

14
2EJ



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EVOLUCION CRONOLOGICA DE LA
ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO
(DE LA ANTIGÜEDAD A 1899)**

T E S I S
Que para obtener el Título de
F I S I C O
p r e s e n t a
Eric Fugarolas Garza



México, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE

Jefe de la División de Estudios Profesionales

Facultad de Ciencias

Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron EL pasante(s) ERIC FUGAROLAS GARZA

con número de cuenta 7742081-5 con el Título:

"EVOLUCION CRONOLOGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO (DESDE LA ANTIGUEDAD HASTA 1899) "

Otorgamos nuestro **Voto Aprobatorio** y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de FISICO

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS

	DR. ANTONIO ALONSO	CONCHEIRO

Director de Tesis

	FIS. LUIS ROMILIO TAMBUTTI	RETAMALES

	DR. SAHEN HACVAN	SALERYAN

	DR. JUAN MANUEL LOZANO	MEJIA

Suplente

	FIS. JOSE ERNESTO MARQUINA	FABREGA

Suplente

FIRMA

[Firma de Antonio Alonso Concheiro]

[Firma de Luis Romilio Tambutti Retamales]

[Firma de Sahen Hacvan Saleryan]

[Firma de Juan Manuel Lozano Mejia]

[Firma de Jose Ernesto Marquina Fabrega]

A HÉCTOR MAKITA R.

*LUZ MA,
SANTIAGO,
EMILIO.*

CONTENIDO

CONTENIDO	<i>i</i>
PREFACIO	<i>iii</i>
Capítulo I. INTRODUCCIÓN	1
Capítulo II. DE LA ANTIGÜEDAD A 1458	5
Capítulo III. PRIMER CICLO ECONÓMICO LARGO (1459 - 1508)	
Reactivación (1459-1470)	15
Prosperidad (1471-1482)	15
Recesión (1483-1494)	15
Depresión (1495-1508)	15
Capítulo IV. SEGUNDO CICLO ECONÓMICO LARGO (1509 - 1539)	
Reactivación (1509-1518)	17
Prosperidad (1519-1528)	17
Recesión (1529-1533)	17
Depresión (1534-1539)	17
Capítulo V. TERCER CICLO ECONÓMICO LARGO (1540 - 1574)	
Reactivación (1540-1548)	19
Prosperidad (1549-1559)	19
Recesión (1560-1568)	20
Depresión (1569-1574)	20
Capítulo VI. CUARTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1575 - 1620)	
Reactivación (1575-1582)	21
Prosperidad (1583-1594)	22
Recesión (1595-1608)	22
Depresión (1609-1620)	25
Capítulo VII. QUINTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1621 - 1685)	
Reactivación (1622-1636)	27
Prosperidad (1637-1649)	28
Recesión (1650-1670)	30
Depresión (1671-1685)	32

Capítulo VIII. SEXTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1686 - 1735)	
Reactivación (1686-1694)	35
Prosperidad (1695-1719)	35
Recesión (1720-1727)	40
Depresión (1728-1735)	41
Capítulo IX. SÉPTIMO CICLO ECONÓMICO LARGO (1736 - 1786)	
Reactivación (1736-1745)	47
Prosperidad (1746-1758)	52
Recesión (1759-1771)	72
Depresión (1772-1786)	83
Capítulo X. OCTAVO CICLO ECONÓMICO LARGO (1787 - 1842)	
Reactivación (1787-1800)	97
Prosperidad (1801-1813)	113
Recesión (1814-1827)	127
Depresión (1828-1842)	152
Capítulo XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843 - 1897)	
Reactivación (1843-1857)	197
Prosperidad (1858-1869)	242
Recesión (1870-1885)	265
Depresión (1886-1897)	340
Capítulo XII. DECIMOPRIMER CICLO ECONÓMICO LARGO (1898 - 1939)	
Reactivación (1898-1911)	407
Capítulo XIII. APÉNDICE	
419	
Capítulo XIV. CONCLUSIONES	
441	
BIBLIOGRAFÍA	
459	
ÍNDICE ONOMÁSTICO	
463	

PREFACIO

En este trabajo se presenta la evolución cronológica de los eventos que han tenido lugar en los campos científico y tecnológico relacionados con el electromagnetismo. El lapso cubierto en este estudio va de la antigüedad a 1899.

En la introducción del trabajo se establecen los motivos para haber seleccionado dicho tema, los objetivos que se pretenden alcanzar y las hipótesis que se intentan demostrar. En los capítulos II a XII se presentan en forma de lista ordenada cronológicamente los diferentes conceptos, tesis, teorías, doctrinas, leyes, etc. que se han propuesto y los diversos descubrimientos, invenciones, innovaciones, aplicaciones, etc. que se han realizado en el campo del electromagnetismo. La lista consiste en diversos párrafos que describen las aportaciones realizadas año con año por los diferentes actores; cuando ha sido posible, se cita el nombre completo del investigador o investigadores involucrados, su fecha de nacimiento y muerte, y el país de nacimiento. Cada párrafo termina con la referencia de la fuente bibliográfica de la que se obtuvo la información correspondiente. En el capítulo XIII se incluyen las aportaciones de algunos investigadores para las cuales no se pudo establecer el año de realización. En el capítulo XIV se analiza la información recopilada, tratando de detectar las interrelaciones con el entorno económico existente en las diversas etapas del lapso cubierto en este estudio. A continuación se presenta la bibliografía consultada. La última sección del trabajo está formada por el índice onomástico de los científicos, investigadores, inventores, pensadores, y demás personajes mencionados en los capítulos previos.

Quiero agradecer el apoyo que he recibido por parte de los miembros directivos del CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVOS, AC, de la FUNDACIÓN JAVIER BARROS SIERRA, AC. En particular, agradezco la valiosa guía en la realización de este proyecto al Dr. Antonio Alonso C., director del CEPRO. Asimismo, agradezco al Fis. Romilio Tambuli R. su asesoría y entusiasta ayuda. El Dr. Jaime Macouzet N. contribuyó con una inapreciable orientación. A Ricardo Cruz Quintana, compañero diario en la construcción y destrucción de recuerdos futuros, le debo sus comentarios, sugerencias y atinadas reflexiones. Mis padres contribuyeron de manera sustancial con su apoyo y pertinente insistencia. Finalmente, reconozco que este trabajo no hubiera llegado a término sin el constante estímulo e infinita comprensión de Luz Ma. de Gortari R., mi esposa; fue ella la principal fuerza motivante para la culminación de este trabajo.

I. INTRODUCCIÓN

**Lo que sucede en cualquier momento particular
es el resultado de lo que ha sucedido en todos los momentos previos,
y en sí tiene una influencia sobre lo que sucederá en el futuro.**

Esquisse d'un tableau des progrès de l'esprit humain
Marie-Jean-Antoine-Nicolas CARLHAT, Marqués de Condorcet, 1795.

La motivación principal para la realización del presente trabajo es el deseo de contar con una nueva herramienta que permita estudiar la posible evolución futura de la humanidad en el largo plazo.

En épocas de cambios acelerados en casi todos los ámbitos de la vida cotidiana, como la que se vive actualmente, la incertidumbre sobre lo que vendrá en el futuro es creciente y, por lo general, angustiante. Por ello, es imprescindible disponer de metodologías científicamente fundamentadas para intentar averiguar qué depara el porvenir o, por lo menos, tratar de especular sobre las diversas posibilidades de evolución futura. Para quien tenga la responsabilidad de tomar decisiones –ya sea en una empresa, una institución, una organización, un país, etc.–, le resultaría muy útil tener una gama de posibles desarrollos futuros, contar con diferentes imágenes de los posibles retos que podría enfrentar y de las oportunidades que podría aprovechar en el futuro, y tener una idea de algunas de las posibles consecuencias (positivas o negativas) que resultarían de tomar determinado conjunto de decisiones en la actualidad.

La PROSPECTIVA es una de las metodologías que intenta proporcionar dichas *imágenes del futuro*. Mucho se ha debatido sobre la naturaleza de la Prospectiva; incluso sobre el propio nombre de dicha actividad. No obstante, varios autores han coincidido en los siguientes puntos sobre la Prospectiva: a) no es una ciencia, ya que el objeto de estudio, el futuro, no existe (por lo menos todavía no); b) utiliza diversos métodos y técnicas de varias ciencias (naturales y sociales); c) es una actividad interdisciplinaria y transdisciplinaria; d) no intenta predecir ni pronosticar; e) estudia el largo plazo, cuyo alcance depende del sistema bajo análisis; f) no se limita a estudiar el futuro deseado (¿deseado para quién?); g) su objetivo es la creación de *imágenes razonadas* sobre el futuro de largo plazo.

Los técnicas de análisis que emplea la Prospectiva se dividen en dos grupos: cuantitativas y cualitativas. Dentro de las primeras se cuentan, por ejemplo, métodos de la teoría estadística (proyecciones, extrapolaciones y otras), teoría de juegos, análisis de sistemas, modelos matemáticos, modelos de simulación y análisis de matrices de impactos cruzados. Las técnicas cualitativas incluyen análisis de fuerzas, análisis morfológicos, técnica *Artale*, método *Delfos*, método *TKJ* y construcción de escenarios, entre otras.

El CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVOS, A.C. de la FUNDACIÓN JAVIER BARROS SIERRA, A.C., dedicado principalmente al estudio del futuro de México, propone una nueva técnica de análisis prospectivo fundamentada en el estudio cualitativo de la historia bajo el marco de referencia de los ciclos de Kondratiev. Diversos autores han intentado fundamentar la existencia de ciclos económicos de larga duración en la historia de la humanidad (también llamados de Kondratiev, por ser este economista ruso uno de los primeros investigadores en sugerirlos). G. Mensch y otros pensadores han propuesto que también existen ciclos largos en los procesos de invención e innovación tecnológica, vinculados con los económicos. Mediante la técnica propuesta por el CEPRO, novedosa a nivel mundial y todavía en proceso de elaboración, se intenta recopilar la mayor cantidad de información histórica posible, clasificándola en orden cronológico, y analizar la relación que los acontecimientos tienen con dichos ciclos. La técnica persigue los siguientes objetivos: a) detectar a los actores principales (individuos, equipos de investigadores, empresas, sociedades, instituciones, países, etc.) y actores secundarios y terciarios; b) identificar los conceptos, tesis, teorías, doctrinas, leyes, etc. que se han propuesto y los descubrimientos, invenciones, innovaciones, aplicaciones, etc. que se han realizado; c) señalar caminos muertos, rutas concluidas, nuevas áreas de desarrollo, etc.; d) identificar las rupturas, crisis, revoluciones, etc.; e) identificar las tendencias fuertes y débiles; f) identificar los patrones de desarrollo. De esta forma, se intenta caracterizar la etapa actual de un determinado aspecto de interés, para así poder construir algunas imágenes de sus posibles desarrollos en el futuro.

Hace cuatro años el CENTRO DE ESTUDIOS PROSPECTIVOS, A.C. decidió iniciar un esfuerzo de recopilación de información histórica (nacional e internacional), clasificada de acuerdo con diversos rubros de interés para el país¹⁾. Uno de estos temas de investigación es el FUTURO DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA EN MÉXICO. Se planteó así la conveniencia de realizar un análisis de los orígenes y desarrollos de la electricidad y el magnetismo a nivel mundial, ciencias de las cuales surgió la electrónica en sí. Con este objetivo en mente, en octubre de 1990 se inició la tarea de recolección de manera informal de la información correspondiente. Durante los últimos dos y medio años, se recopiló una gran cantidad de información; sin embargo, dado que se disponía ya de mucha información para el período de la antigüedad a 1899 y dada la vastedad del tema, a principios de octubre de 1994 se decidió que sería conveniente dividir el proyecto en dos partes, la primera de las cuales estaría formada por la información que cubre el lapso mencionado y un análisis somero de la interrelaciones entre los acontecimientos registrados y el entorno económico; y la segunda parte incluiría además la información relativa a los acontecimientos realizados en este siglo y un análisis de la información totalmente detallado basado en la existencia de los ciclos de Kondratiev. Para el periodo señalado, de la antigüedad a 1899, el tema no está agotado; falta revisar mucha bibliografía existente en el propio CEPRO, buscar las referencias bibliográficas que se han identificado e investigar nuevas fuentes de documentación.

La lista de acontecimientos está ordenada, como ya se mencionó, cronológicamente. Para cada año se describen los diferentes eventos relacionados con la electricidad y el magnetismo. Cada entrada de la lista tiene la siguiente forma: nombre del actor o de los actores; en caso de contar con la información, fecha de nacimiento y muerte y país de nacimiento; acontecimiento; y referencia de la bibliografía de dónde se obtuvo la información. En la medida de lo posible, se intentó que para cada año la información estuviera ordenada de acuerdo con el

¹⁾ Los temas nacionales que se están estudiando con dicha técnica incluyen Política, Alimentos, Salud, Energía, Medio Ambiente, Biotecnología, Ciencia y Tecnología, Educación, Electrónica, entre otros.

contenido de la aportación correspondiente. Así, algunas de las agrupaciones son: desarrollos teóricos; comunicaciones; generadores y motores; instrumentos de medición, etc.

Durante la etapa de recolección de información se encontraron diversas dificultades. En algunas fuentes bibliográficas se mencionan determinadas fechas para los acontecimientos, mientras que en otras fuentes se señalan otras fechas, en algunos casos con diferencias sustanciales de hasta 20 o 30 años; los nombres de los investigadores se deletrean de diferente forma; la fechas de nacimiento y muerte de algunos de los actores no son las mismas dependiendo de la fuente bibliográfica; en algunas ocasiones, en diversas fuentes se describe, por ejemplo, la construcción de un dispositivo, pero lo nombran de diferentes maneras o la propia descripción no coincide. Por ello, se hizo todo lo posible para que la información contenida en este trabajo fuera lo más precisa mediante la verificación cruzada del mayor número de fuentes bibliográficas, aceptando las más reconocidas. En los casos en que se reconoció un error notable, se omitió dicha información. La información contenida en el ÍNDICE ONOMÁSTICO se basó principalmente en dos fuentes: *Dictionary of Scientific Biography* y *World Who's Who in Science*.

El presente trabajo es así el primer paso para la realización del proyecto de El FUTURO DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA EN MÉXICO. Como tal, sí es un producto final, mas no un proyecto concluido; es una propuesta para el inicio de una nueva forma de análisis prospectivo.

II. DE LA ANTIGÜEDAD A 1458

AÑO	ACONTECIMIENTO
1,420,000 aC.	Desde los inicios de la humanidad, los hombres conocen una manifestación natural de la electricidad, los rayos, normalmente asociados con la ira de los dioses. A menudo los rayos provocan incendios, que son la única fuente de fuego, uno de los elementos fundamentales para la evolución cultural de la humanidad. Se estima que hacia esta época los habitantes de Kenia controlan ya el fuego⁽¹⁾ ([3], vol. 4, p. 788; [25], p. 1). Los hombres que tienen relación con el mar conocen otra forma natural de electricidad, diferente de los rayos. En casi todos los océanos de la Tierra existe el pez torpedo (<i>Torpedo marmorata</i>), un género de la raya, que tiene órganos eléctricos en ambos lados de la cabeza; su descarga eléctrica puede matar peces pequeños y puede dejar lisiado a un adulto que esté nadando cerca. En los ríos del norte de América del Sur habita la anguila eléctrica (<i>Electrophorus electricus</i>), que se alimenta de hierbas y de los frutos de ciertas palmeras, los que hace caer disparando contra la planta una descarga eléctrica (de hasta 500 V). Los hombres creen que la fuerza de estos peces proviene de poderes mágicos ([25], p. 1).
2637 aC.	El emperador chino Hoang-ti (China) manda construir un carruaje con una figura femenina prominente, la cual siempre apunta hacia el sur, no importando la dirección del movimiento del carro. Se puede afirmar así que la propiedad direccional de algunos minerales se conoce ya en China ([3], vol. 18, p. 273; [18], p. 21).
ca. 1050 aC.	Diversas construcciones famosas, que incluyen el Templo de Juno y el Templo de Salomón, tienen pararrayos –son hojas de espadas u objetos ornamentales metálicos que terminan en punta– instalados en sus techos, aunque no con un propósito deliberado de protección ([18], p. 25). Se dice que el rey Salomón (fl. ca. 1050 aC.), hijo del rey David, utiliza la brújula y, aún más, que él la inventa ([18], p. 22).
ca. 1000 aC.	Los primeros habitantes de Toscana creen que existen hasta nueve dioses capaces de enviar rayos durante las tormentas ([25], p. 1). Tchenou-Koung (China), Ministro de Estado de China, enseña a algunos embajadores de la Cochinchina la forma de usar una brújula con aguja magnética, dándoles un instrumento llamado <i>tchi-nan</i>, cuyo significado es «carruaje del sur»; uno de sus lados apunta hacia el norte, mientras que el otro lado apunta hacia el sur. Tchenou-Koung les da este instrumento con la finalidad de que los embajadores tengan una guía en el viaje de regreso a su lugar de origen ([18], p. 21).

¹⁾ Evidencia descubierta en 1981.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

Siglo 9 aC.	Alguno versos de la <i>Odisea</i>, de Homero (Grecia), pueden interpretarse como referencias indicativas de que las propiedades del imán de piedra ya se entienden y aplican en esta época (<i>[18]</i>, p. 22). Las travesías terrestres y marítimas se realizan ya con la ayuda de agujas flotantes (según el historiador chino Szu-ma-tsian, quien escribiera cerca del año 250 aC., y cuyos registros se pueden tomar como suficientemente auténticos) (<i>[18]</i>, p. 22).
ca. 800 aC.	En diversos escritos griegos se menciona al mineral magnetita (óxido magnético de hierro). El mineral se extrae en la provincia griega de Magnesia, Tesalia (<i>[3]</i> , vol. 18, p. 273).
ca. 600 aC.	Susruta (<i>fl.</i> 600 aC.; India), cirujano y maestro hindú, establece que los imanes, cuando se pulverizan y luego se ingieren, resultan efectivos para curar diversas enfermedades ²⁾ (<i>[25]</i> , p. 4).
ca. 570 aC.	Se cree que Tales de Mileto (ca. 625[?] aC.-ca. 547[?] aC.; Jonia), uno de los pioneros de la ciencia griega antigua, el primero en observar los efectos de la electricidad estática: al frotar un pedazo de ámbar éste adquiere la propiedad de atraer cuerpos ligeros. Sin embargo, no existen registros de que él haya realizado investigaciones sobre estos fenómenos. Sabe que un imán atrae al hierro -se dice que es esta propiedad la que lo lleva a afirmar que la piedra tiene alma y que «todas las cosas están llenas de Dioses.» (<i>[4]</i> , p. 325; <i>[51]</i> , p. 3). La filosofía de Tales de Mileto sería transcrita a papel por Aristóteles (véase ca. 384 aC.) (<i>[25]</i> , p. 4).
ca. 500 aC.	Los etruscos tienen un método secreto para desviar los rayos de las nubes y dirigirlos a su gusto (según Plinio, quien describiría este hecho en su obra <i>Naturalis Historia</i> (<i>Historia Natural</i>), escrita hacia el año 79 dC.) (<i>[18]</i> , p. 25).
ca. 450 aC.	Empédocles de Acragas (ca. 492 aC.-ca. 432 aC.; Acragas) formula la primera teoría del magnetismo: el hierro y otros materiales tienen poros, que pueden emitir un <i>efluvio</i> o emanación invisible; normalmente los poros están obstruidos por aire, el cual retiene al efluvio. Cuando un imán se acerca al hierro, las emanaciones de éste hacen que el aire se retire de los poros del material y el efluvio salga libremente, siendo absorbido por el imán, «de una manera tan voraz, que tiende a juntarse o atraer al hierro» (<i>[25]</i>, pp. 4-5). Empédocles es además el originador de la teoría de los cuatro elementos (aire, agua, fuego y tierra) de la materia, aunados a dos fuerzas, la del Amor y la del Odio (<i>[34]</i>, vol. IV, p. 368). Propone también la divisibilidad finita de la materia, en contraposición a Anaxágoras. Por otro lado, establece que la luz necesita tiempo para transmitirse (<i>[2]</i>, vol. I, pp. 39-40 y 97). Eurípides (480 aC.-407 aC.; Grecia) es el primero en utilizar el sustantivo «magneto» para referirse al imán de piedra (<i>[25]</i>, p. 5).
ca. 420 aC.	Demócrito (ca. 465 aC.-ca. 370 aC.; Tracia) propone una teoría del magnetismo que considera a la atracción magnética como el resultado de emanaciones de la magnetita: las emanaciones son átomos que pueden penetrar

²⁾ Dos mil años después, Paracelso volvería a tomar esta idea

(continúa en 420 aC.)

el espacio entre los átomos del hierro; estos últimos abandonan su morada para ser absorbidos por la magnetita, y el hierro se acerca a ésta para recuperarlos (125), p. 5).

Demócrito propone también el concepto de punto geométrico y punto material (12), vol. I, pp. 39-40).

ca. 370 aC.

Platón (427 aC.-ca. 348 aC.; Grecia), en el diálogo *Timeo* y en boca de Sócrates, escribe: «[...] No se podría explicar de otro modo el curso de las aguas, la caída del rayo y la maravillosa propiedad de atracción de los cuerpos peculiar del ámbar y de la piedra heraclea; en vano se buscaría en estos cuerpos una fuerza de atracción, pero el vacío no existe y todos los cuerpos se empujan reciprocamente unos a otros, además se dilatan y se contraen, cambian de lugar entre sí y vibran en el mismo sitio, y por todas estas acciones y reacciones se verifican los fenómenos más sorprendentes, [...]» (127), p. 712). En el diálogo «donde de la poesía», Platón plantea una analogía de la reacción en cadena de la inspiración transmitida de las musas a algunos poetas y, de éstos, a otros más; etc., con la atracción del imán de piedra: «[...] virtud semejante a la piedra que Eurípides ha llamado magnética y que los más han llamado Heraclea. Esta piedra no sólo atrae los anillos de hierro, sino que les comunica la virtud de producir el mismo efecto y de atraer otros anillos, de suerte que se ve algunas veces una larga cadena de trozos de hierro y de anillos suspendidos los unos de los otros, y todos estos anillos sacan virtud de esta piedra»³⁾ (125), pp. 5-6; (127), p. 98).

ca. 340 aC.

Aristóteles (384 aC.-322 aC.; Calcidicia) transcribe las ideas filosóficas de Tales de Mileto (véase ca. 570 aC.) y las da a conocer al mundo.

Aristóteles tiene conocimientos del pez torpedo (*Torpedo marmorata*) (12), vol. I, p. 97; (18), p. 26; (23), p. 6; (34), vol. I, p. 250).

ca. 300 aC.

Teofrasto (ca. 371 aC.-ca. 287 aC.; Grecia) menciona en algunas de sus obras, tales como *Sobre las piedras* y *Una historia de la física*, los efectos eléctricos del ámbar; sin embargo, estos conocimientos caerían en el olvido. Parece ser que Teofrasto llega a conocer estos fenómenos a través de Aristóteles (véase ca. 340 aC.). También menciona que la piedra *lyncuria* –probablemente turmalina⁴⁾– atrae algunos objetos ligeros (125), p. 7).

Epicuro (341 aC.-270 aC.; Grecia) propone una teoría sobre el magnetismo, postula que la magnetita atrae al hierro porque las partículas que ella emite constantemente tienen una forma tal que se ajustan a las partículas del hierro, y quedan unidas después de chocar ambos materiales. Dice que el oro no es atraído debido a su peso o porque el flujo de partículas pasa a través de él sin efecto alguno (véase Plutarco, ca. 120) (125), p. 7).

ca. 250 aC.

Los partos, que viven en una colina cerca de Bagdad, Persia, tienen conocimientos de la corriente eléctrica⁵⁾. Utilizan algunos dispositivos que se asemejan a baterías húmedas. Parece ser que además tienen conocimientos del chapeado en oro (125), p. 8).

³⁾ En el siglo II Celsidio traducía el *Timeo* al latín. Al parecer ser, dichas obras, junto con algunos otros trabajos como los de Peregrinus de 1269, serían la base de los experimentos de W. Gilbert, que concluirían con la publicación de su obra *De Magnete* en 1600.

⁴⁾ Dicho mineral resultaría muy importante para el estudio de la *piezoelectricidad*, el cual comenzaría a realizarse en forma sistemática hacia 1756.

⁵⁾ Evidencia descubierta por el arqueólogo alemán W. König.

- ca. 50 aC. Tito Lucrecio Caro (ca. 95 aC.-ca. 55 aC.; Italia) menciona, en *De Rerum Natura* (*De la naturaleza de las cosas*), que el nombre magneto se deriva de la provincia de Magnesia, Tesalia ([3], vol. 18, p. 273). En forma poética escribe acerca de la inducción magnética ejercida sobre el hierro (seguramente se basa en la teoría de Epicuro, ca. 300 aC.). Considera que el imán de piedra tiene ganchos en su superficie que se ensartan en anillos en la superficie del hierro atraído. Se refiere también a la atracción a distancia, explicando que el «acero se moverá en busca del abrazo del imán» ([18], p. 22). Parece ser que, además, es el primero en describir la repulsión del imán sobre el hierro: «algunas veces también el hierro se retirará de la piedra, dado que se quiere que huya de él y luego lo siga» ([25], p. 8).
- ca. 79 dC. Plinio el viejo (Gaius Plinius Secundus) (ca. 23-79; Italia) señala, en su obra *Naturalis historia* (*Historia natural*)⁶⁾, que el nombre magneto deriva del pastor Magnes, quien observó la atracción que ciertas rocas ejercían sobre su bastón ([3], vol. 18, p. 273). Menciona además el poder atractivo del imán natural, un mineral que contiene óxido de hierro magnético ([51], p. 3). Señala también que al tocar al pez torpedo (*Torpedo marmorata*) con una lanza puede recibirse una descarga eléctrica y que las propiedades eléctricas de este pez y de la anguila eléctrica (*Gymnotus*) se emplean con frecuencia para curar ciertas enfermedades como la gota y el reumatismo ([18], p. 26).
Cuando Plinio tiene noticias de los efectos eléctricos del ámbar, repite los experimentos de Tales de Mileto (ca. 570 aC.). Descubre que el azabache, como el ámbar, también tiene la propiedad de atraer partículas ligeras al ser frotado (véase Beda el Venerable, ca. 734) ([25], pp. 9-10).
Por otro lado, Plinio escribe que cuando se ven dos luces en lo alto de los mástiles de los barcos, el «fuego de San Elmo», los marineros las consideran dioses, llamándolas Pólux y Cástor ([25], p. 2).
- ca. 120 Plutarco (ca. 46-después de 119; Beocia) tiene conocimientos sobre el pez torpedo (*Torpedo marmorata*) ([18], p. 26).
Plutarco es uno de los primeros en notar y registrar la diferente naturaleza de las fuerzas de la magnetita y del ámbar frotado (véase Epicuro, ca. 50 aC.). En su libro *Bioi paralleloi* (*Vidas paralelas*), propone una teoría del magnetismo, basada seguramente en las ideas de Epicuro. Según Plutarco los inanes naturales emiten una materia que refleja el aire formando un hueco; el aire empieza, entonces, a girar creando un vórtice, el cual regresa al hueco, con lo que fuerza al hierro a moverse junto con él. Otro tipo de materia no es atraída porque el vórtice prefiere los poros del hierro a los poros de los otros materiales (véase San Agustín, 428) ([25], p. 10).
- 121 Termina de escribirse el diccionario chino *Choue Wen* ([25], p. 10), que contiene la que se cree es la primera referencia a la forma de comunicar la polaridad magnética a una aguja de hierro, frotándola con un imán de piedra y luego golpeándola rítmicamente⁷⁾ ([18], p. 23).
- ca. 140 Ptolomeo (Claudius Ptolemaeus) (ca. 100-ca. 170; Egipto[?]) incluye, en su obra *Geografía*⁸⁾, un mapa en donde se muestra el polo magnético terrestre como una montaña localizada en una isla al norte de Groenlandia ([25], p. 14).

⁶⁾ La obra se la dedicó a Titus en el año 77, pero la redacción final pudo haber sido hecha por su sobrino después de la muerte de Plinio ([34], vol. 17, p. 38).

⁷⁾ Este hecho, al parecer, caería en el olvido, hasta que sería estudiado nuevamente por Aepinus en 1760.

⁸⁾ Que se publicaría en 1508.

- Siglo 3 Los marineros italianos observan el fuego de San Elmo (derivado de San Ermo, y éste a su vez de San Erasmo, patrono de los marineros) o luces en lo alto de los mástiles y en las cuerdas de los barcos en noches de clima seco y borrascoso (véase Plinio, ca. 79 dC.) ([18], p. 26).
- Siglo 4 Calcidonio (fl. siglo 4) traduce al latín el diálogo *Timeo*, de Platón, escrito siete u ocho siglos antes (véase ca. 370 aC.) ([2], vol. 1, p. 28).
- ca. 324 Kouo Pho (China) escribe, en su obra *Eulogia al Imán*, que el imán atrae al hierro, mientras que el ámbar atrae a las semillas de mostaza –es uno de los primeros en señalar la diferencia entre atracción magnética y atracción eléctrica ([25], p. 11). Al referirse a la atracción del imán sobre el hierro habla del «aliento del viento que rápida y misteriosamente penetra los dos cuerpos, uniéndolos de manera imperceptible, con la rapidez de la flecha. Acción que resulta incomprensible» ([18], p. 22).
- 428 San Agustín (o Aurelius Augustinus) (354-430; Numidia), obispo de Hipona, escribe su obra *De civitate Dei* (*De la ciudad de Dios*), en la que menciona que su hermano Severo, obispo de Milevis, le comentó que Bathanario, Conde de Africa, realizaba ciertos juegos con la atracción de imanes de piedra sobre el hierro. Entre estos juegos, Severo describió la atracción ejercida sobre un pedazo de hierro colocado en un plato de plata por una imán de piedra localizado bajo dicho plato. San Agustín presencia estas experiencias ([18], pp. 22-23).
San Agustín señala también la diferente naturaleza de las fuerzas desarrolladas por el ámbar y los imanes naturales (véanse Plutarco, ca. 120 y Kouo Pho, ca. 324). Es uno de los primeros en resumir los conocimientos que sobre el ámbar y el magnetismo que se tienen hasta este entonces ([25], p. 11).
- ca. 500 Tsu Ch'ung-Chih (ca. 429-ca. 500; China) vuelve a tomar en cuenta la idea del «vehículo que apunta al sur» (véase ca. 1000 aC.) ([40], p. 1691).
- Siglo 8 En el libro hebreo *Tosephta Sabbath* se escribe que «Aquéllos que erijan postes de hierro en sus jardines, durante el Sabbath, pueden hacerlo siempre y cuando sean para protegerse en contra de los rayos» ([25], p. 11).
- ca. 734 Beda (el Venerable) (673-735; Inglaterra) menciona, en su obra *Historia ecclesiastica gentis Anglorum* (*Historia eclesiástica [...]*), que el azabache atrae objetos ligeros cuando se calienta por frotamiento, de la misma forma en que el ámbar lo hace (véase Plinio, ca. 79 dC.) ([40], p. 141; [49], vol. 1, p. 35).
- Siglo 11 Por más de un milenio los chinos han usado en sus ceremonias religiosas y mágicas diversos objetos tallados de la magnetita que apuntan hacia el sur (Tsu Ch'ung-Chih, ca. 500) ([34], vol. XII, p. 379).
- Siglos 11-12 Los marineros franceses usan el método de frotamiento de las agujas de hierro con una piedra café llamada *marmiere*, para fabricar las agujas de sus brújulas ([18], p. 23).
- 1044 En un libro sobre artes militares se recomienda utilizar para la exploración objetos cortados de una placa de hierro y magnetizados por termorremanencia ([34], vol. XII, p. 379).

- ca. 1080 Shen Kua (1031-1095; China) sabe que los adivinos frotan las agujas de hierro con imanes para que éstas señalen hacia el sur. Discute diversos tipos de monturas (por ejemplo la de flotación) y recomienda la de suspensión. Se da cuenta de que algunas agujas apuntan hacia el norte y otras hacia el sur. También señala que las agujas imantadas (frotadas con magnetita) se suspenden de un hilo y, lejos de las corrientes de aire, se observa que no apuntan exactamente hacia el sur, sino que muestran una ligera desviación hacia el este. El reconocimiento de este fenómeno –que llegaría a conocerse como *declinación magnética*⁹⁾– depende no sólo del experimento mencionado, sino también del perfeccionamiento en la medición del meridiano realizada por el propio Shen. Shen escribe *Meng ch'i pi t'an* (Pláticas con el Pincel desde el Arroyo del Sueño)¹⁰⁾ ([16], p. 203; [18], p. 23; [25], p. 9; [49], vol. I, p. 33).
- ca. 1100 Se empieza a aplicar el término «imán de piedra» a la piedra que tiene la propiedad de apuntar hacia el norte ([25], pp. 11-12).
- ca. 1108 El historiador islandés Frode (el Sabio) (Islandia) escribe *Landnámabók*, en el cual menciona que hacia el año 868 los marineros no tenían aún ninguna piedra que señalara el curso a seguir o que los guiara. Esto indica que en la Europa de comienzos del siglo 12 se conocen ya las propiedades direccionales de la magnetita ([25], pp. 11-12).
- ca. 1150 Averroes (1126-1198; España) explica la acción a distancia de la atracción magnética como una forma de su concepto de *multiplicación de las especies*. El imán modifica las partes del medio (aire, agua, etc.) que están en contacto con él; éstas modifican, a su vez, las partes contiguas a ellas y así sucesivamente, hasta que esta *species magnetica* llega al hierro, en el que se produce una virtud motriz que provoca su acercamiento al imán (descripción similar a la dada por Saneto Amando, ca. 1270) ([2], vol. I, p. 115).
- Eustacio (ca. 1100-ca. 1194; Constantinopla), Arzobispo de Tesalónica, señala que Woliver (o Walimer), rey de los godos, puede sacar chispas de su cuerpo y que algunas gentes pueden producirlas de su ropa. Este es el primer registro escrito de las descargas estáticas de la gente, así como el primer registro escrito de descargas eléctricas distintas de los rayos de las tormentas y peces eléctricos ([25], p. 12).
- En China se emplean, por lo menos, dos tipos de brújula¹¹⁾. Ambas son de madera. Una de ellas es en forma de pescado hueco, en cuyo interior se encuentra un imán de piedra. Una aguja penetra por la boca del pescado hasta tocar el imán. Esta brújula es del tipo flotante. La otra es en forma de tortuga y en su interior también se encuentra un imán de piedra. La aguja sale por la parte posterior de la figura. La tortuga es colocada sobre un pivote de bambú, por lo que se le da el nombre de brújula de suspensión seca. (Este tipo de brújulas es descrito por Baylak, hacia 1242) ([16], pp. 203-205).

⁹⁾ Declinación magnética: ángulo entre el norte geográfico y el norte magnético, este ángulo puede variar de lugar a lugar y de año en año.

¹⁰⁾ El libro es uno de los documentos más notables de las primeras etapas de la ciencia y tecnología. Es una colección de unos seiscientos recuerdos y observaciones, que varían de una o dos oraciones a cerca de una página de impresión moderna. Shen Kua explica que «dado que sólo tenía mi pincel de escribir y mi timbre para conversar, lo he llamado Pláticas con el Pincel».

¹¹⁾ En la sección 26, parte I, 'Física', de *Ciencia y civilización en China*, vol. IV, de J. Needham (Cambridge Univ. Press, 1962; 1ª ed. en 1954), se muestran los diagramas de estas brújulas.

- 1186 Alexander Neckam (o Neckham) (1157-1217; Inglaterra), monje en St. Albans, en sus obras *De Naturis Rerum* (*Sobre la naturaleza de las cosas*), incluye una de las primeras citas europeas de una brújula de marinero ([2], vol. I, p. 113; [40], p. 1243). No se refiere a este dispositivo como algo nuevo ([49], vol. I, p. 33).
- La brújula llega a conocerse en Europa noroccidental, probablemente en Inglaterra, antes que en cualquier otro lugar de Europa ([49], p. 33).
- ca. 1258 Roger Bacon (ca. 1219-ca. 1292; Inglaterra), en su *Epistola de secretis operibus artis et naturae et de nullitate magia*, cap. 4, así como en *Communio mathematica*, ésta última escrita hacia finales de la década de los años 1250, describe la fabricación de algunas máquinas, tales como un avión, un coche, un submarino y una máquina para levantar pesos. Cree que estos aparatos fueron contruidos en la antigüedad y que se podrían fabricar otra vez ([2], vol. I, pp. 60, 96 y sig; [34], vol. I, pp. 377-383).
- 1267-68 Roger Bacon (ca. 1219-ca. 1292; Inglaterra) escribe *Opus maius*, *Opus minus* y *Opus tertium*. En esta última obra menciona a una persona de nombre Master Peter, quien puede tratarse de Peregrinus (véase 1269). En el capítulo 11 escribe «sólo hay dos matemáticos perfectos, Master John, de Londres y Master Peter de Maharneuria, un picardo.» En el capítulo 13, se refiere al «maestro de los experimentos» (*dominus experimentorum*) como uno de los más grandes científicos, sino es que el más grande. No se ha podido establecer que Master Peter sea Peter Peregrinus; pero de ser así, Bacon lo debe haber conocido en la década de los años 1260.
- En *Opus minus*, Bacon describe algunos experimentos, posiblemente originales suyos, con un imán de piedra sostenido unas veces por encima y otras por debajo de un imán que está flotando. Bacon argumenta que no es la Estrella Náutica (la Estrella Polar) la que causa su orientación tan peculiar y que tampoco debe atribuirse este efecto a la parte norte del firmamento. Bacon afirma que dicha propiedad se debe a las cuatro partes del firmamento por igual ([34], vol. I, pp. 377-383).
- 1269 Petrus Peregrinus (o Pierre de Maricourt) (fl. ca. 1269) (véase Bacon, 1267) escribe una carta, durante el sitio de Lucera, Italia, el 8 de agosto, a su amigo Sygerus de Foucaucourt, titulada *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, Militem, de Magnete* (*Carta sobre el imán de Petrus Peregrinus de Maricourt a Sygerus de Foucaucourt*) ([34], vol. X, p. 532), la cual es el primer tratado escrito sobre magnetismo. Esta obra se imprimiría en 1558 y 1562 ([2], vol. II, p. 106). Por este trabajo, se considera a Peregrinus el precursor del método científico, debido a que realiza sus estudios en forma sistemática, aportando los primeros conceptos sobre el magnetismo.
- Peregrinus describe la brújula como instrumento de navegación, dando una especificación detallada de la construcción de una de ellas, encerrada dentro de una caja que tiene una escala de referencia dividida en 360° y marcas con los nombres Norte, Sur, Este y Oeste ([2], vol. I, p. 114; [18], pp. 23-24).
- Peregrinus describe también las leyes del magnetismo y aplica los términos «norte» y «sur» a los polos del imán y descubre que éstos no se pueden separar. Es el primero en sugerir que el magnetismo puede ser convertido en energía cinética. En sus experimentos observa las líneas de fuerza magnética, usando pequeñas partículas de hierro ([25], p. 13).
- Establece la forma de reconocer los imanes, cómo determinar sus polos y cómo distinguir el polo norte del polo sur. Peregrinus considera la repulsión de

(continúa 1269)

los polos iguales; la inducción en el hierro del polo opuesto al del imán con el cual es tocado; la inversión de los polos; la rotura de una aguja magnética en otras más pequeñas y la acción de la atracción a través del agua y del vidrio. No atribuye el comportamiento del imán a los polos magnéticos de la Tierra, ni a la Estrella Polar, como defienden algunos contemporáneos suyos. Señala que el imán no siempre apunta en la dirección de la Estrella Polar. Según él, la orientación del imán no puede atribuirse a supuestos depósitos de imán en las regiones septentrionales de la Tierra, porque el imán es extraído en muchos otros lugares. Tiene la concepción de que el imán apunta hacia los polos de los cielos sobre los que gira la esfera celeste y trata de diseñar un *perpetuum mobile* basado en esta teoría.

Para determinar los polos de un imán esférico o, como él lo llama, *magnus rotundus*, Peregrinus mantiene una aguja sobre la superficie del imán y traza una línea en la dirección que toma la aguja; repite este proceso en diferentes puntos del imán. Las líneas forman círculos que cubren la esfera exactamente como los meridianos de longitud cubren la Tierra; hay dos puntos en extremos opuestos del imán en los cuales se intersectan todas las líneas. Dada la analogía con el globo terráqueo, Peregrinus nombra polos del imán a estos dos puntos ([49], vol. I, p. 33). Este experimento lo diseña para ilustrar los movimientos celestes. Considera que un imán natural perfectamente esférico, balanceado y alineado con los polos celestiales, rotaría sobre su eje cada 24 horas. Su explicación de la inducción magnética sobre un trozo de hierro, está basada en los principios aristotélicos de la causalidad ([2], vol. I, pp. 113-115; [25], p. 13; [34], vol. V, p. 399; [51], p. 3).

Peregrinus observa que la forma en que se colocan los imanes y se atraen unos a otros depende solamente de la posición de sus polos, como si éstos fueran el sitio del poder magnético⁽¹²⁾ ([49], vol. I, p. 34).

ca. 1270

Joannes de Sancto Amando (?-ca. 1300; Valenciennes), al final de su *Antidotarium Nicolai*, escribe «Por tanto, digo que en el imán hay una traza del mundo y en él hay una parte que posee en ella misma la propiedad del Oeste, otra la del Este, otra la del Sur y otra la del Norte. Y digo que en la dirección Norte y Sur atrae más fuertemente y poco en la dirección Este y Oeste.», concepción más avanzada que la de su contemporáneo Peregrinus⁽¹³⁾. Para Sancto Amando el imán es un agente activo que asimila así mismo el hierro pasivo, actualizando su magnetismo potencial. Cuando un imán apunta hacia los polos de la Tierra, «la parte Sur atrae a la que tiene la propiedad y naturaleza del Norte, aunque ambas tengan la misma forma específica y esto no es sino por cierta propiedad que existe en grado más completo en la parte Sur y que la parte Norte posee potencialmente y por ella se completa su potencialidad.» Describe la imantación como una «corriente que pasa desde el imán al de una aguja colocada directamente sobre él.»⁽¹⁴⁾ ([2], vol. I, p. 115).

Santo Tomás Aquino (ca. 1225-1274; Italia) escribe sobre los problemas del imán, las variaciones de las marcas y otros fenómenos *ocultos* en una carta titulada *De occultis operationibus naturae* (Sobre las operaciones ocultas de la naturaleza), cuyo título muestra su preocupación por reducir todos estos fenómenos a causas naturales, en oposición a las sobre naturales. Su análisis del magnetismo sería estudiado y reconocido por Gilbert (véase 1600) ([34], vol. I, p. 198).

⁽¹²⁾ Este es el origen de la teoría de los polos y la de la polarización; las cuales jugarían un papel preponderante en épocas posteriores, en la filosofía natural.

⁽¹³⁾ Y se acerca bastante a la visión moderna del magnetismo.

⁽¹⁴⁾ Esta concepción es muy semejante a las líneas de fuerza de Faraday y Maxwell.

1282

Al-Qibjaqi Baylak (o Bailak) (fl. ca. 1250, Egipto), en su libro *Kanz al-tujjar* [o *al-tijar*] *fi ma'rifat al-ahjar* (*Tesoro de los mercaderes sobre el conocimiento de los minerales*) (escrito entre 1244 y 1282, siendo esta última fecha la más probable), escribe que en 1242 realizó un viaje marítimo de Trípoli, Siria, a Alejandria, Egipto. Durante él, observó que una noche sin estrellas el capitán del barco formó una cruz con una aguja y una paja, poniéndola a flotar en una vasija con agua. La aguja respondía a los movimientos de un imán cercano. Al retirar súbitamente el imán, la aguja llegaba al reposo con una orientación norte-sur.

Baylak informa que tiene conocimientos de que los marineros del Océano Indico utilizan unas brújulas de hierro en forma de pez hueco ([25], p. 12; [34], vol. I, pp. 532-533).

1436

Andrea Bianco diseña algunos planos cartográficos; de ellos, puede concluirse que ya se conoce la declinación de la brújula (véanse Colón, 1492 y Cabot, 1497) ([25], p. 13).

1450

Nicholas Cusa (ca. 1401-1464; Italia) sugiere la «ley del inverso del cuadrado» para la atracción entre dos polos magnéticos. La suya es una noción estática de la fuerza (medida por una balanza), ya que la noción dinámica aún no se conoce ([49], vol. I, p. 56).

III. PRIMER CICLO ECONÓMICO LARGO
(1459 - 1508)

AÑO	ACONTECIMIENTO
	REACTIVACIÓN (1459-1470)
	(No hay acontecimientos registrados)
	PROSPERIDAD (1471-1482)
ca. 1475	Marsilio Ficino (o Marcileus Ficinus) (1433-1499, Italia) traduce al latín las obras de Platón (véase ca. 370 a.C.) y sus seguidores. Escribe sobre la brújula; atribuye la acción de las brújulas de apuntar hacia el norte a una estrella magnética situada en la constelación de la Osa. Esta idea estaría muy en boga hasta mediados del siglo 16, habiéndose originado, según parece, poco después de 1108, cuando se descubrió esta propiedad del imán de piedra (véase Cardano, 1533) ([23], pp. 13 y 15).
	RECESIÓN (1483-1494)
	(No hay acontecimientos registrados)
	DEPRESIÓN (1495-1508)
1492	Cristóbal Colón (ca. 1451[?]-1506; Génova[?]) hace uso de las brújulas, en su famoso viaje, teniendo conocimiento de la desviación del polo magnético del geográfico (declinación magnética), pero se sorprende de que éste cambia a medida que viaja hacia el oeste. Sus pilotos se enteran, inevitablemente, de dicho fenómeno, el cual los llena de consternación, creyendo que se internan en un mundo sujeto a influencias desconocidas. Para calmar sus temores Colón les explica que la desviación no se debe a fallas en la brújula o al cambio en las leyes de la naturaleza, sino a que la Estrella Polar se mueve, o a que la aguja apunta realmente a una estrella remota más allá de la Estrella Polar. Con esta explicación, y gracias a su reputación de astrónomo, Colón logra calmar a los navegantes ([18], p. 24). Algunos autores le atribuyen el descubrimiento de la declinación de la brújula (véanse Bianco, 1436 y Cabot, 1497) ([25], p. 13).
1493	Cristóbal Colón (ca. 1451[?]-1506; Génova[?]) escribe, en la bitácora de su segundo viaje, que «San Elmo apareció en los mastelerillos, con siete luces» (véase siglo 3) ([18], p. 26).

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- 1497 Algunos autores creen que Sebastian Cabot (ca. 1476-1557; Inglaterra) descubre la declinación de la brújula (véanse Blanco, 1436 y Colón, 1492) ([25], p. 13).
- 1508 Se publica la obra *Geografía*, de Ptolomeo, escrita cerca del año 140 d.C., en la cual un mapa muestra el polo magnético como una montaña en una isla situada al norte de Groenlandia. Esta idea concuerda con las primeras concepciones sobre el magnetismo terrestre ([25], p. 14).

IV. SEGUNDO CICLO ECONÓMICO LARGO
(1509 - 1539)

AÑO	ACONTECIMIENTO
	REACTIVACIÓN (1509-1518) (No hay acontecimientos registrados)
	PROSPERIDAD (1519-1528) (No hay acontecimientos registrados)
	RECESIÓN (1529-1533) 1533 Girolamo Cardano (1501-1576; Italia), uno de los descubridores de la declinación de la brújula, cree que dicho efecto se debe a la atracción de una estrella magnética situada en la cola de la constelación de la Osa (véanse Ficino, ca. 1475 y Hartmann, 1544) ([25], pp. 14 y 15). Por otro lado, Cardano es uno de los primeros, desde San Agustín (véase 428), en señalar la diferencia entre atracción electrostática y atracción magnética. Cardano basa sus conclusiones en el tipo de partículas que cada una atrae ([16], p. 79)
	DEPRESIÓN (1534-1539) (No hay acontecimientos registrados)

V. TERCER CICLO ECONÓMICO LARGO (1540 - 1574)

AÑO	ACONTECIMIENTO
	REACTIVACIÓN (1540-1548)
1544	Georg Hartmann (1489-1564; Alemania) señala, en una carta dirigida al Duque Alberto de Prusia, con fecha 4 de marzo, un valor de 6° (incorrecto) para la inclinación¹⁾ del campo magnético en la ciudad de Roma²⁾. Algunos autores atribuyen a Hartmann la 'invención' de la brújula de inclinación ([16], p. 79; [18], p. 24; [25], p. 17; [34], vol. VI, p. 144).
1546	Gerardus Mercator (o Gerhard Kremer) (1512-1594; Flandes), cartógrafo de prestigio y reconocido como el inventor de las proyecciones que llevan su nombre, se refiere en una carta a la Tierra como un gigantesco imán. Esta es una de las primeras veces que se propone dicha idea ([25], pp. 15 y 16-17). Como resultado de sus investigaciones sobre el campo magnético terrestre propone además que la Tierra tiene un polo magnético ([1]; [3], vol. 8, p. 26).
	PROSPERIDAD (1549-1559)
ca. 1550	Gianbattista della Porta (1535-1615; Italia) y Girolamo Cardano (1501-1576; Italia) cubren un imán con piel de cebollas y de ajos, y encuentran que la fuerza de la atracción no se destruye ni disminuye. En otro de sus experimentos refutan la idea de que los diamantes reducen el poder de los imanes; idea que ha existido desde los tiempos de Plutarco (ca. 120), sólo porque nadie la había investigado ([25], pp. 15, 17 y 18).
1550	Girolamo Cardano (1501-1576; Italia) fundamenta experimentalmente, en su obra <i>De subtilitate libri</i>, la diferencia entre atracción eléctrica y atracción magnética ([25], p. 17): 1) el ámbar atrae a todas las sustancias ligeras, mientras que el imán sólo atrae al hierro; 2) el ámbar no atrae ahechaduras (<i>chaff</i>) cuando se le interpone un cuerpo, mientras que el imán no se ve afectado; 3) las ahechaduras no atraen al ámbar. El hierro sí atrae al imán; 4) el ámbar no tiene polos y no atrae en sus extremos. El imán atrae con cualquiera de sus polos;

¹⁾ Inclinación magnética. Ángulo que en determinada localidad forma el campo magnético terrestre con la horizontal.

²⁾ Estas observaciones no se publicarían sino hasta 1831, por lo que algunos autores le dan el crédito de este descubrimiento a Norman en 1576; véase, además, Cardano, 1533.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1550)

5) la atracción del ámbar se incrementa por fricción o por calentamiento. La atracción magnética es mayor sólo cuando se limpia la parte atractiva del imán.

1551

Girolamo Cardano (1501-1576; Italia), al escribir sobre el magnetismo, postula que «se trata de un cierto apetito o deseo de nutrientes lo que hace que el imán natural tenga tal arrebato por el hierro» ([25], p. 17).

1558

Giambattista della Porta (1535-1615; Italia) publica *Magiae naturalis*, tratado sobre los secretos de la naturaleza (empezó a coleccionar objetos raros de la naturaleza desde que tenía 15 años), constituido por cuatro volúmenes. Escribe que «debido a la conveniencia proporcionada por el imán, las personas pueden conversar entre sí a través de largas distancias» y que, aun cuando la persona alejada estuviera confinada a un cuarto de prisión, los dos se podrían comunicar por medio de dos agujas de brújula, circunscritas por un alfabeto ([16], pp. 60 y 233).

Se imprime *La Epistola de Magnete*, escrita por Peregrinus en 1269 ([2], vol. II, p. 172).

RECESIÓN
(1560-1568)

1562

Se imprime nuevamente *La Epistola de Magnete* de Peregrinus, escrita en 1269. La primera impresión fue de 1558 ([2], vol. II, p. 106).

Jean Taisner publica un libro sobre los imanes ([34], vol. VII, p. 293).

DEPRESIÓN
(1569-1574)

(No hay acontecimientos registrados)

VI. CUARTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1575 - 1620)

AÑO	ACONTECIMIENTO	REACTIVACIÓN (1575-1582)
1576	Robert Norman (fl. ca. 1580; Inglaterra), tiene establecida una fábrica dedicada a la construcción de brújulas, en Wapping, Inglaterra. Sin tener conocimiento de los resultados de Cardano de 1533 y de Hartmann de 1544, anuncia el descubrimiento de la inclinación magnética en su instrumento. Dicho fenómeno le representa un problema muy serio debido a que, habiendo construido la brújula antes de magnetizar la aguja, es necesario añadir un pequeño contrapeso para que la aguja vuelva a una posición horizontal de equilibrio. Con este problema en mente, construye un círculo de inclinación (<i>dip circle</i>), el cual consiste en una aguja balanceada sobre un pivote en un eje horizontal. Norman determina que el valor de la inclinación magnética de Londres es de $71^{\circ} 50'$ (J8, vol. VII, p. 165, [16], pp. 229 y 380, [18], pp. 24-25, [25], p. 17). Gerardus Mercator (o Gerhard Kremer) (1512-1594; Flandes), independientemente de Hartmann (véase 1544) y Norman (véase arriba), anuncia el descubrimiento de la inclinación magnética ([16], pp. 229 y 380).	
1580	William Blorrough (Inglaterra) escribe <i>A Discourse on the Variation of the Compass or Magneticall Needle</i> (Discurso sobre la variación de la brújula o aguja magnética), en el cual indica que la declinación magnética de Linchouse¹⁾, Inglaterra, es de 11.25° en octubre ([1], [25], p. 18).	
1581	Robert Norman (fl. ca. 1580; Inglaterra) escribe <i>The Newe Attractive, containyng a Short Discourse of the Magnes or Lodestone, and Amongst Other His Vertues, of a Newe Discovered Secret and Subtill Properties, Concerning the Declinyng of the Needle Touched Therewith Under the Plane of the Harizon</i> (La nueva atracción, que contiene un breve discurso de los magnetos o imanes de piedra, y entre otras de sus virtudes, de propiedades secretas y sutiles recién descubiertas, que conciernen a la declinación de la aguja tocada bajo el plano del horizonte), en donde apunta que tiempo atrás se había dado cuenta ya de que las agujas de las brújulas no permanecían paralelas a la superficie de la Tierra, sino que su polo norte se inclinaba hacia el suelo, por lo que decidió construir sus brújulas con un contrapeso de cera, colocado en el polo sur de la aguja (véase 1576). Por accidente, Norman se percató de que si reduce la longitud de la aguja magnética, el contrapeso ya no sirve como tal. Sugiere que la orientación de la brújula se debe a la rotación de la aguja hacia un determinado punto, más que por ser atraída, y propone que los «<i>joynt Respective</i>», hacia los cuales se inclina la aguja, están en el interior de la Tierra. Norman mide una desviación magnética de $71^{\circ} 50'$ en Londres y está interesado en conocer los valores en otros puntos del globo terráqueo. El trabajo de Norman es el primer libro escrito en inglés sobre	

¹⁾ Gunter obtendría otro valor en 1622

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1581)

los imanes y una obra pionera sobre las leyes del magnetismo ([8], vol. VII, p. 165; [25], p. 18; [34], vol. X, pp. 149-150).

PROSPERIDAD (1583-1594)

1588 Livio Sanuto (o Sanudo) (1532[?]-1588[?], Italia) es el primero en proponer que la Tierra tiene dos polos magnéticos ([25], p. 18).

1589 Giambattista della Porta (1535-1615; Italia) publica una segunda versión de 20 tomos de su *Magiae naturalis* de 1558. En ella considera que el efecto magnético es el resultado de la constante lucha entre los dos constituyentes de ese material: mezcla de piedra y hierro. Según Porta, el imán natural atrae al hierro porque ya tiene suficiente piedra, por lo que ya no quiere atraer más a este último material.

Porta vuelve a describir una forma de transmitir mensajes entre personas que estén separadas por una cierta distancia, en la que se emplean brújulas que tengan un alfabeto circular alrededor de ellas. Cree que la aguja de una de las brújulas repetiría los movimientos de la otra, siempre que ambas agujas hayan sido magnetizadas por el mismo imán de piedra (creencia muy en boga por esta época). A este procedimiento le llama telégrafo afin (*sympathetic*) (véase Strada, 1617) ([25], pp. 18 y 19; [34], vol. XI, pp. 95-98).

ca. 1590 Paolo Sarpi (1552-1623; Italia) se interesa en el estudio del magnetismo; concibe la idea de que todos los cuerpos caen al suelo no porque esa es su naturaleza, sino porque son atraídos, tal y como el hierro es atraído por el imán ([34], vol. XII, pp. 105-106).

1590 José de Acosta (1539-1600; España) escribe *Historia natural y moral de las Indias, en que se tratan las cosas más notables del cielo, y elementos, metales, plantas y animales dellas Indias*, en donde describe que ha identificado cuatro curvas terrestres sin declinación magnética. La identificación de dichas sería de gran importancia para los cálculos náuticos, así como para los estudios de Gilbert sobre el magnetismo terrestre²⁾ ([33], vol. I, pp. 59-60; [34], vol. I, p. 48).

RECESIÓN (1595-1608)

1599 Edward Wright (1561-1615; Inglaterra) publica *Certaine Errors in Navigation, Arising Either of the Ordinarie Erroneous Making or Using of the Sea Chart, Compasse, Crosse Staffe, and Tables of Declinations of the Sunne, and Fixed Starres Detected and Corrected* (Algunos errores en la navegación, que surgen ya sea por el acto erróneo ordinario o por el uso de cartas náuticas, brújulas, crosee staff, y tablas de declinación del Sol y estrellas fijas, detectadas y corregidas) (véase Gellibrand, 1634) ([34], vol. XIV, p. 514).

Siglo 17 Varios jesuitas -Cabeo, Kircher, Léotaud y otros- publican diversos trabajos sobre el magnetismo; al tiempo de reconocer la importancia de los trabajos de Gilbert (véase abajo), tratan de que este tema se analice dentro del marco de la filosofía aristotélico-escolástica. Sin embargo, Cabeo, en su comentario a la *Meteorología* de Aristóteles, frecuentemente insiste en la

²⁾ Cuyas conclusiones a este respecto aparecerían en su obra póstuma *De mundo nostro sublimari philosophia nova*, de 1651.

(continúa siglo 17)

deseabilidad de basarse en la experiencia más que en **Aristóteles** mismo ([49], vol. I, pp. 34-35).

1600

William Gilbert (1544-1603; Inglaterra) es nombrado Presidente del *Royal College of Physicians* y médico de la reina **Elizabeth I**. Publica *De magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure* (*Sobre el imán [...] y sobre el gran imán de la Tierra*). Dicho tratado, resultado de muchos años de estudios, versa sobre diferentes aspectos de la electricidad y el magnetismo; en él, **Gilbert** reconoce su deuda a **Peregrinus**, por los conceptos aparecidos en la *Epístola* de 1269.

Gilbert es el primero en usar las palabras *electricidad*, *fuerza eléctrica*, *atracción eléctrica*, *polo magnético* y *ausencia de polos* (tal como se conocen en un imán) en un cuerpo eléctrico. Describe, por primera vez, una teoría totalmente desarrollada sobre los cinco movimientos asociados a los imanes: atracción, dirección, variación, declinación y rotación.

La obra está dividida en seis libros. En el primero, **Gilbert** introduce su idea fundamental: la Tierra es un gran imán natural. Llega a esta idea a partir de la comparación entre la Tierra y un imán, ya que ambos tienen polos, un ecuador y los dos atraen objetos. Además, los imanes naturales se encuentran esparcidos por todos los confines del globo terráqueo y el hierro, sustancia magnética primaria, yace en las profundidades de la Tierra. En este primer libro, **Gilbert** describe también la historia del magnetismo.

En su segundo libro discute el movimiento de atracción. **Gilbert** distingue claramente la diferencia entre atracción eléctrica y magnética. Demuestra que no sólo el ámbar, sino también otras sustancias se electrifican al frotarse (vidrio, azufre, lacre, piedras preciosas, etc), con lo que destruye la idea de que la atracción eléctrica es particular a sólo uno o dos materiales. Señala que el imán no requiere del estímulo de la fricción para entrar en actividad, mientras que el ámbar sí. Un imán sólo atrae sustancias magnetizables, mientras que los cuerpos electrificados atraen lo que sea. La atracción magnética no se ve afectada por la inmersión del cuerpo en agua o por la interposición de pantallas de papel o de tela, mientras que la atracción eléctrica se destruye fácilmente interponiendo alguna pantalla o sumergiendo el cuerpo en agua. Finalmente, **Gilbert** observa que la fuerza magnética tiende a acomodar los cuerpos en orientaciones definidas, mientras que la fuerza eléctrica simplemente agrupa los objetos sin orientación definida. **Gilbert** señala también la ausencia de polos en los objetos electrificados.

A partir de estos hechos, **Gilbert** deduce que los fenómenos eléctricos son resultado de algo de naturaleza material, el cual, bajo la influencia de la fricción se libera de los cuerpos (dentro de los cuales está prisionero en condiciones normales). Explica que las sustancias que han sido formadas a partir de la materia húmeda y fluida de la Tierra, se comportarán, después de solidificarse, como el ámbar frotado. Supone que la fluidez no se pierde por completo y tales sustancias emiten un effluvio que atrapa las partículas pequeñas y las atrae hacia el cuerpo. Los materiales magnéticos, por el contrario, son aquellas sustancias que comparten la forma específica y primaria de la Tierra. Dicha forma, implantada en el globo terráqueo por el Creador, da a la Tierra su propiedad magnética. A diferencia de los eléctricos, los magnéticos no dependen de la emisión de un effluvio para atraer a los cuerpos. **Gilbert** no menciona explícitamente la repulsión eléctrica³⁾. Observa que el ámbar no se encoge ni pierde peso durante la atracción eléctrica, por lo que concluye que no existe una emisión de algún *humor graso*. **Gilbert** considera también que la atracción no se

³⁾ Algunos autores creen que **Gilbert** sí observó la repulsión y que supuso que el effluvio se agotaba o consumía y que, por lo tanto, el cuerpo caía después de haber sido atraído.

(continúa 1600)

debe a corrientes de aire sobre el cuerpo atraído, como sugiriera **Plutarco** (ca. 120), porque la flama del fuego también produce corrientes de aire y no atrae a los cuerpos. Observa que algunos materiales pueden ser electrificados –a los que denomina «eléctricos»– y otros no –a los que denomina «no eléctricos»⁴⁾.

Para apoyar dichas concepciones, acude a evidencias de otros campos de la ciencia. Siendo médico, **Gilbert** conoce bien la doctrina de que el cuerpo humano contiene varios humores o tipos de humedad –flema, sangre, cólera y melancolía– los cuales, según predominen, son los que determinan el temperamento de la mente⁵⁾. Cuando observa que casi todos los cuerpos electrificables son duros y transparentes y dado que, de acuerdo con las ideas prevalecientes, están formados por la consolidación de líquidos acuosos, concluye que el *menstruum* común de estos líquidos debe ser un tipo particular de humor y las propiedades eléctricas de los cuerpos se explican por la posesión de este líquido. La fricción caliente o libera el humor, el cual sale del cuerpo como un efuvio y forma una atmósfera alrededor de éste. El efuvio debe ser, dice **Gilbert**, muy tenue, ya que su emisión no puede ser detectada por los sentidos. La existencia de la atmósfera del efuvio circundando al cuerpo, podría haber sido inferida del simple hecho de la atracción eléctrica. **Gilbert** cree que la materia no puede actuar donde no la hay y de aquí que, si un cuerpo actúa en todos los objetos cercanos sin tocarlos aparentemente, algo debe proceder sin ser visto. Supone que la emanación tiene una tendencia inherente a reunirse con el cuerpo padre. El fenómeno le parece similar a la atracción ejercida por la Tierra sobre los cuerpos que caen; en este caso la atmósfera de aire juega el papel del efuvio ([49], vol. I, pp. 35-36).

Análogamente respecto al magnetismo, **Gilbert** supone que todo imán está rodeado por una *esfera de virtud* que se extiende en todas direcciones; si una pieza de material magnético está dentro de dicha esfera, se verá afectada por el imán y, a su vez, también afectará al imán. Con ello, **Gilbert** hace hincapié en la diferencia de atracción magnética y las otras atracciones. La atracción magnética es una acción *mutua* entre cuerpo atrayente y atraído. **Gilbert** denomina *Terrella* al imán esférico usado por **Peregrinus**, y propone que éste es totalmente equivalente a la Tierra; es decir, todo lo que se pueda demostrar con él, será aplicable a la Tierra.

Gilbert construye el primer instrumento de medición electrostática, al que nombra *Versorium*. Dicho dispositivo consta de una aguja pivotada (como si fuera una brújula, pero sin estar magnetizada), que utiliza para verificar la atracción debida a las fuerzas eléctricas. El instrumento es, en esencia, el antecesor del electroscope.

Gilbert explica, en el tercer libro, que el movimiento de orientación de la brújula es simplemente la alineación de la aguja magnética con los polos sur y norte de la Tierra.

En el libro cuarto, **Gilbert** trata la variación de los movimientos de la brújula y los atribuye a la imperfección de la esfericidad de la Tierra.

En el libro quinto **Gilbert** estudia el movimiento de la inclinación magnética. Encuentra que en su *Terrella*, la aguja de una brújula magnética mantiene una posición horizontal sólo cuando se sitúa en el ecuador. Conforme se va moviendo a cualquiera de los polos, el extremo de la aguja más cercano a éste, se va inclinando hasta que, en el polo, la aguja asume una posición vertical.

En el libro sexto, **Gilbert** discute el movimiento de rotación asociado a los imanes y amplía su teoría cosmológica. No discute si el universo es heliocéntrico o geocéntrico, pero toma la proposición de **Peregrinus**, (un imán natural perfectamente esférico rotará sobre su eje cada 24 horas) y la aplica a la Tierra y a los demás cuerpos celestes. Niega la existencia de las esferas celestiales sólidas

⁴⁾ Dichos términos se seguirían usando todavía en la época de **Franklin** (tercer cuarto del siglo 18).

⁵⁾ Esta doctrina fue tomada por los médicos occidentales de los árabes, los cuales, a su vez, la tomaron de los griegos. Flemático, colérico, sangrítico y melancólico son términos que describen el exceso de los diferentes humores.

VI. CUARTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1575-1620)

(continúa 1600)

y establece que no todas las estrellas fijas están a igual distancia de la Tierra. Explica la precesión de los equinoccios y las mareas en términos de la propiedad primaria magnética de la Tierra⁶⁾ ([1], [2], vol. I, p. 113 y vol. II, p. 172; [3], vol. 5, p. 264; [18], pp. 26-27; [25], pp. 16, 21 y 24; [34], vol. V, pp. 397-399; [51], p. 3).

Edward Wright (1561-1615; Inglaterra) asiste a Gilbert en la edición de su libro (véase arriba), particularmente con el prefacio ([34], vol. XIV, p. 514). Escribe *A Laudatory adress concerning the book of magnets* (Un comentario laudatorio respecto al libro de los imanes) ([40], p. 1827).

1602 Se introduce en Italia el libro *De magnete* de Gilbert escrito en 1600 ([25], p. 22).

DEPRESIÓN (1609-1620)

1609 Johannes Kepler (1571-1630, Alemania) utiliza y amplía los conceptos de Taisner de 1562 sobre los imanes, y los de Gilbert expuestos en *De magnete* de 1600, sobre la esfera de virtud que envuelve a los cuerpos magnéticos. Kepler desea interpretar a dicha esfera como el motivo primario de la fuerza astronómica; es decir, la fuerza astronómica debería ser magnética. Sin embargo, Kepler necesita demasiados postulados específicos y por ello otros científicos encuentran inaceptables sus explicaciones magnéticas ([2], vol. II, pp. 173 y sigs.; [34], vol. V, p. 401 y vol. VII, p. 295).

1616 Paolo Sarpi (1552-1623; Italia) descubre que el magnetismo puede ser destruido con calor ([25], p. 23).

1617 Famianus Strada hace una de las primeras propuestas sobre la telegrafía. Cree que dos hombres pueden comunicarse a distancia utilizando la acción afin (*sympathetic*) de las agujas magnéticas. Según una creencia popular, dos agujas construidas a partir del mismo material, deben tener movimientos afines; por ejemplo, si una de las agujas apunta hacia una dirección, la otra aguja también apuntará en esa misma dirección (véase della Porta, 1589) ([8], vol. VII, p. 588; [16], p. 233).

1618 William Barlowe (o Barlow) (?-1625; Inglaterra) publica su libro *Magneticall Advertisements* (Avisos magnéticos), es de los primeros ingleses en escribir sobre las propiedades del imán. Es el primero en usar el término *eléctrico* —derivado de la palabra *elétrica*, usada por Gilbert en 1600— y el primero en utilizar la palabra *magnetismo*. Descubre algunas diferencias entre el magnetismo del hierro y el del acero. Diseña mejores métodos para montar y magnetizar agujas de brújulas, así como la mejor manera de perforar y fortalecer los imanes de piedra ([25], p. 23; [40], p. 112).

1620 Francis Bacon (1561-1626; Inglaterra) opina que la filosofía sobre el magnetismo de Gilbert de 1600 no está del todo equivocada, pero lo critica por haber llegado demasiado rápido a un sólo principio unificador sin el debido apego al experimento. En *Novum Organum* Bacon establece que todos los cuerpos tienen poderes para producir cambios en ellos mismos y en otros cuerpos;

⁶⁾ Una explicación más extensa de su cosmogonía sería recopilada por su hermano William Gilbert (ambos con el mismo nombre) en 1651.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1620)

dichos cuerpos tienen además *percepciones* que, a pesar de ser diferentes de las *sensaciones* animales, los habilitan para responder a otros cuerpos, como el hierro lo hace en la vecindad del imán (*[34]*, vol. I, pp. 373-377).

Bacon identifica la fuerza magnética con la gravitación (*[40]*, p. 84).

VII. QUINTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1621 - 1685)

AÑO	ACONTECIMIENTO	REACTIVACIÓN (1621-1636)
1621	Pierre Gassendi (o Gassend) (1592-1655; Francia) describe la aurora boreal ([18], p. 26). Johannes (o Joan) Baptista van Helmont (1579-1644; Bélgica) publica <i>De magnetica vulnerum naturalis et legitima curatione</i>, involucrándose en la controversia de las curaciones magnéticas de las heridas ([40], p. 782).	
1622	Edmund Gunter (1581-1626; Inglaterra) obtiene un valor de 6° 13' E para la declinación magnética en Limehouse, Inglaterra, cinco grados menor al calculado por Borough en 1580. Gunter atribuye la diferencia de valores a errores cometidos por Borough. Por otro lado, Gunter se da cuenta de que una aguja magnetizada no conserva la misma declinación en el mismo lugar y en diferentes tiempos⁽¹⁾ ([1]; [34], vol. I, p. 593).	
1623	Francis Bacon (1561-1626; Inglaterra) propone la idea de codificar la información de los mensajes en forma binaria ([10], p. 88).	
1627	Isaac Beeckam (1588-1637; Países Bajos) tiene oportunidad de estudiar el trabajo de Gilbert de 1600; rechaza las hipótesis de éste sobre la fuerza magnética interna como energía motriz de la Tierra y sostiene que la Tierra está sujeta a un movimiento inercial en el espacio vacío. Ofrece una explicación puramente mecanicista del magnetismo, cree sólo en la acción por contacto; rechaza la noción de alguna fuerza atractiva. Beeckam considera en general que los argumentos basados en la simplicidad o en la belleza (como los de Kepler) no tienen valor y condena la idea de que la Tierra posee alma e inteligencia (como así lo enunciaran Gilbert y el propio Kepler) como «indigna de un filósofo» ([34], vol. I, p. 568).	
1629	Niccolo Cabeo (1586-1650; Italia) publica su obra <i>Philosophia Magnetica in qua magnetis natura penitus explicatur, et omnium quae hoc lapide cernuntur, causae propriae afferuntur</i> , en la cual menciona la repulsión eléctrica (una de las primeras citas que describen tal efecto). La repulsión se refiere al hecho de que una partícula es repelida al tocar el cuerpo cargado por el que es atraída. La teoría eléctrica de Cabeo se basa en la hipótesis de que los cuerpos electrificados emiten un efluvio que ahuyenta al aire cercano, lo que provoca remolinos que atraen a los cuerpos ligeros; el viento resultante es tan veloz que hace que los	

¹⁾ La explicación de este fenómeno la daría Gellibrand en 1634

(continúa 1629)

objetos reboten en el cuerpo cargado²⁾. El libro de **Cabeo** es el primer trabajo sobre electricidad que se escribe en Italia ([2], vol. II, p. 172; [8], vol. VII, p. 588; [25], pp. 24-25; [34], vol. III, p. 3; [49], vol. I, p. 36).

Henry **Gellibrand** (o **Gillibrand**) (1597-1636; Inglaterra) y John **Marr** toman algunas mediciones burdas de la declinación magnética, que convencen a **Gellibrand** de que el valor señalado por **Gunter** en 1622 queda por arriba del valor verdadero ([34], vol. V, p. 343).

Henry **Gellibrand** (o **Gillibrand**) (1597-1636; Inglaterra), inotivado por los tres diferentes valores disponibles para la declinación magnética (**Borough**, 1580; **Gunter**, 1622; y el de él mismo de este año), asegura que en realidad existe una variación secular ([34], vol. V, p. 343).

1631

Athanasius Kircher (ca. 1601-1680; Alemania) publica *Ars magnetica, hoc est disquisitio bipartita emperica seu experimentalis, physico-mathematica de natura, viribus et prodigiis effectibus magnetis*, en el cual describe, entre otros temas, un dispositivo para medir la potencia magnética con la ayuda de una balanza ([34], vol. VII, p. 375).

1634

Henry **Gellibrand** (o **Gillibrand**) (1597-1636; Inglaterra) asegura nuevamente la existencia del cambio secular de la declinación magnética (véase 1629), basándose en sus consideraciones de los últimos años y los informes aparecidos en *Certaine Errors in Navigation [...]*, de **Wright** de 1599, el cual contiene un compendio de todos los valores tomados por diferentes científicos en diversos puntos de la Tierra ([16], p. 79; [34], vol. V, p. 343). Explica que la orientación del Norte de la brújula ha sufrido una variación de siete grados en los últimos cincuenta años ([6], p. 217).

La Inquisición española envía a **Johannes** (o **Joan**) **Baptista van Helmont** (1579-1644; Bélgica) a una prisión franciscana, en Bruselas, por sugerir que los cadáveres de los santos actúan a través de propiedades magnéticas³⁾ ([40], p. 782).

PROSPERIDAD (1637-1649)

1638

Martin Martini le sugiere a su maestro **Kircher**, en una carta, la posibilidad de determinar las longitudes geográficas mediante la declinación magnética ([34], vol. VII, p. 375).

Athanasius Kircher (ca. 1601-1680; Alemania) compila los diversos valores registrados de la declinación magnética de diferentes lugares del mundo. Reconociendo la importancia de la sugerencia de su alumno **Martini** (véase arriba), la da a conocer a la comunidad científica ([34], vol. VII, p. 375).

1641

Athanasius Kircher (ca. 1601-1680; Alemania) propone, en su libro *Magnetice artis sive de arte magnetica*, una manera de medir el magnetismo. Al suspender un

²⁾ La *Academia Florentina* trataría de probar esta teoría en 1667.

³⁾ Se le dejaría libre, pero en arresto domiciliario, hasta ca. 1637. Se le absolvería oficialmente en 1649, cinco años después de su muerte.

(continúa 1641)

imán de uno de los brazos de una balanza, se puede medir la atracción magnética poniendo pesas en el otro brazo (véase 1631) ([8], vol. VII, p. 588).

Refuta además las concepciones cosmológicas magnéticas de **Gilbert** y **Kepler** ([34], vol. V, p. 575).

ca. 1643

Evangelista **Torricelli** (1608-1647; Italia) comprueba que la luz, el calor y el magnetismo se transmiten libremente en el vacío ([6], p. 201).

1644

René du Perron **Descartes** (1596-1650; Francia) publica *Principia Philosophiae*, en el cual propone, entre otros asuntos, una nueva teoría científica sobre el magnetismo basada en su concepción de los vórtices. Adopta una sugerencia de **Gilbert** (véase 1600) y postula que existe un vórtice de materia fluida alrededor de cada imán; la materia del vórtice, que entra por un polo y sale por el otro, actúa sobre el hierro y el acero gracias a una resistencia especial a su movimiento proporcionada por las moléculas de esas sustancias ([40], p. 33). Pretende mostrar que las fuerzas magnéticas no son de naturaleza oculta. Su teoría es el resultado de la invención del intelecto, más que de la investigación experimental o matemática. A veces se le atribuye haber sido el primero en haber dibujado líneas de fuerza magnéticas (véase **Peregrinus**, 1269) ([25], pp. 19 y 26). **Descartes** atribuye el magnetismo al conflicto de las partículas expulsadas por el gran vórtice, a partir del cual él cree que el universo se desarrolló ([8], vol. VII, pp. 588-589).

1645

Kenelm **Digby** (1603-1665; Inglaterra) publica *The Nature and Operation of Bodies* (*La naturaleza y operación de los cuerpos*), en la cual propone una teoría sobre el magnetismo terrestre. Según ésta, la materia magnética es llevada desde ambos polos terrestres hacia el ecuador por el aire frío, el cual fluye en la misma dirección debido a que el aire en las zonas tórridas está muy enrarecido. Al encontrarse las dos corrientes, se forman «riachuelos de átomos» que se continúan desde un polo hasta el otro, regresando a su polo original y pasando a través de la tierra, en donde generan el imán natural. Sin embargo, no queda muy clara la forma en que se genera el campo magnético ([25], p. 26).

Análogamente, **Digby** piensa que la atracción eléctrica se debe a la condensación de un vapor por enfriamiento ([49], vol. I, p. 36).

Se funda el *Philosophical College*⁴⁾, en Londres, Inglaterra ([25], p. 26).

1646

Thomas **Browne** (1605-1682; Inglaterra) publica *Pseudoxia epidemica: or, Enquires Into Very Many Received Tenents, And Commonly Presumed Truths*, en el cual introduce el sustantivo *electricidad* (véase **Peregrinus**, 1269) ([49], vol. I, p. 33). Se considera que es la primera vez que esta palabra se utiliza en inglés ([25], pp. 23 y 27).

Por otra parte, **Browne** dice que los cuerpos dispersados, después de haber sido atraídos, son repelidos (véase **Cabeo**, 1629) ([2], vol. II, p. 172).

Athanasius **Kircher** (ca. 1601-1680; Alemania) publica *Ars magna lucis et umbrae in mundo*, donde argumenta que la luz (imán atrayente de todas las cosas y conectada con el cielo mediante una cadena desconocida) se comporta exactamente como los imanes ([34], vol. VII, p. 375).

⁴⁾ En 1660 se convertirá en la *Royal Society of London*.

RECESIÓN
(1650-1670)

- 1650 Franciscus Mercurius van **Helmont** (1614-1699; Países Bajos) publica un trabajo en el cual describe algunos experimentos y fenómenos sobre la electrificación del ámbar ([18], p. 27).
Helmont publica además una traducción al inglés del libro de **Gilbert**, *De Magnete* de 1600, lo cual estimula de manera importante el estudio en la ciencia de la electricidad ([25], p. 27).
- Robert **Boyle** (1627-1691; Irlanda) descubre que los materiales electrificados atraen cuerpos ligeros aun en el vacío. Con ello demuestra que la atracción no depende del aire, como se ha sugerido en algunas teorías anteriores ([6], p. 28; [25], p. 27).
- Pierre **Gassendi** (o **Gassend**) (1592-1655; Francia) descubre que si un imán de piedra se perfora a lo largo de su eje magnético y se inserta en él una varilla de hierro, la fuerza de atracción del imán se incrementa de manera importante ([25], p. 27).
Por otro lado, la idea de **Kepler** sobre emanaciones o fuerzas magnéticas motiva a **Gassendi** a sugerir la existencia de una atracción universal, o más bien, una «interacción universal», aun cuando no puede imaginar (al igual que **Descartes**) una forma diferente de transmisión que no sea mediante el contacto ([34], vol. V, p. 288).
- Otto von **Guericke** (o **Gericke**) (1602-1686; Alemania) inventa una rudimentaria bomba de aire para producir vacío parcial. Una de las conclusiones a las que llega, es la de que la luz se transmite en el vacío, mas no así el sonido ([3], vol. 5, p. 542).
- 1651 Cuarenta y ocho años después de la muerte de **Gilbert**, su hermano junta y probablemente edita una serie de artículos en un libro llamado *De mundo nostro sublunari philosophia nova*, dividido en dos partes, una "Physiologiae nova contra Aristotelem" (expansión de la cosinogonía expuesta en *De Magnete* de 1600) y "Nova meteorologia contra Aristotelem" ([3], vol. 5, p. 264; [34], vol. V, pp. 399-400).
- 1654 Otto von **Guericke** (o **Gericke**) (1602-1686; Alemania) perfecciona su bomba mecánica de aire para producir vacío. La primera versión, de 1650, era muy ineficiente y burda. Utilizando dos hemisferios de cobre colocados de manera tal que entre ellos forman una esfera completa y evacuando el aire dentro, demuestra que: a) la presión atmosférica es muy grande; b) el vacío sí existe; y c) que éste se puede crear mecánicamente. En un experimento impresionante, dos tiros de ocho caballos cada uno, marchando en dirección opuesta, no logran separar los dos hemisferios ([3], vol. 5, p. 542; [6], p. 104; [25], p. 27).
- 1657 Se funda la *Academia Fiorentina de Experimentos*, en Florencia, Italia. Sus fundadores, discípulos de **Galilei**, se organizan con el fin de realizar investigación experimental sobre fenómenos físicos. Dicha *Academia* ganaría mucha fama durante sus primeros años; sin embargo, decaería a partir de 1667, cuando llevaría a cabo experimentos sobre la atracción electrostática (véase **Cabeo**, 1623) ([25], p. 28).

- 1660 El *Philosophical College* (véase 1645), Inglaterra, se transforma en la *Royal Society of London*. Sus estatutos son firmados por **Charles II** (1630-1685; Inglaterra), rey de Inglaterra (r. 1660-1685) ([25], p. 28).
- 1661 Robert Boyle (1627-1691; Irlanda) ataca la teoría aristotélica y los postulados de **Paracelso**, al desarrollar el concepto de *partículas primarias*. Según Boyle, estas partículas, al chocar unas con otras, producen corpúsculos. De acuerdo con esta teoría, las diversas sustancias existentes en la naturaleza son el resultado de diferentes combinaciones de número, posición y movimiento de las partículas primarias. Todos los fenómenos naturales se pueden explicar por el movimiento y organización de esta materia primaria. Boyle no postula la existencia de diferentes tipos de elementos primarios, como se haría durante el siglo 19 ([3], vol. 2, p. 447).
- Robert Moray (o Murrey, Murray) (1608[?]-1673; Escocia) es elegido por el rey de Inglaterra, **Charles II**, como primer presidente de la recién creada *Royal Society of London* (véase 1660) ([25], p. 28).
- 1663 Otto von Guericke (o Gericke) (1602-1686; Alemania) tiene como interés principal el averiguar la naturaleza del espacio, saber cómo un cuerpo celeste individual puede afectar a otro a través del espacio, cómo se mueven y, por último, si el espacio cósmico es finito o infinito. A raíz de estos cuestionamientos, surge la idea de tomar en consideración las hipótesis de Gilbert y de Kepler, basadas en la noción de que los objetos interactúan entre sí en el espacio vacío mediante una fuerza magnética. Se une a la crítica hecha por Kircher en 1641 a dichas hipótesis. Trata de modificar los experimentos magnéticos de Gilbert, utilizando materiales que simulen la composición real de la Tierra. Para este fin, forma una esfera compuesta con varios minerales que contienen un gran porcentaje de azufre y demuestra que ésta tiene las *virtutes mundanae*, esto es, poderes de atracción y capacidad para mover a otros objetos. Posteriormente construye una esfera de azufre puro, la cual, al ser frotada, produce electricidad estática.
- Guericke describe también el fenómeno de la repulsión que ejercen los cuerpos electrificados ([49], vol. 1, p. 36).
- Guericke no reconoce estos efectos eléctricos como fenómenos especiales, sino como simples demostraciones de las *virtutes* de los cuerpos celestiales, por lo que estrictamente no se le puede dar crédito como el inventor de la primera máquina eléctrica ([34], vol. I, p. 575). Sin embargo, en la historia del electromagnetismo, su máquina eléctrica constituye el siguiente punto clave, después de la aparición del libro *De Magnete*, de Gilbert en 1600.
- La máquina eléctrica impulsa en forma considerable el estudio de la electricidad, al permitir generar suficientes cantidades de ésta y así poder estudiar su acción con mucha mayor claridad ([3], vol. 6, p. 542; [8], vol. VIII, p. 514; [18], p. 27; [25], p. 29; [51], p. 3).
- ca. 1665 Alejandro Fabián (Nueva España), que vive en la Nueva España en el segundo tercio del siglo 17, es corresponsal de varios científicos europeos, entre los que se encuentra el jesuita Kircher (véase 1667) ([33], pp. 61-62).
- 1666 Jean Baptiste Colbert (1619-1683; Francia), consejero económico de Luis XIV, rey de Francia, persuade a este último para que empiece a patrocinar a los científicos. El rey funda la *Académie française des sciences*, que sería rival de la *Royal Society of London* (véase 1660) ([57], p. 1237).

1667 La *Academia Florentina de Experimentos* trata de demostrar la teoría de Cabeo de 1629 sobre las causas de la electricidad. Intentan responder si el poder atractivo de un *eléctrico* se debe o no al efecto de los remolinos producidos por el aire alrededor del cuerpo que provocan que las partículas ligeras sean atraídas hacia él. El experimento consiste en generar vacío en una cavidad, con el fin de probar si existe este tipo de atracción o no. Dadas las dificultades para obtener un vacío satisfactorio, los resultados del experimento no son concluyentes. En otro experimento se demuestra que la atracción entre el cuerpo eléctrico y el atraído es mutua⁵⁾ ([25], pp. 25, 29 y 30).

Athanasius Kircher (ca. 1601-1680; Alemania) publica *Magneticum naturae regnum*, la cual se siente obligado a dedicar a su corresponsal novohispano Alejandro Fabián ([33], pp. 61-62).

1668 Vincent Lédaut (1595-1672; Francia) es probablemente el primero en considerar al imán como una suma de pequeños imanes alineados en una dirección común con la de sus polos⁶⁾ ([25], p. 30).

ca. 1670 John Wilkins (1614-1672; Inglaterra) propone tres fuentes naturales de poder para obtener movimiento perpetuo: la *extracción química*, las *virtudes magnéticas* y el *efecto natural de la gravedad*. Esta última fuente comprende a toda la familia de discos sobrebalanceados. Específicamente menciona sólo una fórmula para la extracción química⁷⁾. También diseña, pero nunca intenta construir, un dispositivo que hace uso de la atracción magnética. En este dispositivo, un imán de piedra atraería una bala a lo largo de una ranura inclinada donde, en algún punto del trayecto de subida, caería por un agujero y rodaría hasta la posición inicial. probablemente esta máquina es la primera de una larga serie de dispositivos que intentan utilizar la fuerza eléctrica o magnética para producir movimiento perpetuo⁸⁾ ([3], vol. 18, p. 442).

DEFINICIÓN (1671-1685)

1672 Otto von Guericke (o Gericke) (1602-1686; Alemania) publica *Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio* (*Nuevos experimentos en Magdeburg sobre el espacio vacío*), en el cual describe los experimentos realizados para la construcción de su máquina eléctrica de 1663. Nota que algunas veces la electricidad estática de su máquina produce un brillo. Esta, al parecer, es la primera vez que se establece la conexión entre dicho brillo y la acción de la descarga eléctrica. En consecuencia, es el primero en observar la electroluminiscencia.

Guericke verifica la repulsión eléctrica, mostrando que una pluma, puesta entre la bola electrificada y el piso, brinca hacia arriba y hacia abajo. Descubre la conducción eléctrica (aunque parece ser que no la reconoce como tal) cuando hace que una carga eléctrica viaje a lo largo de una cuerda de lino. Muestra que algunos cuerpos se pueden electrificar al acercarlos a la bola electrificada de su máquina ([3], vol. 5, p. 342; [8], vol. VIII, p. 514; [25], pp. 29 y 30).

⁵⁾ Dicho descubrimiento se le ha atribuido a Boyle, en 1675.

⁶⁾ Teoría muy parecida a la de nuestros días.

⁷⁾ El concepto subyacente pudo haber surgido de una mala comprensión del movimiento incesante de las pequeñas partículas visibles en un fluido, que ahora se conoce como *movimiento browniano*.

⁸⁾ Las máquinas propuestas más recientemente tienen un dispositivo mecánico para interponer un escudo y, así, aislar temporalmente una porción de la máquina del campo magnético o eléctrico existente.

- 1675 Robert Boyle (1627-1691; Irlanda) especula, en una publicación, sobre los orígenes y producción de la electricidad sin llegar a explicaciones satisfactorias ([17], vol. IV, p. 648).
- Jean Picard (1620-1682; Francia), al estar cargando un barómetro de mercurio por la calle en la noche, se da cuenta de que después de agitar el tubo aparece un brillo⁹⁾ en la parte superior del mismo conforme el mercurio se oscurece por las paredes; anuncia su observación a la *Académie française des sciences*, de París, Francia ([25], p. 30; [51], p. 4).
- Isaac Newton (1642-1727; Inglaterra) informa a la *Royal Society of London*, Inglaterra, que un pedazo de vidrio frotado atrae, al igual que el ámbar, a pequeños objetos ligeros y, más aún, que el vidrio muestra un segundo tipo de electricidad en la superficie opuesta a la frotada. También hace notar la similitud entre la chispa eléctrica y los rayos de las tormentas, aun cuando no llega a identificar a los rayos como fenómeno eléctrico¹⁰⁾ ([18], p. 27; [25], p. 30).
- 1678 Jan Swammerdam (1637-1680; Países Bajos) lleva a cabo el primer experimento conocido sobre la influencia de la electricidad en los nervios y músculos de animales. Sosteniendo un músculo disecado con un alambre de plata y tocando el nervio del músculo con un alambre de cobre, observa que el músculo se contrae (véase Boerhaave, 1737-38, 1752 y 1758) ([18], p. 28).
- Con este hecho demuestra que los músculos se alteran en la forma, mas no en el tamaño, contradiciendo las teorías de Galeno, las cuales establecían que el responsable del movimiento de los músculos era un fluido que transitaba por los nervios ([3], vol. II, p. 430; [8], vol. VIII, p. 521).
- ca. 1680 Robert Boyle (1627-1691; Irlanda) establece que la atmósfera terrestre está compuesta por tres tipos de partículas: a) las partículas permanentemente elásticas que constituyen propiamente el aire, un «cuerpo delgado, diáfano, compresible y dilatado»; b) vapores y exhalaciones secas de la tierra, agua, vegetales y animales; y c) «vapores magnéticos de nuestro globo terrestre» y partículas de luz del Sol y las estrellas ([34], vol. VI, pp. 40-41).
- 1683 Edmond (o Edmund) Halley (1656[?]-1743; Inglaterra) publica "A Theory of the Variation of the Magnetical Compass" ("Teoría de la variación de la brújula magnética")¹¹⁾, en el cual formula algunas suposiciones sobre las causas de la variación magnética, así como de la composición del campo magnético terrestre ([34], vol. V, p. 71).
- 1684 Robert Hooke (1635-1702; Inglaterra) describe un sistema de telegrafía ([6], p. 114; [8], vol. VIII, p. 507).

⁹⁾ El cual se conocería como luz barométrica.

¹⁰⁾ Algunos autores creen que Newton hizo dicha observación en 1716. Sin embargo, es más probable que Newton haya hecho este comentario en 1675, ya que sus estudios sobre la electricidad no los continuó por mucho tiempo después de este año ([25], p. 30).

¹¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 13.

VIII. SEXTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1686 - 1735)

AÑO	ACONTECIMIENTO
	REACTIVACIÓN (1686-1694)
1690	Christiaan Huygens (o Christian Huyghens) (1629-1695; Países Bajos) publica <i>Traité de la lumière (Tratado sobre la luz)</i> y su suplemento <i>Discours (Discurso)</i>, en donde describe su concepción mecanicista de los fenómenos naturales. Según él, estos fenómenos son resultado exclusivamente de la interacción entre cuatro o cinco clases de partículas. Las partículas de la primera clase son las componentes de los cuerpos ordinarios y del aire. El sonido es la vibración de estas partículas. La segunda clase está constituida por los corpúsculos que forman el éter y el fenómeno de la luz puede explicarse mediante las ondas de choque de este medio. En algunos cuerpos ordinarios las partículas de la primera clase forman espacios por los cuales pueden pasar las partículas del éter, por lo que estos cuerpos son transparentes¹⁾. Las partículas del tercer grupo son las portadoras de los fenómenos magnéticos, mientras que las de la cuarta clase forman una «sutil materia» responsable de la gravedad. No queda claro si Huygens supone la existencia de un quinta clase (entre la 3ª y la 4ª) para explicar los fenómenos eléctricos ([25], p. 32; [34], vol. VI, pp. 608-609).
1692	Edmond (o Edmund) Halley (1656[?]-1743; Inglaterra), habiendo estudiado la influencia del magnetismo terrestre sobre las agujas de las brújulas desde 1683, publica "An Account of the Cause of the Change in the Variation of the Magnetical Needle, With an Hypothesis of the Structure of the Internal Parts of the Earth" ("Recuento de la causa del cambio en la variación de la aguja magnética, con una hipótesis de la estructura de las partes internas de la Tierra")²⁾, donde describe las bases físicas de su teoría. Sugiere que la Tierra tiene cuatro polos magnéticos, un par situado en los extremos del eje de un cascarón magnético exterior, mientras que el otro par está en los extremos del eje de un núcleo magnético interior. Tanto el núcleo como el cascarón tienen períodos de rotación diaria ligeramente diferentes, lo que explica las variaciones observadas. También postula que el espacio comprendido entre el núcleo y el cascarón está lleno de un <i>effluvio</i> ([8], vol. VIII, p. 514).
	PROSPERIDAD (1695-1719)
1698-1700	Edmond (o Edmund) Halley (1656[?]-1743; Inglaterra) es el comandante de la primera expedición marítima con fines exclusivamente científicos. El propósito del viaje es registrar las variaciones en las lecturas de la brújula, con el fin de lograr determinar la longitud en el mar. Los resultados obtenidos no son completamente satisfactorios; sin embargo, Halley publicaría un mapa, en 1701,

¹⁾ Esta teoría presenta algunas inconsistencias, pero aún así perduraría hasta la época de Maxwell (ca. 1865)

²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 17.

(continúa 1698-1700)

en el que dibujaría dichas variaciones. El viaje se realiza en los mares del Atlántico Sur ([3], vol. 5, pp. 644-645; [34], vol. V, p. 71).

1699-1701

Stephen Gray (o Grey) (1666-1736; Inglaterra) envía a la *Royal Society of London*, Inglaterra, diversos artículos e informes sobre diferentes instrumentos, así como sobre algunas rarezas, tales como soles simulados, arenas magnéticas y fósiles de criaturas antediluvianas ([34], vol. V, p. 515).

1701

Johann (o Jean) I Bernoulli (1667-1748; Suiza) vuelve a interesarse en la luz barométrica después de haber revisado algunos de sus experimentos con mercurio en diversos tipos de tubos al vacío. Cree que esta luz es el resultado de un eflujo que se libera al agitar el mercurio ([25], p. 34). Escribe varios artículos³⁾ en los que analiza este fenómeno bajo el marco de la física cartesiana contemporánea, pero no logra dar ninguna explicación satisfactoria del fenómeno conocido como triboluminiscencia ([34], vol. II, p. 55).

Edmond (o Edmund) Halley (1656[?]-1743; Inglaterra) realiza, como resultado de la expedición científica marítima iniciada en 1698, el primer mapa sobre el magnetismo terrestre, con título (traducido) *Un mapa general mostrando, en una sola vista, las variaciones de la brújula*, en el cual dibuja con líneas curvas todas las posiciones para las cuales la variación de la brújula es la misma, curvas llamadas *isogónicas* ([3], vol. 5, pp. 644-645; [25], p. 34; [34], vol. V, p. 71).

1703

Francis Hauksbee (o Hawksbee) (ca. 1666-1713; Inglaterra) comienza a estudiar los fenómenos registrados por Picard hacia 1675, sobre la aparición de un brillo cuando se agita un barómetro de mercurio. En la reunión del 15 de diciembre de la *Royal Society of London*, Inglaterra (primera presidida por el recién ciego Newton), Hauksbee muestra que al vaciar precipitadamente un poco de mercurio en el receptor de su nuevo modelo de bomba de aire y derramarlo sobre un recipiente de vidrio invertido, se puede observar una luz centelleante, como si «una lluvia de fuego descendiera por los lados del recipiente.» ([34], vol. VI, p. 169).

Los holandeses introducen a Europa la turmalina, traída de Ceilán. Algunas personas observan que al calentarlo, dicho cristal atrae la ceniza –efecto que después llegaría a conocerse como *piroelectricidad*– (véase Lemery, 1717 y Aepinus y Wilcke, 1756) ([16], p. 243).

1704

Isaac Newton (1642-1727; Inglaterra) publica su obra *Optiks* (*Optica*), cuyo tema principal es la teoría corpuscular de la emisión de la luz. Con relación a la teoría eléctrica de Gilbert (véase 1600), escribe: «Que también me diga cómo un cuerpo eléctrico puede por fricción emitir una exhalación tan extraña y sutil, y aun así tan potente, como para que por su emisión no cause disminución sensible del peso del cuerpo eléctrico y que se expanda a través de una esfera cuyo diámetro es superior a los 50 cm y aun así sea capaz de agitar y levantar una hoja de cobre o de oro desde una distancia mayor de 30 cm del cuerpo eléctrico». Sorprende que la teoría newtoniana de la gravitación no represente un duro golpe para la teoría de la emanación de la electricidad; pero la doctrina de Gilbert está firmemente establecida, tanto como para resistir inalterada a la derrota de la analogía a partir de la cual se originara ([49], vol. I, pp. 36-37).

³⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences.*

1705

En el otoño, Francis Hauksbee (o Hawkshee) (ca. 1666-1713; Inglaterra) realiza diversas demostraciones del efecto de la electroluminiscencia (véase 1703). Por ejemplo, produce la luz mercurial forzando a que el aire pase hacia arriba a través del mercurio en el receptor evacuado de su bomba de aire. Descubre que, para que se produzca la luminosidad, el recipiente no debe estar totalmente al vacío. A partir del hecho de que mientras más fuertemente se agite el mercurio, más brillante es la luz, deduce que la causa de esta luminosidad es la fricción del mercurio contra el vidrio. A continuación, trata de averiguar si esta propiedad es inherente al mercurio. Construye un dispositivo con su bomba de aire y un bulbo de vidrio al vacío. Cuando lo hace girar y lo frota, el bulbo no sólo se carga y atrae objetos ligeros, sino también que cuando unas cuentas de ámbar se frotan con una tela de lana, se produce una luz más brillante en el vacío que en el aire; mientras que, por el contrario, cuando se hace chocar una roca con un pedazo de acero, no se producen chispas, a menos que se admita aire en el receptor de la máquina.

El 19 de diciembre, Hauksbee muestra a la *Royal Society of London*, Inglaterra, un experimento crucial. Sobre un eje monta un globo de vidrio al vacío y lo hace girar rápidamente contra una tela de lana. Cuando esto sucede, en el receptor se produce una luz púrpura lo suficientemente potente como para iluminar los alrededores cercanos, y cuando se permite la entrada de aire al receptor la luz pierde su color y su intensidad ([8], vol. VIII, p. 514; [25], p. 26; [34], vol. VI, pp. 169-179; [51], p. 4).

1706

Francis Hauksbee (o Hawkshee) (ca. 1666-1713; Inglaterra) continúa, en su casa, sus experimentos sobre la luminosidad producida por fricción. Evacúa el aire de un globo de vidrio, de unos 27 cm de diámetro, y lo fija a una máquina que lo hace girar velozmente. Cuando presiona el globo con su mano en la oscuridad, se produce dentro de éste una luz púrpura; si el globo contiene aire, no se genera luz alguna pero unas motas luminosas se adhieren a los objetos que se acercan al globo. Sin embargo, todavía no hace referencia alguna a la electricidad⁴¹.

Partiendo del hecho de que la luz de estas motas se parece a la producida por la fricción del mercurio y el vidrio, Hauksbee supone que si frota bruscamente la parte superior de un barómetro, sin perturbar el mercurio, se producirán los mismos efectos que obtuvo el año anterior con el globo de vidrio. Con un barómetro ordinario, logra obtener una luz muy débil, por lo que pasa a estudiar estos efectos en tubos de vidrio al vacío más grandes; la luz así generada es más intensa, pero sin el efecto colateral de «darle luz a los objetos cercanos». Al experimentar con tubos abiertos no se produce la luminosidad, pero sí observa que una luz parece fijarse en los cuerpos cercanos, acompañada de un sonido de chisporroteo. Estos efectos se pueden observar también a la luz del día, y Hauksbee los reconoce, ahora sí, como los efectos eléctricos descritos por Gilbert, Boyle y otros. Al momento de frotar vigorosamente los tubos, observa que unos pedacitos de bronce son atraídos primero por el tubo, para luego ser repelidos violentamente. Este fenómeno de repulsión había sido señalado ya por Cabeo en 1629 y había sido despreciado por otros investigadores, tales como Guericke en su informe de 1672. Hauksbee detecta también el viento eléctrico, cuando al acercar a su cara un tubo fuertemente frotado siente como si unos «finos cabellos flexibles» la acariciaran y encuentra que un pedazo de muselina sirve como pantalla a estos efectos ([25], p. 34; [34], vol. V, p. 516 y vol. VI, pp. 170-171).

Stephen Gray (o Grey) (1666-1736; Inglaterra), intrigado por las recientes investigaciones de Hauksbee, diseña varios experimentos mediante los cuales

⁴¹ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 24, 1706.

(continúa 1706)

intenta dibujar la trayectoria del «efluvio luminoso y eléctrico». Vuelve a descubrir la demostración descrita en 1672 por **Guericke** en la que una pluma, una vez atraída por el tubo frotado, puede quedar flotando sobre éste; encuentra que la luz es inherente al efluviio de otros eléctricos y propone que los movimientos eléctricos y los brillos surgen de una doble corriente de partículas muy finas, una de las cuales es expulsada del eléctrico y la otra es una respuesta del medio. Este esquema, que pone en términos de efluviio a la corriente de aire entrante de la teoría de **Cabeo** y anticipa la afluencia del sistema de **Nollet**, llevaría a **Gray** a descubrir la conducción eléctrica en 1729. La *Royal Society of London*, Inglaterra, no publica sus informes, principalmente porque **Hauksbee** se apropia de los resultados (la pluma suspendida, los efluviios luminosos de la cera y el azufre y la teoría de la doble corriente) ([34], vol. V, p. 516).

1708

William Wall logra generar, de manera similar a la de **Hauksbee** en 1705, descargas eléctricas. Relaciona además el sonido y la luz de las chispas eléctricas con el trueno y el rayo⁵⁾ ([8], vol. VIII, p. 515; [25], p. 35).

1709

Francis Hauksbee (o **Hawksbee**) (ca. 1666-1713; Inglaterra), durante los últimos tres años, ha seguido realizando experimentos relacionados a la producción de electricidad mediante el frotamiento y a los efectos luminosos de la fricción. Sabe que otros cuerpos pueden producir una luz cuando son frotados en el vacío, pero son las propiedades del vidrio las que le interesan principalmente. Construye una versión mejorada de lo que, de hecho, es un generador triboeléctrico, el cual consiste en un recipiente de vidrio, lo más cilíndrico posible, montado horizontalmente en su máquina de vacío. Para estudiar el efluviio luminoso diseña un primitivo electroscopio, formado por un semicírculo de alambre, al cual amarra algunos hilos de seda y lo coloca sobre el cilindro. Cuando éste se hace girar, los hilos son movidos por el aire producido, pero en el momento de aplicar fricción al vidrio, todos los hilos se tensan, apuntando hacia el eje del cilindro. Posteriormente, **Hauksbee** amarra una serie de listones al borde de un disco de madera que coloca dentro de un globo de vidrio lleno de aire; si el globo se hace girar y se le aplica fricción, los listones se extienden radialmente hacia afuera. Observa que si en esta situación acerca su dedo al vidrio, los listones son repelidos. **Hauksbee** conjetura que el misterioso efluviio puede penetrar el vidrio y, para probar su hipótesis, coloca un globo de vidrio, cuyo interior está al vacío, cerca de su máquina, la cual hace girar otro globo lleno de aire. Cuando aplica fricción a este último globo, puede observar un brillo en el primer globo.

Este año publica *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects Containing An Account of Several Surprising Phenomena Touching Light and Electricity* (Experimentos físico-mecánicos sobre varios temas que incluyen un recuento de diversos fenómenos sorprendentes relacionados con la luz y la electricidad). Entre las conclusiones a las que llega, como resultado de sus investigaciones, se pueden citar las siguientes ([34], vol. VI, p. 171):

- 1) Al igual que **Gilbert**, **Boyle** y **Newton**, supone que la electricidad es un efluviio albergado en el vidrio y en otros cuerpos eléctricos y es liberado (no sabe cómo, pero cree que el calor de la fricción juega un papel importante) cuando tales cuerpos son frotados fuertemente.
- 2) El fluido eléctrico es probablemente corpuscular y definitivamente material.
- 3) Se propaga con una fuerza considerable.
- 4) Su poder se hace manifiesto cuando «pequeños cuerpos se ponen en movimiento brusco y vigoroso».

⁵⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 26

(continúa 1709)

- 5) Posee cierta continuidad.
- 6) Parece propagarse a lo largo de rayos y en una trayectoria recta y directa.
- 7) Sin embargo, su movimiento es fluctuante, a veces atrae y a veces repele.
- 8) Parece existir en la superficie de los objetos (*[16]*, p. 79).
- 9) Por último, las fuerzas de este efluvio se asemejan un poco al *Gran Fenómeno del Universo* (fuerza de la gravedad).

En el prefacio de la obra, **Hauksbee** escribe que la electricidad probablemente puede explicar «la Producción y Determinación incluso del Movimiento Involuntario en las Partes de los Animales» (véase **Newton**, 1713) (*[34]*, vol. VI, p. 45).

ca. 1710

Nicolaas Hartsoeker (o **Hartsoecker**) (1656-1725; Países Bajos) propone que el magnetismo terrestre se debe a las rotaciones de la Tierra alrededor del Sol (*[6]*, p. 218).

1712

Francis Hauksbee (o **Hawksbee**) (ca. 1666-1713; Inglaterra) intenta, a solicitud de **Newton**, descubrir la ley de atracción magnética. Para ello deja caer desde la cúpula de la Catedral de San Pablo, Londres, Inglaterra, algunos cuerpos esféricos de diferentes pesos (corcho, esfera de vidrio llena de aire y otra llena de mercurio). Sus experimentos resultan en un notable fracaso (*[34]*, vol. VI, p. 172).

Francis Hauksbee (o **Hawksbee**) (ca. 1666-1713; Inglaterra) y **Brook Taylor** (1685-1731; Inglaterra) investigan algunos fenómenos relacionados con la atracción magnética cuando se pone una gota de aceite entre dos placas de vidrio, las cuales forman un ángulo agudo de unos cuantos grados, al mantener juntos uno de sus bordes. Encuentran que la gota de aceite se mueve hacia este borde, aun cuando las placas están inclinadas respecto a la horizontal; es decir, muestran que existe una fuerza de atracción que vence a la de la gravedad (*[34]*, vol. VI, p. 172).

1712-24

Brook Taylor (1685-1731; Inglaterra) publica trece artículos⁶⁾ sobre sus experimentos y conclusiones relacionados con capilaridad, magnetismo y termómetros (*[34]*, vol. XIII, p. 265).

1713

Isaac Newton (1642-1727; Inglaterra) introduce, en varias ocasiones, modificaciones en las nuevas ediciones de sus trabajos, incorporando los resultados obtenidos por **Hauksbee** (*[34]*, vol. VI, p. 173).

En la sección "General Scholium", de la 2ª edición de los *Principia*, **Newton** escribe que «un espíritu eléctrico y elástico» puede explicar la sensación y causar que «los miembros de cuerpos animales [se] muevan a la orden de la voluntad, principalmente, por las vibraciones de este espíritu, mutuamente propagadas a lo largo de los filamentos sólidos de los nervios, de los órganos externos de los sentidos hasta el cerebro, y del cerebro hasta los músculos.» (véase **Hauksbee**, 1709) (*[34]*, vol. VI, p. 45).

1716

El 16 y 17 de marzo, **Edmond** (o **Edmund**) **Halley** (1656[?]-1743; Inglaterra) realiza algunos estudios cuidadosos sobre las «explosiones de las luces del norte», es decir, las auroras boreales (*[8]*, vol. IX, p. 551). Con base en los resultados obtenidos y en las sugerencias propuestas en 1692, es el primero en reconocer la

⁶⁾ Aparecidos en varios volúmenes de *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

(continúa 1716)

conexión del magnetismo terrestre y las auroras boreales, asegurando que éstas son un efluvio luminoso que se escapa de la tierra y su movimiento está controlado por el campo magnético terrestre ([34], vol. V, p. 71).

1717

Louis Lemery (1677-1743, Francia) muestra a la *Académie française des sciences*, de París, Francia, una piedra que al ser calentada atrae cuerpos ligeros. Este hecho puede ser el punto de partida del interés hacia la piroelectricidad. A Lemery se le ha llamado *Padre de la piroelectricidad* (véase 1703 y Aepinus y Willeke, 1756) ([25], pp. 31 y 37).

1719

Johann (o Jean) I Bernoulli (1667-1748; Suiza) investiga el fenómeno de la tribohuminescencia⁷⁾, que ya había estudiado en 1701 ([34], vol. II, p. 55).

RECESIÓN (1720-1727)

1720

Willem Jacob 'sGravesande (1688-1742; Países Bajos) publica *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. Sive, introductio ad philosophiam Newtonianam*. Atribuye los efectos eléctricos a las vibraciones inducidas en el efluvio que supone permanentemente adherido a cuerpos como el ámbar. El vidrio, dice, contiene en su interior y tiene sobre su superficie una cierta atmósfera, la cual es excitada por la fricción y puesta en movimiento vibratorio. Las partes más pequeñas son agitadas por el roce y, dada su elasticidad, el movimiento es vibratorio; éste es comunicado a la atmósfera y de aquí que ésta ejerza una acción mayor mientras mayor sea la agitación que reciben las partes del vidrio al frotarlas con mayor fuerza ([49], vol. I, pp. 37 y 41).

Stephen Gray (o Grey) (1666-1736; Inglaterra) descubre que se puede generar electricidad friccional en otras sustancias (diferentes del ámbar, el vidrio y el azufre), tales como el cabello, la seda, las plumas y tripas de buey doradas ([25], pp. 37-38; [34], vol. V, p. 516).

1722

Emanuel Swedenborg (o Swedborg) (1688-1772; Suecia) realiza algunos experimentos sobre magnetismo y sobre fosforescencia ([8], vol. X, p. 658). Swedenborg inventa una bomba de aire de mercurio⁸⁾ ([25], pp. 31 y 38).

Generalmente se acredita a George Graham (ca. 1674-1751; Inglaterra) como el primero en reconocer las variaciones diarias y horarias de la declinación magnética⁹⁾. Otras personas se habían percatado ya de este hecho, pero lo atribuían a errores de medición o instrumentación (por ejemplo Gellibrand en 1634) ([25], p. 38).

1723

Charles-François de Cisternai Du Fay (o Dufay) (1698-1739; Francia) publica su primer artículo académico, titulado "Mémoire sur les baromètres lumineux" ("Memoria sobre los barómetros luminosos")¹⁰⁾, sobre el fósforo mercurial, es decir, la luz que algunas veces se puede observar en el espacio de

⁷⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences*.

⁸⁾ Descrita en *Miscellanea Observata Circa Res Naturales*. A través de los años, esta bomba sería mejorada por J. Haader, C. F.

Hendenburg, A. N. D'Edelcrantz y otros.

⁹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1724.

¹⁰⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences*.

(continúa 1723)

Torricelli cuando se agita el barómetro. Este fenómeno resulta de particular interés para los investigadores porque no se puede repetir bajo condiciones aparentemente idénticas. Du Fay encuentra que, al aplicar la técnica que un vidriero le enseñó para eliminar impurezas, algunos rastros de aire o vapor de agua son los causantes de este comportamiento azaroso. Basa la explicación de este efecto en términos de la «sutil materia cartesiana» que se escapa del mercurio agitado. Aun cuando tiene conocimientos de los trabajos de Hauksbee realizados entre 1705 y 1709, sugiere que este fenómeno no tiene relación con la electricidad ([34], vol. IV, p. 214).

1725

Charles-François de Cisternai Du Fay (o Dufay) (1698-1739; Francia) observa que el gas cerca de un cuerpo al rojo vivo es conductor de la electricidad ([34], vol. 18, p. 531; [25], p. 39). Es así el primero en registrar la observación del efecto termiónico ([58], p. 157).

ca. 1727

Georg Matthias Bose (1710-1761; Alemania) empieza a interesarse en el estudio de la electricidad, inspirado por los artículos de J. J. Schilling⁽¹¹⁾ ([34], vol. II, p. 324).

DEPRESIÓN (1728-1735)

1728

Charles-François de Cisternai Du Fay (o Dufay) (1698-1739; Francia) publica "Observations sur quelques expériences de l'aimant" ("Observaciones sobre algunas experiencias del imán")⁽¹²⁾, artículo que versa sobre la controvertida cuestión del magnetismo natural; esto es, sobre la determinación de las condiciones y posiciones físicas bajo las cuales los objetos de hierro adquieren la virtud magnética. Concluye que es de esperarse que los hilos que determinan la dirección por la cual pasa el efluvio magnético a través de los poros del hierro, tiendan a alinearse bajo su gravedad, al colocar en posición vertical los cuerpos que los contienen ([34], vol. IV, pp. 214-215).

1729

Petrus van Musschenbroek (1692-1761; Países Bajos) publica "Disertación sobre los imanes" (título traducido). Intenta determinar la relación entre la distancia y la fuerza en la atracción magnética. Sólo puede concluir que la atracción y la repulsión interactúan de una manera compleja ([25], pp. 39-40).

Stephen Gray (o Grey) (1666-1736; Inglaterra), al fracasar en el intento de electrificar los metales por fricción, trata de «despertar su virtud» exponiéndolos al efluvio de un tubo de vidrio, el cual tiene tapones de corcho en sus extremos, para evitar que entre polvo al tubo, precaución sugerida por Hauksbee. Piensa que los corchos podrían alterar el poder del tubo, por lo que Gray acerca una pluma al extremo más alejado y observa, con gran asombro, que la pluma es atraída por el corcho y no por el tubo. Concluye que el tubo comunica su virtud al corcho. A partir de este resultado, inserta uno de los extremos de una varilla de madera en uno de los corchos y conecta el otro a un cuerpo receptor, como una tetera o una bola de marfil; descubre que, cuando el tubo se frota, tanto la bola, como los corchos y el propio tubo atraen a la pluma. Según él, la bola de marfil emite sus propios efluvios estimulados por los del vidrio que se transmiten a lo largo de la línea. Esta línea llega a ser de 15.5 m de largo.

¹¹⁾ Aparecidos en la *Miscellanea Berolinensia*.

¹²⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences*.

(continúa 1729)

Después de estos experimentos **Gray** visita a su amigo **Wheler**, quien tiene una casa de campo suficientemente grande como para realizar ahí los experimentos. **Wheler** sugiere que pueden mandar electricidad a lo largo de líneas horizontales colgadas de hilos de seda, muy delgadas para evitar las pérdidas de la virtud. Logran hacerlo hasta unas cuantas decenas de metros. Reemplazan las líneas de seda con alambres de bronce, encontrando que éstos no se comportan como la seda. Usando bramante logran conducir electricidad a una distancia de 230 m. Cuando usan pelo, resina o vidrio para hacer la conexión, encuentran que no hay conducción. Y así, tratando de incrementar la distancia de transmisión, llegan a la distinción cualitativa fundamental entre aislantes y conductores. Concluyen, de manera determinante, que el color de los objetos y otros parámetros similares no son la base del control del flujo de cargas.

Durante dos años y medio, **Gray** y **Wheler** estudiarían los aspectos relacionados con la transmisión de la electricidad, siguiendo dos líneas de investigación: 1) identifican un gran número de aislantes y conductores y 2) grafican el curso de la electricidad transmitida. Los resultados, que combinan la conducción, la inducción y los mecanismos de atracción y repulsión, y basándose en la teoría de los efluvios, requieren de una explicación demasiado compleja. Algunas contradicciones serias, que no son reconocidas por su grupo de trabajo, surgidas gradualmente, junto con los resultados inesperados de la botella de Leyden (véase 1745), harían que la teoría de los efluvios cayera en el olvido (18). vol. IX, p. 518; [16], p. 237; [25], p. 39; [34], vol. V, pp. 516-517; [51], p. 4).

1730

Charles-François de Cisternai **Du Fay** (o **Dufay**) (1698-1739; Francia) vuelve a estudiar la fosforescencia (1723), y describe sus resultados en "Mémoire sur un grand nombre de phosphores nouveaux" ("Memoria sobre un gran número de nuevos fósforos"). Este artículo es importante porque en él expone su método de trabajo, el cual se basa en el principio de que dada una propiedad física, por muy extraña que parezca, ésta debe suponer siempre características de una clase más amplia de objetos y no de especies aisladas ([34], vol. IV, p. 215).

Además publica su segundo artículo sobre el magnetismo, titulado "Suite des observations sur l'aimant" ("Continuación de las observaciones sobre el imán")¹³⁾ (véase **Du Fay**, 1731) ([34], vol. IV, p. 215).

1731

La tercera memoria sobre magnetismo de Charles-François de Cisternai **Du Fay** (o **Dufay**) (1698-1739; Francia) se titula "Troisième mémoire sur l'aimant"¹⁴⁾. Tanto en su segunda memoria (véase 1730), como en ésta, **Du Fay** informa sobre sus intentos para medir la fuerza magnética. Aun cuando realiza muchos experimentos, en los cuales varía las dimensiones y las formas de los objetos, así como los instrumentos para medir la fuerza, no logra encontrar una relación simple entre ésta y la distancia de los objetos ([34], vol. IV, p. 215).

Stephen Gray (o **Grey**) (1666-1736; Inglaterra) publica "A Letter [...] Containing Several Experiments Concerning Electricity" ("Carta [...] que incluye varios experimentos relacionados con la electricidad")¹⁵⁾ sobre sus investigaciones de la conducción de la electricidad a lo largo de diferentes tipos de cables, realizadas desde 1729 ([34], vol. IV, p. 215 y vol. V, p. 517).

1731-36

Stephen Gray (o **Grey**) (1666-1736; Inglaterra) realiza algunas investigaciones sobre la aparición de chispas en cuerpos de diferentes formas y

¹³⁾ Mémoires de l'Académie des sciences.

¹⁴⁾ Mémoires de l'Académie des sciences.

¹⁵⁾ Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 37, (1731-1732).

(continúa 1731-36)

sobre la duración de la electrificación en objetos encerrados en cajas secas (J34), vol. IV, p. 215 y vol. V, p. 517).

1732

Charles-François de Cisternai **Du Fay** (o **Dufay**) (1698-1739; Francia), comienza a interesarse por el estudio de los fenómenos de la conducción eléctrica, basado en el informe de Gray de 1731. **Du Fay** piensa que lejos de ser un efecto extraño y local (como hasta este entonces lo han presentado los investigadores anteriores), es uno de los fenómenos favoritos de la naturaleza. Primero realiza, de acuerdo con su método de investigación, una búsqueda de la literatura existente, de cuyos resultados informa en su primera memoria sobre la electricidad. Posteriormente realiza varios experimentos para electrificar todos los objetos posibles. Como él supone, todas las sustancias (excepto los metales, animales y líquidos), tratadas de forma apropiada, se pueden electrificar por fricción, mientras que cualquier sustancia se puede cargar eléctricamente por medio de la comunicación. Distingue los conductores de los aislantes con mucho mayor detalle de como lo hiciera Gray. Estos estudios concluyen una etapa de búsqueda e investigación desordenada, la cual había caracterizado el estudio de la electricidad desde los tiempos de Gilbert (véase 1600).

Hasta ahora nadie ha estudiado sistemáticamente el efecto de repulsión entre cuerpos electrificados. Desde que Hauksbee encontrara que algunas veces los objetos ligeros atraídos por un tubo de vidrio eran rechazados bruscamente, los físicos habían tratado de entender la relación entre los movimientos de acercamiento y alejamiento de los cuerpos electrificados. El propio Hauksbee había dado algunas explicaciones inconsistentes; otros, como 'sGravesande, ha propuesto que el tubo de vidrio posee una atmósfera eléctrica, cuyas pulsaciones provocan los movimientos alternantes de repulsión y atracción. Otros investigadores más, como el mismo **Du Fay**, sospechan que la repulsión no existe de hecho y lo que realmente sucede es que los objetos repelidos eran atraídos por cuerpos vecinos electrificados por comunicación (J34, vol. IV, p. 215).

1733

Un informe de la *Académie française des sciences*, de París, Francia, establece que: «Alrededor de un cuerpo electrificado se forma un vórtice de materia extremadamente fina en estado de agitación, el cual incita a las sustancias ligeras que se encuentran dentro de su esfera de actividad a que se muevan hacia él. La existencia de tal vórtice es algo más que una mera conjetura, ya que, cuando se acerca un cuerpo electrificado a la cara, éste causa una sensación parecida a la que provoca una tela de araña» (véase Hauksbee, 1709) (J49, vol. I, p. 43).

Charles-François de Cisternai **Du Fay** (o **Dufay**) (1698-1739; Francia) continúa sus especulaciones sobre la naturaleza de la repulsión eléctrica (si es real o ficticia). Observa que una hoja de oro siempre es repelida fuerte y frecuentemente por un tubo de vidrio electrificado con el cual hace contacto. Explica este fenómeno diciendo que el vórtice del efuvio eléctrico que rodea al tubo de vidrio, envuelve primero a la hoja de oro y la impele del tubo. Al contacto con el tubo, la hoja de oro adquiere alguna *virtud eléctrica* y su propio vórtice. Los dos vórtices se repelen entonces uno a otro. Experimentos posteriores le sugieren que, dado que las sustancias menos excitables por fricción, como los metales, responden con mayor fuerza a la atracción del tubo, cabe preguntar si «¿no podría suceder que un cuerpo eléctrico atrajera a todos aquéllos que no los son y repeliera a los que se electrifican por su cercanía y por comunicación de su virtud?» Encuentra que algunos pedacitos de metal electrificados por el tubo se repelen entre sí. Esta aparente confirmación se puede ver como el paso decisivo hacia el reconocimiento de la repulsión electrostática. Pero la experiencia ha enseñado a **Du Fay** que no hay que sacar conclusiones generales sin antes haber

(continúa 1711)

realizado un número suficientemente grande de experimentos con diferentes sustancias. Encuentra que la hoja de oro cargada, repelida por el tubo de vidrio, es invariablemente *atraída* por materiales *resinosos*, tales como el ámbar o el lacre. El paso obvio siguiente es demostrar el efecto inverso; es decir, que la hoja de oro repelida después del contacto con los materiales resinosos cargados, es siempre atraída por materiales *vitreos*, tales como el vidrio o el cristal. Dichos resultados obligan a Du Fay a reconocer la existencia de dos formas diferentes de electricidad y a determinar nuevas reglas básicas de operación. Modifica su hipótesis de los vórtices e introduce la teoría de dos fluidos, los cuales, según él, se mantienen separados por fricción y se neutralizan uno a otro cuando se combinan. Pero sus explicaciones sobre la *bizarrie* (nombre que le da a la doble electricidad), son cada vez menos satisfactorias y más artificiales, tanto que el propio Du Fay renuncia a la búsqueda, y queda a la espera que algún día alguien proporcione una explicación razonable en términos de los vórtices cartesianos. Se limita a establecer las regularidades en los fenómenos observados ([7], pp. 193-194; [34], vol. IV, pp. 215-216; [45], p. 353).

Johann Heinrich Winckler (o Winkler) (1703-1770; Alemania) añade a la máquina friccional de Guericke de 1663, un colchón de cuero que entra en contacto con la esfera de vidrio, realizando la función del caucho ([17], vol. IV, p. 648).

John Theophilus Desaguliers (1683-1744; Francia) demuestra y describe una gran cantidad de experimentos eléctricos para la *Royal Society of London*¹⁶⁾. No obstante, Desaguliers se abstendría de continuar con esta línea de investigación hasta la muerte de Gray, ocurrida en 1736, quien, se dice, vive con él y es su asistente ([34], vol. IV, p. 44).

Stephen Hales (1677-1761; Inglaterra) publica *Statical Essays*, en 2 volúmenes; el primer volumen es la tercera edición de una obra anterior, mientras que en el segundo volumen reúne sus experimentos sobre la circulación sanguínea en los animales bajo el título *Haemastatics; or an Account of Some Hydraulic and Hydrostatical Experiments Made on the Blood and Blood-Vessels of Animals* (*Haemastatics; o un recuento de algunos experimentos hidráulicos e hidrostáticos realizados con sangre y vasos sanguíneos de animales*), en el que concluye que la fuerza de la presión arterial en los capilares «no puede ser más que muy pequeña» y totalmente inadecuada para «producir tan gran efecto, como para el movimiento muscular.» Este «hasta ahora inexplicable misterio de la naturaleza debe ser por lo tanto atribuido a alguna otra energía más vigorosa y activa, cuya fuerza es regulada por los nervios.» Los recientes experimentos de Gray le sugieren que dicha energía, estos «espíritus animales», pueden ser eléctricos, ya que Gray ha mostrado que la virtud eléctrica del vidrio frotado «no sólo se transmitirá a los largo de la superficie de líneas a grandes longitudes, sino que también será transmitida desde el pie hasta la mano extendida de un cuerpo humano suspendido por cuerdas en el [...] aire; y también desde la mano a una larga caña de pescar sostenida por ésta, y de aquí a una cuerda y una pelota suspendidas por ésta.» Hales es, por lo tanto, el primer fisiólogo en sugerir, con alguna evidencia que lo apoye, el papel de la electricidad en los fenómenos neuromusculares (véase Newton. 1713) ([34], vol. IV, p. 38).

¹⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 41 y 42. Y en el volumen II de su libro *Course of Experimental Philosophy*, pp. 316-335.

VIII. SEXTO CICLO ECONÓMICO LARGO (1686-1735)

(continúa 1713)

Anders Celsius (1701-1744; Suecia) publica una colección de 316 observaciones de la aurora boreal, o luces del norte, realizadas por él mismo y por otros científicos entre 1716 y 1732 ([3], vol. 3, p. 16).

Jean Baptiste Dortous De Mairan (1678-1771; Francia) publica *Traité physique et historique de l'aurore boreale* ([40], p. 440).

1734

Charles-François de Cisternai Du Fay (o Dufay) (1698-1739; Francia) publica los resultados de sus experimentos eléctricos bajo el título de "Mémoires sur l'électricité" ("Memorias sobre la electricidad")¹⁷⁾. Algunas de sus conclusiones son ([25], p. 41):

- 1) Se pueden cargar eléctricamente todos los cuerpos al calentarlos o al frotarlos, excepto los metales y los cuerpos blandos o líquidos.
- 2) Se pueden cargar eléctricamente todos los cuerpos, incluyendo metales y líquidos, mediante la influencia (inducción).
- 3) El color de los objetos no afecta las propiedades eléctricas, pero éstas pueden verse afectadas debido a los tintes o pigmentos utilizados.
- 4) El vidrio, al igual que la seda, son aislantes satisfactorios para hilos conductores.
- 5) El hilo conduce mejor la electricidad cuando está mojado que cuando está seco.
- 6) Existen dos estados de carga o de electrificación, el estado *vitreoso* y el estado *resinoso*.
- 7) Los cuerpos cargados con electricidad vítrea atraen cuerpos cargados con electricidad resinosa, mientras que repelen a los cuerpos cargados con electricidad vítrea.

En experimentos posteriores encuentra que los cuerpos vítreos pueden desarrollar electricidad resinosa, mientras que los cuerpos resinosos pueden generar electricidad vítrea.

Posteriormente, Du Fay pasa al estudio del experimento, un tanto quijotesco, de Gray con niños huérfanos. En una experiencia de este tipo y tomando él mismo la parte activa en el experimento, recibe una fuerte descarga cuando un asistente trata de tocarlo. Al repetir el experimento en la noche, tanto él como Nollet, observan que se genera una chispa justo antes del contacto. Aun cuando está acostumbrado «a encontrarse con maravillas a cada paso», este fenómeno lo deja perplejo, por lo que le dedica mucho tiempo y esfuerzos a su estudio. Sin embargo, dada la vasta complejidad del mismo, no logra obtener alguna explicación satisfactoria de esta luz eléctrica ([34], vol. II, p. 216). Du Fay realiza además algunas exhibiciones públicas para divertir a la gente, basándose en este fenómeno. Suspende a una persona con cables aislantes y la toca con un cuerpo electrificado, haciendo que salten chispas del cuerpo de la persona ([8], vol. IX, p. 519).

Aun cuando los descubrimientos de Du Fay representan un avance muy importante, su contribución más relevante es el hecho de introducir una metodología muy precisa para realizar los experimentos y las investigaciones. Su insistencia en la importancia y el carácter universal de la electricidad y en la necesidad de organizar, digerir y regularizar los hechos conocidos, antes de buscar más información, deja a la electricidad en un estado que invita, por primera vez, a la investigación seria y sistemática ([34], vol. II, p. 216; [51], p. 4).

¹⁷⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 38 y *Mémoires de l'Académie des sciences* (varios artículos).

1735

John Canton (1718-1772; Inglaterra) inventa un electroscope o electrómetro cualitativo, formado por dos pelotitas de médula de saúco suspendidas por un hilo, las cuales se desvían de su posición de reposo cuando son electrificadas ([16], p. 235).

Georg Brandt (1694-1768; Suecia) publica "Disertatio de semimetallis" ("Disertación sobre los semimetales")⁽¹⁸⁾. En dicho trabajo informa sobre sus investigaciones con los semimetales mercurio, antimonio, bismuto, arsénico cinc y, en particular, cobalto. Brandt demuestra que este último es un metal diferente ([34], vol. II, p. 421).

¹⁸⁾ *Acta literaria et scientiarum Sueciae*, 3.

IX. SÉPTIMO CICLO ECONÓMICO LARGO (1736 - 1786)

AÑO

ACONTECIMIENTO

**REACTIVACIÓN
(1736-1745)**

1736

John Theophilus **Desaguliers** (1683-1744; Francia), continuando los trabajos de **Gray** de 1729, estudia la electrificación de diversos materiales, la conducción, las descargas eléctricas en el aire, las acciones de atracción y repulsión y los efectos producidos por la sequedad y la humedad. Divide a los materiales en no conductores, o *eléctricos per se*, los cuales se pueden cargar por fricción y en conductores, o *no eléctricos*, los cuales no pueden recibir una carga directamente, aun cuando sí se pueden electrificar indirectamente al suspenderlos adecuadamente y que pueden convertirse en conductores si se humedecen. No hace una distinción análoga entre aislantes y conductores, ni se da cuenta de que un *no eléctrico* (conductor) puede convertirse en *eléctrico per se* (no conductor) si se aísla apropiadamente. **Desaguliers** tampoco entiende el papel que juegan las fugas de carga hacia la Tierra durante sus experimentos con la conducción ([8], vol. IX, p. 518; [34], vol. IV, pp. 44-45).

Se descubre que un péndulo cónico, suspendido libremente, gira alrededor de un cuerpo electrificado y, a partir de ello, se especula sobre la naturaleza eléctrica de la rotación de los planetas alrededor del Sol ([34], vol. I, p. 517). **Charles-François de Cisternai Du Fay** (o **Dufay**) (1698-1739; Francia) y **Granville Wheler** muestran que el péndulo imita el movimiento de los planetas, sólo cuando se suspende de la mano y es guiado por movimientos casi involuntarios ([34], vol. I, p. 517).

1737-38

Hermann Boerhaave (1668-1738; Países Bajos) publica varios manuscritos de **Swammerdam** (véase **Swammerdam**, 1678), bajo el título de *Bybel der Nature*, en Leyden, Países Bajos, con las portadas en latín, en las que se lee *Biblia naturae, sive historien insectorum*, en 3 volúmenes ([34], vol. XIII, p. 175). Entre los muchos aspectos que **Swammerdam** investigó se encuentran experimentos sobre las contracciones eléctricas de los músculos (véase 1678) ([8], vol. VIII, p. 521).

1738

Georg Matthias Bose (1710-1761; Alemania), quien todavía no ha realizado contribuciones significativas en el área de la electricidad y no conoce los trabajos de **Du Fay**, acepta la cátedra de filosofía natural en la Universidad de Wittenburg, Alemania y en su discurso inaugural ataca a las teorías de la acción a distancia. Independientemente de **Hausen**, de Leipzig, Alemania, construye las máquinas eléctricas de **Hauksbee** de 1705 y de **Winckler** de 1733, y les añade el conductor primario -objeto aislado de metal, que permite recolectar cargas del globo giratorio-, lo cual incrementa notablemente su potencia ([8], vol. IX, p. 519; [17], vol. IV, p. 648; [34], vol. II, p. 324).

(continúa 1738)

John Theophilus Desaguliers (1683-1744; Francia) muestra que el hilo utilizado por Gray (véase 1729) conduce mejor los fluidos eléctricos si éste está húmedo, siempre y cuando los hilos de soporte estén secos ([25], p. 43).

ca. 1740

Joseph Privat de Molières (1677-1742; Francia) trata de enmendar la teoría cartesiana incorporando las técnicas matemáticas newtonianas, para que la teoría concuerde con los datos experimentales. Parte medular de su sistema es la idea de pequeños vórtices o remolinos, siendo éstos unas partículas elásticas que constituyen las unidades estructurales básicas del universo. Dicho sistema, extendido para incluir los fenómenos eléctricos y químicos, tendría mucha influencia en Francia ([34], vol. XI, pp. 157-158).

1740

John Theophilus Desaguliers (1683-1744; Francia) escribe que «la electricidad que recibe un *no eléctrico* de gran longitud (por ejemplo, una cuerda de cáñamo de unos 245 a 275 m de largo), corre de un extremo a otro en una esfera de esfluvios»¹⁾ (véase 1738) ([49], vol. I, p. 43).

Willem Jacob 'sGravesande (1688-1742; Países Bajos) trata, en tres capítulos del segundo volumen de su *Mathematical Elements of Physics*, el tema del fuego, basándose en las ideas de Boerhaave, dentro de cuyas manifestaciones incluye los fenómenos eléctricos ([34], vol. I, p. 511).

1741

John Ellicott, de Chester, Inglaterra, propone una forma de medir la fuerza de una carga eléctrica: en un brazo de una balanza pone un peso y bajo el otro brazo coloca el cuerpo cargado. Este es uno de los primeros pasos hacia la medición cuantitativa de la carga eléctrica (véase 1748) ([25], p. 42).

Hjorter, junto con otros observadores escandinavos, señala las variaciones irregulares de las agujas de las brújulas durante las auroras boreales ([8], vol. IX, p. 551).

ca. 1742

John Theophilus Desaguliers (1683-1744; Francia) empieza a reconocer la electricidad vítrea y resinosa de Du Fay. Publica, además, *A Dissertation Concerning Electricity* (Disertación sobre la electricidad), por cuya versión francesa recibe un premio de la *Académie de Bourdeaux*, Francia, al mejor artículo sobre electricidad ([34], vol. IV, p. 46).

1742

Andreas (o Andrew) Gordon (1712-1751; Escocia), monje benedictino escocés, es probablemente el primero en usar un cilindro en una de las máquinas eléctricas de Bose (véase 1738) en sustitución de la esfera de vidrio) ([17], vol. II, p. 648; [25], p. 46).

Jean Morin (1705-1764; Francia) publica *Sur l'électricité des corps dans laquelle on développe le vrai mécanisme des phénomènes* (Sobre la electricidad de los cuerpos dentro de la cual descubrimos el verdadero mecanismo de los fenómenos) ([40], pp. 1209-10).

Georg Matthias Bose (1710-1761; Alemania) sugiere que la aurora boreal es de origen eléctrico ([8], vol. IX, p. 519).

¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 41, p. 636

1743

C. A. Hausen publica *Novis Profectus in Historia Electricitatis*, en la que describe una máquina eléctrica de esfera de vidrio en la que un niño, colgado por cuerdas de seda y con sus pies sobre el globo de vidrio, del cual se puede hacer que salten chispas, actúa como conductor primario para la recolección de cargas ([25], p. 44).

Para competir por el premio de este año, Daniel Bernoulli (1700-1782; Suiza) envía a la *Académie française des sciences*, de París, Francia, el artículo "Mémoire sur la manière de construire les boussoles d'inclinaison" ("Memoria sobre la manera de construir las brújulas de inclinación")²⁾. Considera todas las posibilidades para reducir los errores en la inclinación de las brújulas, al mejorar su construcción (véase Dietrich, 1757). Su artículo gana el premio ([34], vol. II, p. 45).

Benjamin Franklin (1706-1790, Estados Unidos) propone la creación de la *American Philosophical Society*, la cual se fundaría al año siguiente ([25], p. 45).

1743-44

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) tiene la oportunidad de presenciar algunas demostraciones realizadas por Spencer, sobre diferentes fenómenos eléctricos ([34], vol. I, p. 130).

ca. 1744

Andreas (o Andrew) Gordon (1712-1751; Escocia) inventa un rotor (*whirl*) eléctrico y una de las primeras formas de motor de reacción electrostática ([40], p. 680).

1744

Christian F. Ludolf (1707-1763) muestra que una chispa eléctrica puede encender un fluido inflamable. Luego, otros investigadores lograrían encender pólvora, alcohol y fósforo (véase Bose, abajo) ([8], vol. IX, p. 519; [25], p. 45).

Georg Matthias Bose (1710-1761; Alemania), basado en el descubrimiento de Ludolf (véase arriba), logra encender pólvora con una chispa eléctrica. Bose encuentra además que puede obtener *fuego* del agua electrificada en un recipiente de vidrio, fenómeno que llegaría a conocer van Musschenbroek.

Por otro lado, en la Universidad de Leipzig, Alemania, Bose construye una máquina eléctrica, el más grande y poderoso generador existente hasta ahora.

Durante los últimos dos años ha demostrado públicamente sus generadores; en una de estas exhibiciones suspende a una joven atractiva con cuerdas de seda (actuando como el conductor primario, véase Bose, 1738) y oculta el generador eléctrico; cualquier hombre que llegue a tomar la mano de la muchacha o a darle un beso recibe una descarga.

Con este tipo de demostraciones, además de un poema en alemán, un tratado en francés y varios comentarios en latín, así como la reimpresión de su discurso inaugural de 1738, titulado "Tentamen electrici in academiis regijs Londensi et Parisinum habita omni studio repetita quae novis aliquot accessionibus locupletavi Georg Matthias Bose", y después de haber estudiado concienzudamente los trabajos de Du Fay, Bose promueve y estimula de manera importante el estudio de la electricidad en Alemania.

La aportación más importante de Bose a la ciencia es precisamente ésta, es decir, la motivación dada a los científicos para realizar investigaciones en el campo de los fenómenos eléctricos. Los esfuerzos de Bose se verían recompensados, ya que entre 1745 y 1746 se descubriría el primer condensador, en Leipzig ([8], vol. IX, p. 519; [25], p. 44; [34], vol. II, p. 324 y vol. IX, p. 596).

²⁾ *Pieces qui ont reporté les prix de l'Académie royale des sciences.*

(continúa 1744)

Johann Heinrich Winckler (o Winkler) (1703-1770; Alemania) perfecciona su generador electrostático de 1733. El dispositivo consta de varios globos o tubos de vidrio que giran al mismo tiempo. Construye algunas máquinas usando el movimiento recíproco de tubos de vidrio, y otras que emplean el movimiento de rotación de globos ([25], p. 44).

Andreas (o Andrew) Gordon (1712-1751; Escocia) publica *Phaenomena electricitatis exposita* (Exposición de fenómenos eléctricos) ([40], p. 680).

Christian Gottfried Kratzenstein (1723-1795; Alemania) comienza a usar la electricidad con fines médicos ([8], vol. IX, p. 519).

Se funda la *American Philosophical Society*, Thomas Hopkinson es su primer presidente y Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) su primer secretario ([25], p. 45).

ca. 1745

Gowan (o Gowin) Knight (ca. 1713-1772; Inglaterra) es el primero en fabricar imanes de piedra artificial. Investigaciones posteriores lo llevarían a la creación de barras de imán de acero, las cuales serían superiores en calidad a los imanes naturales. Presenta este descubrimiento ante la *Royal Society of London*, Inglaterra ([3], vol. 6, p. 915; [25], p. 45).

1745

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) ha realizado ya muchísimas exhibiciones sobre diversos temas científicos, incluyendo los típicos experimentos eléctricos de Hauksbee, Gray y Du Fay. Sus vagas explicaciones teóricas de la electricidad se basan en los vórtices cartesianos. En febrero conoce los experimentos de Bosc y aquellos en los cuales se encienden algunas sustancias por medio de chispas eléctricas (véase 1744). Los estudia profundamente y tres meses después propone una teoría, mezcla de las concepciones cartesianas, de resultados obtenidos por otros investigadores alemanes, de partes de hipótesis anteriores y de sus propias investigaciones. Para Nollet, la electricidad es la acción de una materia particular en movimiento; dicha materia y la de la luz son fundamentalmente las mismas. Considera que la materia eléctrica abandona el cuerpo cargado en chorros cónicos divergentes, que juntos forman una *emanación* y que, como respuesta a ésta, el medio circundante (el aire y los objetos cercanos) regresa una *afluencia* al objeto —dicha conceptualización ya había sido sugerida en las teorías de Cabeo, Hauksbee y Privat de Molières. Las dos corrientes, la emanante y la afluente, difieren sólo en dirección y se equilibran totalmente, o casi, de modo que el cuerpo nunca queda vacío de su materia eléctrica. De acuerdo con los principios de Descartes, Nollet insiste en que las atracciones y repulsiones surgen del impacto directo de la materia eléctrica en movimiento. Dicha teoría tendría gran aceptación entre los científicos de la época. Nollet publica "Conjectures sur les causes de l'électricité des corps" ("Conjeturas sobre las causas de la electricidad de los cuerpos")³⁾ ([34], vol. X, p. 146).

Georg Matthias Bosc (1710-1761; Alemania) publica *Recherches sur la cause et sur la véritable théorie de l'électricité* (Investigaciones sobre la causa y la teoría verdadera de la electricidad), donde profundiza y amplía el sistema desarrollado por Nollet (véase arriba) ([34], vol. II, p. 324).

³⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences* (1745), pp. 107-151

(continua 1745)

Se cree que Ewald Georg von Kleist (1700[?]-1748; Pomerania) es el primero en observar que la carga eléctrica se puede acumular en una botella llena de agua. Al realizar el experimento, el 4 de octubre, su objetivo principal es determinar si se puede reducir la evaporación del fluido eléctrico al encerrarlo en una botella. Una vez encerrada la electricidad, recibe una descarga cuando sostiene la botella con una mano y toca una extensión metálica que se introduce al agua. Describe sus experimentos en una carta que eventualmente se recibiría en la *Academia de Berlín*, Alemania. La forma de obtener la descarga no queda explícita, por lo que otros investigadores, al repetir el experimento, no siempre logran tener éxito. El hecho de no especificar claramente que la botella se debe sostener con una mano, hace que algunos autores otorguen el crédito de la invención de la botella de Leyden a van Musschenbroek (véase 1746) ([1]; [3], vol. 6, p. 906; [25], p. 46).

Jean Nicolas Sébastien Allamand (1713-1787; Suiza) describe⁴⁾ que en uno de sus experimentos eléctricos recibió una fuerte descarga eléctrica de un dispositivo similar al de una botella de Leyden (véase von Kleist, arriba) ([34], vol. IX, p. 596).

Georg Wilhelm Richmann (1711-1753; Estonia), a partir de la repetición de los experimentos de Gray, Du Fay, Hausen y Bose, siente la necesidad urgente de contar con un instrumento de medición. Primero toma como medida de la fuerza eléctrica el peso necesario para poner en equilibrio una balanza, bajo uno de cuyos platillos se coloca el cuerpo electrificado. Pronto encuentra que esta forma de medición es inadecuada, por lo que desarrolla un dispositivo al cual nombra *índice*, formado por una regla adherida al cuerpo y de la cual suspende un listón; mide la fuerza eléctrica por el ángulo formado entre la regla y el listón. Encuentra que la *capacidad* de un conductor aislado depende no sólo de su masa, sino también de su forma geométrica. Estos experimentos son probablemente los primeros en su tipo. Analiza la conductividad relativa de las ligas de seda de varios colores y mide la razón de pérdida de electricidad de los conductores aislados, como función de la humedad. Publica "De electricitate in corporibus producenda nova tentamina"⁵⁾ ([34], vol. XI, p. 433).

William Watson (1715-1787; Inglaterra) se interesa mucho en el descubrimiento de que ciertas sustancias se pueden inflamar mediante una chispa eléctrica (véanse Ludolf y Bose, 1744). Repite los experimentos con todos los líquidos inflamables que tiene en su almacén y demuestra que se pueden incendiar *repulsivamente*, es decir, obteniendo una chispa del líquido en una cuchara electrificada, en lugar de hacerlo (como es la costumbre) hacia el contenido de uno aterrizado. Describe dichos resultados en el artículo que envía a la *Royal Society of London*, titulado "Experiments and Observations Tending to Illustrate the Nature and Properties of Electricity" ("Experimentos y observaciones para ilustrar la naturaleza y propiedades de la electricidad"). Escribe además "Further Experiments and Observations" ("Experimentos y observaciones adicionales"). Por ambos artículos, Watson recibe la *Medalla Copley* y publica *Experiments and Observations Tending to Illustrate the Nature and Properties of Electricity* (Experimentos y observaciones para ilustrar la naturaleza y propiedades de la electricidad), que es una reimpresión de los artículos mencionados realizada por J. Hive ([34], vol. XII, p. 193).

⁴⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1746.

⁵⁾ *Commentarii academicae scientiarum imperialis petropolitanae*, 14.

(continúa 1745)

Christian Gottfried Kratzenstein (1723-1795; Alemania) publica *Medical Application of Electricity* (*Aplicación médica de la electricidad*) ([40], p. 967).

1745-46

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) recibe como regalo de su amigo Collinson, miembro de la *Royal Society of London*, Inglaterra, un tubo de vidrio junto con los informes correspondientes que explican la manera de realizar algunos experimentos eléctricos con él. Franklin forma un grupo (la *Library Company*) con P. Syng, T. Hapkinson, E. Kinnnersley, para investigar los fenómenos eléctricos. Descubren que los cuerpos puntiagudos tienen la propiedad de cargarse y descargarse más fácilmente que los no puntiagudos. Encuentran que un punzón puede atraer un flujo de electricidad desde una bola electrificada situada a 15 o 20 cm de distancia, mientras que, para obtener el mismo efecto de un cuerpo chato es necesario situarlo a no más de 2.5 cm y que, además, se produce una chispa ([8], vol. IX, p. 520; [34], vol. V, pp. 130-131; [45], pp. 353-354; [49], vol. I, p. 46-49).

Petrus van Musschenbroek (1692-1761; Países Bajos) sabe que un conductor electrificado pierde su carga rápidamente si se coloca en el aire, especialmente en climas húmedos. Además, conoce los resultados de Baise de 1744, sobre la posibilidad de obtener electricidad de un recipiente con agua. En su laboratorio coloca un cañón de escopeta suspendido por dos hilos de seda; electrifica al cañón por medio de un globo giratorio frotado con la mano. Del cañón saca un alambre de bronce, lo pasa por un corcho y lo introduce en una botella hasta que queda sumergido en el agua; de esta forma se electrifica el agua. Andreas Cunaeus, asistente de Musschenbroek, sostiene la botella con una mano y accidentalmente toca el alambre con la otra, y recibe una fuerte descarga eléctrica.

Musschenbroek, quien probablemente no conoce los experimentos de Kleist (véase 1745), le escribe a Réaumur describiéndole este «nuevo, pero terrible, experimento.» Réaumur, a su vez, le enseña la carta a Nollet.

Los informes de Kleist no fueron lo suficientemente claros, mientras que los de Musschenbroek son totalmente específicos como para que otras personas puedan repetir los experimentos y por tal motivo se le considera el inventor de la *botella de Leyden* (aún cuando todavía no se le conoce con dicho nombre).

En enero de 1746, Musschenbroek anuncia públicamente sus resultados ([8], vol. IX, p. 519; [18], p. 27; [25], pp. 46-47; [34], vol. IX, p. 596).

PROSPERIDAD (1746-1758)

1746

Dada la gran autoridad y renombre que tiene René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757; Francia) en la comunidad científica europea, muchos de los descubrimientos más importantes del momento son anunciados al público por él. Por ejemplo, es él quien da a conocer el invento de la botella de Leyden de van Musschenbroek (véase 1745-46) ([34], vol. XI, p. 334).

Jean Nicolas Sébastien Allamand (1713-1787; Suiza) informa a Nollet del descubrimiento de la botella de Leyden de van Musschenbroek. Allamand recibe la encomienda de explicar el funcionamiento del dispositivo. Debido a su explicación, algunos autores le atribuyen la invención del dispositivo ([6], p. 210; [34], vol. IX, p. 596; [40], p. 31).

(continúa 1746)

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia), a partir del uso que le da al dispositivo de van Musschenbroek, lo nombra *botella de Leyden* ([16], p. 237; [25], p. 33). Recibe una carta de Allamand, quien afirma que es Cunaeus quien descubrió el fenómeno del condensador. Nollet presenta estos descubrimientos a la *Académie française des sciences*, de París ([25], p. 47; [34], vol. IX, p. 596).

Nollet continúa realizando exhibiciones públicas, entre las cuales se encuentra una en la que, ante Luis XV (1710-1774; Francia), rey de Francia (r. 1715-1774), en Versailles, manda una descarga eléctrica de una botella de Leyden a través de una compañía de 180 soldados formados en fila y tomados de la mano. Cuando reciben la descarga todos los soldados saltan al mismo tiempo. Impresionado, Luis XV le pide que repita la demostración en París. En esta segunda ocasión, 700 monjes en línea reciben la descarga, con el simultáneo salto de todos ellos ([25], pp. 33-34). Nollet publica *Essai sur l'électricité des corps* ([34], vol. X, p. 147).

Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799; Francia), a raíz de sus experimentos con la botella de Leyden, publica *Recherches sur la communication de l'électricité* (*Investigaciones sobre la comunicación de la electricidad*). Simplifica los aparatos de van Musschenbroek, verifica los hechos descubiertos previamente y establece nuevos resultados, tales como el que los cuerpos conductores se electrifican en función del área de su superficie y no de su masa, y que el agua es uno de los mejores conductores de la electricidad. Le Monnier se convierte en rival de Nollet, quien no admite ningún desafío a su autoridad y de quien recibe severas críticas ([34], vol. VIII, p. 177).

Johann Heinrich Winckler (o Winkler) (1703-1770; Alemania) perfecciona la botella de Leyden ([40], p. 1810) y descarga una de dichas botellas a través de un circuito cerrado de agua ([16], p. 60). Publica *Die Stärke der elektrischen Kraft der Wassers in gläsernen Gefässen* (*La intensidad de la fuerza eléctrica del agua en las botellas de vidrio*) ([49], vol. I, p. 349).

Daniel Gralath encuentra que al unir varias botellas de Leyden puede provocar una descarga eléctrica capaz de matar a pequeños animales ([8], vol. IX, p. 520).

John Bevis (o Bevaus) (1693-1771; Inglaterra) perfecciona el diseño de la botella de Leyden, recubriéndola con hojas metálicas tanto en el interior como en su exterior. Informa de ello, al parecer, a su amigo Watson ([23], pp. 36-37 y 47; [26], p. 58).

William Watson (1715-1787; Inglaterra) publica *Experiments and Observations Tending to Illustrate the Nature and Properties of Electricity* (*Experimentos y observaciones para ilustrar la naturaleza y propiedades de la electricidad*), que es una reimpresión, realizada por C. Davis, de los artículos "Experiments and Observations Tending to Illustrate the Nature and Properties of Electricity" ("Experimentos y observaciones para ilustrar la naturaleza y propiedades de la electricidad") y "Further Experiments and Observations" ("Experimentos y observaciones adicionales"), del año pasado.

En la reunión del 6 de febrero de la *Royal Society of London*, en Londres, Inglaterra, Watson anuncia que las chispas eléctricas aparecen con colores diferentes según la naturaleza de las sustancias de las que surgen, y que el fuego parece mucho más rojo al salir de cuerpos toscos, como el hierro empuñecido, el óxido de cobre, etc., que de los cuerpos con una superficie pura. Watson es el primero que en realidad produce un verdadero alumbrado con electricidad, ya

(continúa 1746)

que con cuatro de sus aparatos hace surgir chispas tan grandes y tan próximas que, en una habitación oscura, se ven claramente las caras de los asistentes (136, p. 120).

Finalmente, la *Royal Society of London* decide publicar los artículos que **Watson** escribiera el año pasado, titulados "Experiments and Observations Tending to Illustrate the Nature and Properties of Electricity" ("Experimentos y observaciones para ilustrar la naturaleza y propiedades de la electricidad")⁶⁾ y "Further Experiments and Observations" ("Experimentos y observaciones adicionales")⁷⁾.

En octubre, **Watson** lee ante la *Royal Society of London* su artículo "A Sequel to the Experiments and Observations", en el que anuncia su primer descubrimiento importante⁸⁾. Al igual que **Allamand**, **Bose** y **Franklin**, quienes se adherían a la teoría efluvial de la electricidad, **Watson** supone que si se aísla a sí mismo y frota un tubo de vidrio generará más electricidad que si estuviera parado sobre el suelo (lo cual provocaría que el *effluvio* fluyera hacia la tierra). Al llevar a cabo el experimento, el resultado no es el esperado, por lo que concluye que el frotamiento no es el agente que genera la electricidad a partir del vidrio, sino que el frotamiento hace que la materia eléctrica surja desde el piso, de tal forma que el tubo actúa como una bomba. Tanto **Watson** como **Franklin** llegan, independientemente, a esta conclusión, pero **Watson** no plantea el concepto de electricidades contrarias.

Watson observa, sí, que el efecto ordinario de la electricidad viajando hacia una barra de hierro aislada en una máquina en la cual un sujeto aterrizado frota un globo de vidrio, se puede invertir aterrizando la barra y aislando al sujeto. Sin embargo, no se da cuenta de que la barra se carga positivamente y el sujeto negativamente. **Watson**, pasando por alto esta diferencia cualitativa, desarrolla una mecánica eléctrica muy burda, en la cual el *effluvio* es un *éter* elástico, sutil y universal. Las bombas, tales como los tubos o globos de vidrio, perturban el equilibrio, por lo que se generan las atracciones y repulsiones eléctricas. Dichas concepciones son similares a las de **Nollet**.

Los efectos de la botella de Leyden, recién descubierta, son un duro golpe para sus concepciones, así como para las teorías de **Nollet**. Ninguno de los dos puntos de vista puede dar cuenta de las electrificaciones opuestas, de la acción condensadora, ni del papel paradójico del vidrio. Luego de vanos intentos para llegar a una explicación teórica, **Watson** se da por vencido y pasa a examinar las propiedades de la botella. Independientemente de **Le Monnier** y **Gralath**, **Watson** descubre que la descarga se incrementa si se forra la botella con una hoja metálica (sugerencia hecha por **Bevis**) o si se adelgaza el grosor del vidrio, y que el agua puede ser sustituida por limadura de hierro (125, p. 47; 134, vol. XII, pp. 193-194).

Gowan (o **Gowin**) **Knight** (ca. 1713-1772; Inglaterra) demuestra ante la *Royal Society of London* sus imanes artificiales de acero (véase **Knight**, 1744), pero se niega a revelar la técnica empleada para su fabricación (13, vol. 6, p. 915; 125, p. 47; 134, vol. III, p. 51).

La *Académie française des sciences*, de París, Francia, convoca a un concurso, cuyos trabajos ganadores, de **Euler**, **D. Bernoulli**, **J. II Bernoulli** y **Dutaur**, refuerzan la idea cartesiana de los vórtices magnéticos (134, vol. III, p. 444). **Daniel Bernoulli** (1700-1782; Suiza) y **Johann** (o **Jean**) **II Bernoulli** (1710-1790; Suiza), en su artículo "Nouveaux principes de mécanique et de physique tendants à expliquer la nature & les propriétés de l'aiman" ("Nuevos principios

⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 43 (1746), pp. 481-501.

⁷⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 44 (1746), pp. 41-50.

⁸⁾ El artículo es preimpreso este año como panfleto.

(continúa 1746)

de la mecánica y la física tendientes a explicar la naturaleza y las propiedades del imán"), proponen que existe una materia sutil que se mueve en la dirección del meridiano magnético y forma un vórtice alrededor del imán. Con el artículo, que se publicaría en 1748, ganan el premio propuesto por la *Académie* ([34], vol. II, p. 43 y 45).

Benjamin Martin (1704-1782; Inglaterra) publica *An Essay on Electricity* (*Ensayo sobre electricidad*) ([40], p. 1118).

1747

William Watson (1715-1787; Inglaterra) publica "A Sequel to the Experiments and Observations"⁹⁾, artículo enviado a la *Royal Society of London*, Inglaterra, el año pasado.

Por otra parte, Watson pone de manifiesto la diferencia esencial entre conductores y aislantes. Descubre que un cordel de cáñamo mojado sostenido por hilos de seda puede conducir una carga estática de una botella de Leyden (véase Kleist, Cunaeus, Bevis y Allamand) ([18], p. 67). Coloca un alambre de unos 360 m de longitud¹⁰⁾ a lo largo del puente de Westminster, sobre el río Támesis, en Londres, Inglaterra. Un hombre en una de las orillas del río sujeta el alambre con una mano y toca el agua. En la otra rivera, un segundo hombre detiene el alambre y sostiene una botella de Leyden. Cuando un tercer hombre, sosteniendo con una mano un alambre que va directo al río, toca con la otra mano la botella de Leyden, se completa el trayecto y las tres reciben un choque eléctrico. Watson le da el nombre de *círculo*, siendo, probablemente, el primero en usar la conducción terrestre de la electricidad.

Entre las conclusiones de Watson se pueden citar las siguientes ([8], vol. IX, p. 520; [25], p. 47; [34], vol. XIV, p. 194):

- 1) La electricidad viaja en el camino más directo a través de los conductores.
- 2) Dado que no se detecta tiempo de retardo en los 700 m de trayectoria del circuito completo, la descarga eléctrica ocurre en un tiempo demasiado corto como para ser medido.
- 3) La descarga eléctrica puede viajar grandes distancias por la tierra o por el agua.

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) y su grupo (véase 1745-46) empiezan a concebir la tesis de que «el fuego eléctrico es un elemento real, o una especie de materia, que no es creada por la fricción sino que ésta solamente lo aglomera o amontona» y que dicho fuego eléctrico existe en todos los cuerpos. Cuando un cuerpo adquiere más de la ración normal o *natural* de este fuego, Franklin dice que el cuerpo queda con carga eléctrica *positiva*, mientras que si este cuerpo pierde parte de él, adquiere una carga negativa. Estas ideas son la base de la teoría de un fluido.

El 25 de mayo, Franklin escribe a Collinson que la parte del cuerpo que se frota atrae, en el instante mismo de la fricción, al fuego eléctrico del material con el cual se frota. Razona que, dado que la cantidad de fuego eléctrico perdida por un cuerpo la gana otro, los estados positivos o negativos de la electrificación deben ocurrir en cantidades iguales¹¹⁾.

Franklin analiza, a demás, la botella de Leyden, recién descubierta un par de años atrás. Antes del 28 de julio, envía sus resultados a Collinson. Observa que si el alambre y el agua dentro de la botella están electrificados positivamente,

⁹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 44 (1747), pp. 704-749.

¹⁰⁾ La referencia [25] establece que la longitud del alambre era de 3.600 m, i.e., diez veces mayor.

¹¹⁾ Este principio cuantitativo se conoce hoy en día como la ley de conservación de la carga eléctrica y es uno de los conceptos fundamentales de la teoría electromagnética moderna.

(continúa 1742)

entonces el recubrimiento exterior queda instantáneamente en un estado negativo y con la cantidad adecuada de fuego eléctrico. El equilibrio eléctrico no se puede restablecer a través del vidrio de la botella, sino hasta que un material conductor hace contacto entre el recubrimiento exterior y el alambre que va al agua o el metal conductor interior. Franklin se admira por la *maravillosa* forma en que «los dos estados de la electricidad se combinan y equilibran» en la botella ([8], vol. IX, p. 520; [34], vol. V, pp. 130-131; [45], pp. 353-354).

Thomas Hopkinson, trabajando en el equipo formado por Franklin (véase 1745-46), descubre que una aguja colocada sobre una varilla de hierro en suspensión evita que ésta se electrifique, y provoca que se descargue al mismo tiempo que se va cargando. Este efecto había sido ya predicho por Watson ([34], vol. V, p. 131)

La *Royal Society of London* patrocina un experimento en el que se logra transmitir electricidad a una distancia de 8 km, a un costo de 10.56 libras. El artículo en el que se informa sobre este experimento contiene el primer enunciado, hecho por Franklin, sobre la existencia de dos estados de la electricidad, uno positivo y otro negativo ([16], p. 237).

Gottfried Heinrich Grummert (1719-ca. 1776; Alemania), en Dresden, Alemania, se da cuenta de que se pueden crear chispas en un vacío parcial, y que éstas dan mucha luz ([8], vol. IX, p. 520).

Daniel Gralath logra encender una vela con chispas eléctricas, experimento análogo al realizado por Ludolf en 1744 ([25], p. 45).

John Canton (1718-1772; Inglaterra) publica⁽¹²⁾ dos acertijos eléctricos –los firma con las iniciales A. B. Sus amigos Benjamin Wilson (1721-1788; Inglaterra) y John Smeaton (1724-1792; Inglaterra) responden inmediatamente, con cierto grado de burla, que las preguntas propuestas no contienen nada nuevo ([34], vol. III, p. 51).

Louis Necker (1730-1804; Suiza) publica *De electricitate* (*De la electricidad*) ([40], p. 1243).

ca. 1748

Ewald Georg von Kleist (1700[?]-1748; Pomerania) descubre⁽¹³⁾ que las placas de vidrio recubiertas por ambos lados con hojas de estaño pueden acumular cargas eléctricas ([25], p. 52).

1748

John Ellicott publica⁽¹⁴⁾ un artículo en el que describe sus observaciones de la fuerza mecánica creada por la atracción de un cuerpo cargado eléctricamente (véase 1741) ([18], p. 290).

Gowan (o Gowin) Knight (ca. 1713-1772; Inglaterra) publica *An Attempt to Demonstrate That the Phenomena of Nature May be Explained by Two Simple Action Principles, Attraction and Repulsion* (*Intento para demostrar que los fenómenos de la naturaleza pueden ser explicados por medio de dos principios*

⁽¹²⁾ *Gentleman's Magazine*.

⁽¹³⁾ La referencia [25] señala que esta información aparece en *History of Electricity*, 1ª ed, vol. 1, p. 102, de Priestley, pero en 1754.

⁽¹⁴⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 45, p. 195.

(continúa 1748)

simplex de acción, Atracción y Repulsión), en el cual intenta probar que la gravedad y el magnetismo son diferentes manifestaciones de una misma entidad ([25], pp. 47-48)

William Watson (1715-1787; Inglaterra) descubre los trabajos de Franklin, en donde se introducen los términos *más* y *menos* para la electricidad y se propone un símil entre los tubos de vidrio y una bomba, tal y como él mismo lo hiciera dos años antes. Publica "A Collection of Electrical Experiments" ("Colección de experimentos eléctricos")¹⁵⁾ y "Some Further Enquiries [...]" ("Algunas investigaciones adicionales [...]")¹⁶⁾ ([34], vol. XB, p. 194).

Benjamin Franklin (1706-1790, Estados Unidos) coloca un alambre a través del Río Schuylkill, en Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos y consigue encender alcohol al otro lado del río mediante la descarga de una botella de Leyden utilizando un retorno por tierra, experimento similar al realizado por Watson en 1747 ([25], p. 47). Por otro lado, en una carta escrita el 29 de abril, la cual contiene "Further Experiments and Observations in Electricity" ("Más experimentos y observaciones sobre electricidad"), Franklin describe algunos experimentos nuevos en los cuales muestra que la botella de Leyden siempre tiene cargas de signo opuesto en los dos conductores y que estas cargas son de la misma magnitud. Concluye, por lo tanto, que los términos *cargar* y *descargar* no son adecuados, ya que en la botella «no hay más fuego eléctrico después de lo que se llama *cargarla* y no hay menos después de *descargarla*». Después de esto, anuncia uno de sus descubrimientos más asombrosos, el cual establece que toda la fuerza de la botella, así como el poder que tiene para provocar choques eléctricos, reside en el propio vidrio. Llega a esta conclusión por una serie de estudios conocidos como los **Experimentos de Franklin** con el condensador descable. Este dispositivo es básicamente una botella de Leyden, pero en la que el tapón de corcho queda libre, de forma tal que se puede tapar y destapar a voluntad. Electrifica la botella en la forma usual y la coloca sobre un aislante de vidrio; después quita el corcho junto con el alambre que cuelga hasta el agua. Descubre que la botella se puede descargar como normalmente se hace (como si tuviera el alambre y el tapón de corcho) y de esta forma, según él, se demuestra que la fuerza no radica en el alambre. Para averiguar si esta fuerza reside en el agua, repite el proceso anterior, pero en lugar de descargar la botella, decanta el agua cuidadosamente, pasándola a una botella vacía y sin carga colocada sobre un vidrio. Franklin encuentra que esta segunda botella no muestra signos de electrificación, por lo que supone que la fuerza se ha perdido en el proceso de decantación o ha permanecido en la primera botella. A continuación llena la primera botella con agua sin carga y descubre que de esta forma sí se produce el choque eléctrico normal. Dada la experiencia que tiene en el sentido de que la forma geométrica del cuerpo puede ser un factor decisivo en los aspectos relacionados con la electricidad, se propone determinar si la fuerza eléctrica del vidrio se genera por la naturaleza misma de su sustancia o por su geometría. Construye un condensador formado por dos placas paralelas de plomo, en cuya separación coloca una hoja de vidrio delgada y enmarcada. Encuentra que este condensador produce los mismos efectos eléctricos que la botella de Leyden, por lo que así se demuestra que la fuerza es una propiedad del vidrio y no está relacionada con su forma geométrica. A partir de este condensador construye un dispositivo, al cual llama *batería eléctrica*, formado por condensadores de placas paralelas conectados en serie que se puede descargar con un aparato especialmente diseñado para tal efecto ([34], vol. V, pp. 131-132).

¹⁵⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 48 (1748), pp. 49-92.

¹⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 45 (1748), pp. 93-120.

(continúa 1748)

Stephen Hales (1677-1761, Inglaterra) observa las distintas coloraciones de la chispa eléctrica según la sustancia del conductor (véase Watson, 1746) ([59], vol. I, p. 337).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770, Francia) termina de publicar *Leçons de physique expérimentale* (Lecciones de física experimental), en 6 volúmenes (iniciada en 1743). En dicha obra, Nollet hace hincapié en la analogía que él ve entre los relámpagos y las chispas eléctricas, hipótesis que casi nadie toma en cuenta ([34], vol. X, p. 146).

Jean Jallabert (o Jallabert) (1712-1768, Suiza) publica *Expériences sur l'électricité, avec quelques conjectures sur ses causes et ses effects* (Experiencias sobre la electricidad, con algunas conjeturas sobre sus causas y sus efectos). Investiga, además, los choques eléctricos como tratamiento para la parálisis ([40], p. 871).

John Canton (1718-1772; Inglaterra) empieza a gozar de cierta reputación como experimentalista, principalmente por la invención de un nuevo método para crear potentes imanes artificiales. Análogamente a Knight (véase 1746), mantiene en secreto (hasta 1751) su técnica, con la esperanza de obtener algún beneficio económico ([34], vol. III, p. 51).

John Freke (1688-1756; Inglaterra) publica *An Essay to Show the Cause of Electricity and Why Some Things are Non-electricable in which is also Considered its Influence in the Blasts on Human Bodies, in the Blights on Trees, in the Damps in Mines, and as it may Affect the Sensitive Plant* (Ensayo para mostrar la causa de la electricidad y por qué algunas cosas no son electricables en el cual también se considera su influencia en los choques sobre los cuerpos humanos, en la destrucción de árboles, en la humedad de las minas, y cómo puede afectar a las plantas sensibles) ([40], p. 605).

Georg Brandt (1694-1768; Suecia), quien durante los últimos doce años ha seguido investigando sobre los semimetales, publica "Cobalti nova species examinata et descripta" ("Cobalto, nueva especie examinada y descrita")¹⁷⁾, donde presenta nuevos hallazgos sobre el cobalto, describiendo su producción mediante la reducción de pirita de cobalto con carbón vegetal. Descubre que este material tiene propiedades magnéticas¹⁸⁾ ([34], vol. II, p. 421).

Rudjer Bosković (1711-1787; Yugoslavia) publica *De materiae divisibilitate* (De la divisibilidad de la materia), en el cual expone su visión de la materia. Según él la materia está formada por puntos, o campos, de fuerza, cada uno siendo alternativamente un centro de repulsión y uno de atracción. Esta teoría es parecida a las mónadas de Leibnitz¹⁹⁾ ([8], vol. LX, p. 539).

¹⁷⁾ *Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis*, 1ª ser., 3.

¹⁸⁾ La importancia de este hecho no se apreciaría sino hasta muchos años después, cuando se encuentra que al introducir cobalto a un metal, la fuerza de los imanes permanentes presenta una mejora notoria ([25], p. 42).

¹⁹⁾ Y sienta las bases de la moderna teoría atómica.

1749

John Ellicott publica²⁰⁾ un artículo en el que describe sus observaciones de la fuerza mecánica creada por la atracción de un cuerpo cargado eléctricamente (véase 1748) ([18], p. 290).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) atribuye el fenómeno eléctrico al movimiento en dirección opuesta de dos corrientes de un fluido «muy sutil e inflamable», presente en todos los cuerpos bajo cualquier circunstancia. Cuando un cuerpo eléctrico es excitado por fricción, esta pérdida se compensa con una corriente afluyente del mismo fluido que entra al cuerpo. Los cuerpos ligeros en la vecindad son atrapados por una u otra corriente, y así son atraídos o repelidos por el cuerpo eléctrico excitado ([49], vol. I, pp. 44-45). Nollet publica *Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques* ([34], vol. X, p. 147).

El 29 de abril, Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) escribe una carta a Michell, titulada "Observations and Suppositions" ("Observaciones y suposiciones"), en la cual plantea sus hipótesis de que las nubes tienden a electrificarse mediante el efecto de evaporización del agua producido por el *fuego común* (calor ordinario) y por el *fuego eléctrico*. Entre los elementos que forman parte de sus suposiciones están el rocío, las lluvias y los relámpagos producidos entre las nubes terrestres y las marinas. Llega a la conclusión de que los rayos son una rápida liberación del flujo eléctrico, aun cuando todavía no comprende los procesos involucrados²¹⁾. A diferencia de W. Wall (véase 1708) y de Newton (véase 1675), afirma la relación entre chispas eléctricas y los rayos de las tormentas. En una anotación de su diario del 7 de noviembre elabora una lista de doce semejanzas observables entre los relámpagos y las chispas eléctricas producidas en el laboratorio. Entre estas semejanzas se pueden citar las siguientes:

- 1) la luz y el sonido resultantes son similares y ambos fenómenos son prácticamente instantáneos.
- 2) la chispa, como el rayo, es capaz de incendiar los cuerpos.
- 3) ambos pueden matar criaturas vivientes,
- 4) ambos causan daños mecánicos y el olor es parecido al azufre quemado,
- 5) ambos son capaces de destruir el magnetismo y, aún más, de invertir la polaridad de los imanes,
- 6) ambos son capaces de derretir metales.

Además, de manera notoria, Franklin concluye que si el fluido eléctrico es atraído con mayor intensidad por los objetos puntiagudos, se podría averiguar si esta propiedad la tienen los rayos. Aun antes de llevar a cabo el experimento, Franklin se inclina por una respuesta afirmativa. Convencido de que los rayos deben ser de naturaleza eléctrica, advierte a sus lectores que las colinas, los árboles, las torres, las construcciones terminadas en punta, los mástiles y las chimeneas pueden atraer el fuego eléctrico como si «una nube completa se descargara en ese lugar» y les recomienda que nunca se refugien bajo un árbol durante las tormentas ([8], vol. VIII, p. 515; [25], p. 48; [34], vol. V, pp. 133-134).

Deluc –probablemente Jean André Deluc (1727-1817; Suiza)– realiza una serie de experimentos similares a los de Watson de 1747 y de Franklin en 1748, aumentando la distancia de transmisión de la electricidad en los circuitos ([18], p. 67).

²⁰⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 45, p. 195.

²¹⁾ Incluso hacia 1755 admitiría no haber encontrado la explicación de cómo las nubes adquieren su carga.

1750

El 29 de julio, Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) envía a su corresponsal en Londres, Inglaterra, Peter Collinson, un artículo titulado "Opinions and Conjectures Concerning the Properties and Effects of the Electrical Matter, arising from Experiments and Observations, made at Philadelphia, 1749" ("Opiniones y conjeturas respecto a las propiedades y efectos de la materia eléctrica, que surgen de los Experimentos y Observaciones, realizados en Filadelfia, 1749"). El artículo comienza con la proposición de que la materia eléctrica consiste en partículas extremadamente sutiles, ya que pueden permear toda la materia común, inclusive los metales, sin «ninguna resistencia perceptible». Esta es la primera vez que usa el término «materia eléctrica» y, a pesar de expresar una causa para creer en su sutilidad, da por sentido su composición corpuscular o atómica. Para Franklin la materia común se diferencia de la eléctrica en que la primera tiene siempre la propiedad de atracción, mientras que la eléctrica tiene, además, la capacidad de repulsión entre sus partículas (lo que provoca la «aparente divergencia en una corriente de efluio eléctrico»). Las partículas eléctricas son atraídas por toda la demás materia. De aquí que si se aplica cierta cantidad de materia eléctrica a una masa de materia común, la primera es difundida de inmediato y equitativamente a través del cuerpo, es decir, la materia común es como una esponja para la materia eléctrica. Generalmente la materia común tiene la máxima cantidad de materia eléctrica que puede contener y, si se añade más fluido eléctrico éste no puede penetrar al cuerpo, por lo que se aglomera sobre su superficie formando una *atmósfera eléctrica*, diciéndose que el cuerpo queda electrificado. Sin embargo, no todos los cuerpos pueden atraer y retener la materia eléctrica en igual cantidad y con la misma fuerza: aquéllos llamados eléctricos per se por Desaguliers en 1738, o no conductores, «la atraen y retienen con mayor fuerza y contienen una mayor cantidad» de la misma. Si dos cuerpos cargados positivamente se acercan uno a otro, sus atmósferas provocan que éstos se repelan, dado que las partículas que forman estas atmósferas tienden a repelerse unas a otras. Si a un cuerpo se le quita parte de su cantidad natural de materia eléctrica (es decir, un cuerpo negativo), éste atrae las partículas de la atmósfera de un cuerpo positivo, por lo que los cuerpos se juntan hasta quedar en contacto. Franklin aplica este concepto de atmósferas eléctricas para explicar la distribución desigual de carga en los cuerpos que no son totalmente simétricos; sin embargo, aun cuando estos razonamientos son cualitativamente adecuados, no siempre aparecen del todo convincentes y forman una de las partes más débiles y menos satisfactorias de su teoría. Esta teoría no puede ofrecer una explicación para el caso de la repulsión entre cuerpos cargados negativamente, fenómeno que es observado y señalado por Franklin y sus compañeros en un artículo anterior.

El concepto de atmósferas eléctricas no es totalmente original de Franklin. Lo novedoso es el uso que le da para aplicarlo a la teoría de la acción eléctrica.

En la teoría de Franklin, la fuerza *repelente* puede actuar a través de una hoja de vidrio, aun cuando el fluido eléctrico en sí no pueda penetrarla. Este concepto básico lo utiliza en la explicación (al parecer por primera vez) de la acción del condensador; es decir, del mecanismo de las cargas inducidas. Por ejemplo, cuando un conductor cargado positivamente se acerca a otro conductor aterrizado, sobre este último se induce una carga negativa. De acuerdo con la teoría frankliniana, el hecho de que se aplique una carga positiva al conductor en uno de los lados del vidrio no es motivo suficiente para que la botella de Leyden quede electrificada. Franklin dice que es necesario que el conductor del otro lado del vidrio pierda parte de su fluido eléctrico natural, es decir, hay que aterrizarlo. Predice y comprueba experimentalmente que la botella puede ser electrificada a través del recubrimiento exterior y aterrizando el cable que llega al agua, o aplicando una carga positiva al conductor interior (agua y cable) y aterrizando el conductor exterior ([34], vol. I, pp. 131-133).

(continúa 1750)

En el mismo artículo, "Opinions and Conjectures", **Franklin** propone a la *Royal Society of London* la idea del pararrayos, pero ésta es rechazada por visionaria ([8], vol. IX, p. 521). Discute sus especulaciones e hipótesis sobre la naturaleza de los relámpagos y sobre la posible electrificación de las nubes. Sugiere que la propiedad de los cuerpos puntiagudos (discutida entre 1747 y 1748) puede tener algún uso positivo para la humanidad, «aun cuando nunca podamos explicarlo». Así como una aguja aterrizada y apuntando hacia arriba puede descargar un cuerpo electrificado y evitar que otro cuerpo cargado cercano provoque su choque eléctrico, las varillas puntiagudas de acero, con recubrimiento dorado para evitar la corrosión, situadas en la parte más alta de los edificios y aterrizadas por medio de extensiones que corran por el exterior de los muros o de los barcos, probablemente puedan extraer el fuego eléctrico de las nubes antes de que éste cause un daño considerable. El experimento diseñado para comprobar su hipótesis requiere de una garita lo suficientemente grande como para que quepan una persona y un poste aislado. La garita se debe colocar en lo más alto de un edificio. Del poste sale una varilla puntiaguda de unos 10 m de largo, a través de la puerta de la garita; el poste se debe mantener seco y limpio. Para que el experimentador no corra peligro, **Franklin** recomienda que éste esté totalmente aislado y sostenga en la mano una vela de cera, de la cual sale un circuito de alambre aterrizado. Cuando pase una nube, posiblemente electrificada, es probable que la varilla quede cargada, por lo que, cuando el experimentador acerque el circuito, las chispas saltarán de la varilla al alambre ([25], p. 49; [34], vol. V, p. 134).

William Watson (1715-1787; Inglaterra) observa la luminosidad generada por una descarga eléctrica en un tubo de vidrio parcialmente al vacío (véase **Grummert**, 1747). La conducción se da a una distancia de, al menos, 1 m ([25], pp. 48-49).

Jacques De Romas (1713-1776; Francia) inventa el *brontómetro*, dispositivo que protege contra la acción de los rayos durante las tormentas ([40], p. 447).

Mainbray (o **Moulbray**), científico de Edimburgo, Escocia que estudia, entre otros, los efectos de la electricidad en el crecimiento de las plantas, concluye que los árboles electrificados crecen más rápido y florecen antes que los no electrificados ([25], p. 49).

Menon realiza algunos experimentos relacionados con los efectos terapéuticos de la electricidad ([25], p. 49).

Benjamin Wilson (1721-1788; Inglaterra) escribe *A treatise on Electricity* (*Tratado sobre electricidad*) (véase **Wilson**, 1756) ([34], vol. XIV, p. 418).

Niccolo Arrighetti (1709-1767; Italia) publica *Ignis theoria* (*Teoría de la ignición*), un tratado sobre el calor, la luz, la electricidad y la presión barométrica ([40], p. 66).

John Canton (1718-1772; Inglaterra) presenta ante la *Royal Society of London* sus imanes artificiales de 1748; sigue negándose a comunicar su técnica (véase **Knight**, 1746) ([3], vol. 2, p. 818).

(continúa 1750)

Pehr Wilhelm Wargentin (1717-1783; Suecia) observa las perturbaciones magnéticas causadas por las auroras y presenta sus observaciones a la *Royal Society of London* ([25], p. 50).

1751

En junio, William Watson (1715-1787; Inglaterra) publica un artículo sobre los trabajos de Franklin, titulado "An Account of Mr. Benjamin Franklin's Treatise" ("Recuento del tratado del Sr. Benjamin Franklin")²²⁾ ([13], pp. 202-211; [34], vol. XIV, p. 194). En dicho trabajo Watson sugiere que la materia eléctrica añadida a un cuerpo neutro no sólo permanece en la superficie (para formar la *atmósfera eléctrica*) sino que penetra en todo el cuerpo. Watson plantea que a partir de los experimentos citados en el trabajo de Franklin se deduce que:

- 1) se puede saber si la materia común contiene fluido eléctrico, porque éste se puede extraer con bombas como los tubos o globos de vidrio,
- 2) cuando se añade un poco de fluido eléctrico, se forman las atmósferas eléctricas,
- 3) generalmente la materia común no tiene más fluido eléctrico del que es capaz de contener, porque, de lo contrario, existiría una repulsión como si fuera una atmósfera eléctrica,
- 4) la atmósfera eléctrica toma la forma del cuerpo al cual envuelve,
- 5) la atracción eléctrica ejercida por una esfera es igualmente intensa en cualquier punto de su superficie, mientras que, por ejemplo, es más fácil extraer la atmósfera en los vértices de los objetos cúbicos. Por ello los cuerpos puntiagudos tienen la propiedad de atraer o aventar el fluido eléctrico con mayor facilidad que los objetos chicos.

Watson señala que dichas conclusiones coinciden y apoyan sus propias concepciones, presentadas con anterioridad a la *Royal Society of London* ([13], pp. 205-206).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) observa que el fluido eléctrico no parece afectar al, o ser afectado por, el aire, ya que es posible respirar libremente en la vecindad de los cuerpos electrificados; más aún, una corriente de aire seco no destruye las repulsiones o atracciones eléctricas ([49], vol. I, p. 50).

Peter Collinson (ca. 1693-1768; Inglaterra) escribe una antología de 90 páginas, *Experiments and Observations on Electricity, made at Philadelphia, America* (*Experimentos y observaciones sobre electricidad, realizados en Filadelfia, Estados Unidos*) -editado por E. Cave, de Londres, Inglaterra- con las publicaciones de Franklin sobre los experimentos con conductores puntiagudos, objetos aterrizados, la botella de Leyden, la conservación de carga eléctrica, su teoría de la acción eléctrica y sus hipótesis sobre la naturaleza de los relámpagos. La publicación contiene un prefacio sin firma, escrito por Fothergill ([25], p. 50; [34], vol. V, pp. 133-134).

Georges-Louis Leclerc (Conde de Buffon) (1707-1788; Francia), quien ha declarado que en los fenómenos eléctricos parecía no haber ninguna ley que gobernara los resultados de los experimentos y que, de hecho, la electricidad estaba caracterizada por anomalías más que por regularidades tiene oportunidad de leer el libro sobre los trabajos de Franklin, editado por Collinson, y se

²²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 47 (1751-1752), pp. 202-210

(continúa 1751)

interesa tanto en él que le pide a Dalibard lo traduzca al francés (lo que este último haría al año siguiente) ([34], vol. V, p. 133).

John Canton (1718-1772, Inglaterra) gana la *Copley Medal* de la *Royal Society of London*, de Londres, Inglaterra, por inventar la manera de crear imanes artificiales (véase 1750) ([3], vol. 2, p. 818; [25], p. 49). Escribe "A Method of Making Artificial Magnets Without the Use of Natural Ones" ("Un método para hacer imanes artificiales sin hacer uso de los naturales")²³⁾, en el que finalmente describe la técnica empleada. Su método de fabricación es muy parecido al de Michell (véase abajo), quien no tarda en acusarlo de plagio (se sabe que el método de Canton de 1748 es original, pero no se puede asegurar que éste sea el mismo que ahora describe) ([34], vol. III, p. 51).

John Michell (1724[?]-1793, Inglaterra) publica *Treatise on Artificial Magnets, in which is shown an easy and expeditious method of making them superior to the best natural ones* (Tratado sobre imanes artificiales, en el que se muestra un método fácil y expedito para fabricarlos de forma superior a los mejores naturales), en el cual incluye sus resultados del año anterior. Muestra además que la atracción y repulsión magnéticas varían inversamente con el cuadrado de la distancia entre los polos. Sus conclusiones son resultado de las revisiones a los trabajos de Halley y Hauksbee ([7], p. 203; [25], pp. 49-50; [38], vol. 19, p. 166).

Denis Diderot (1713-1784, Francia) le encomienda a Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799, Francia) que escriba algunos artículos sobre magnetismo para su *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers* (Enciclopedia o diccionario razonado de las ciencias, las artes y los oficios). Le Monnier escribe dos artículos, "Aiguille aimantée" ("Aguja imantada") y "Aimants" ("Imanes"), que son incluidos en el primer volumen de la *Enciclopedia* ([34], vol. VIII, p. 177).

Gowan (o Gowin) Knight (ca. 1713-1772; Inglaterra) realiza un viaje a bordo del barco *Fortune* ([40], p. 948). Encuentra que las agujas de las brújulas son imprecisas y están mal magnetizadas ([34], vol. III, p. 51). Propone que tengan una forma romboidal²⁴⁾. Experimenta además con un nuevo sistema de brújulas para los barcos ([40], p. 948).

Axel Fredrik Cronstedt (1722-1765, Suecia), investigador en mineralogía, descubre el níquel, encontrando que presenta características magnéticas²⁵⁾ ([25], p. 50).

1751-52

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) es profesor de Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania), a quien motiva para que se interese en el estudio de las ciencias ([34], vol. I, pp. 66-68).

1752

Thomas François Dalibard (1703-1779; Francia) traduce al francés la obra de Collinson sobre los trabajos de Franklin (véanse Collinson y Lectere, 1751), y la titula *Experiments, Expériences et observations sur l'électricité, faites à Philadelphie en Amérique par M. Benjamin Franklin; et communiquées dans*

²³⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 47

²⁴⁾ La cual se sigue utilizando todavía en nuestros días

²⁵⁾ Años después, el níquel llegaría a ser un elemento vital para la fabricación de imanes fijos muy poderosos.

(continúa 1752)

plusieurs lettres à M. M. P. Collinson (Experimentos, experiencias y observaciones sobre la electricidad, realizados en Filadelfia, en Estados Unidos, por el Sr. Benjamin Franklin, y comunicados en varias cartas al Sr. P. Collinson).

El 10 de mayo, en Marly-la-Ville, Francia, **Dalibard** y **De Lor** (1703-1779), realizan el experimento sugerido por **Franklin** (véase 1750) para comprobar la naturaleza eléctrica de los rayos. Utilizan una varilla puntiaguda de hierro de 16.6 m de largo, aislada por una botella. Dan instrucciones a su asistente, **Coiffier**, para que, en caso de no estar presentes, cuando pase una nube toque la varilla con un circuito de alambre de latón. En efecto, cuando pasa una nube de tormenta, **Coiffier** toca la varilla no sólo con el alambre sino también con su mano, por lo que recibe una severa descarga.

Dalibard y **De Lor** realizan pruebas posteriores y confirman las afirmaciones de **Coiffier**. El 13 de mayo, **Dalibard** anuncia ante la *Académie française des sciences*, de París, que «siguiendo la ruta trazada por Mr. Franklin, he obtenido resultados totalmente satisfactorios» por lo que «la idea de Franklin no es más una conjetura, es ya una realidad» (18, vol. IX, p. 521; 25, pp. 50-51; 34, vol. III, p. 535 y vol. V, p. 134).

Dalibard publica *Théorie abrégée de l'électricité* (Teoría abreviada de la electricidad) (40, p. 403).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) no queda totalmente satisfecho con el éxito de los resultados obtenidos por **Dalibard**. Desea que la identificación del relámpago y la electricidad sea completamente evidente, mediante la extracción de un rayo mandando algo directamente a la nube. En junio de este año, realiza uno de los más famosos experimentos que registra la historia. Durante una tormenta vuela un papalote de seda, el cual tiene, en su extremo posterior, un alambre puntiagudo de 1 m de largo. Del otro lado de la cuerda, el del experimentador, ata una llave con un listón de seda. En octubre describe los resultados obtenidos a **Collinson**. Cuando la cuerda del papalote está lo suficientemente mojada como para conducir libremente el fuego eléctrico, éste puede ser detectado al acercar una mano a la llave; además, con esta llave se puede cargar una botella de Leyden y se pueden reproducir todos los experimentos realizados con electricidad estática. Dichos resultados comprueban experimentalmente la naturaleza eléctrica de los rayos²⁶⁾ (18, vol. IX, p. 521; 25, pp. 50-51; 34, vol. V, p. 134).

John Canton (1718-1772; Inglaterra) tiene noticias de los experimentos realizados en Francia para comprobar las hipótesis de **Franklin** sobre la identidad de los rayos y la electricidad. Es el primero en Inglaterra en repetir con éxito dichos experimentos. Durante el proceso de experimentación **Canton** descubre, independientemente de **Le Monnier**, **Beccaria** y del propio **Franklin**, que las nubes se electrifican tanto positivamente (según sugiere la teoría) como negativamente (fenómeno que no puede explicar) (3, vol. 2, p. 818; 25, p. 50; 34, vol. III, p. 51).

William Watson (1715-1787; Inglaterra) se esfuerza por difundir los artículos de **Franklin** en Europa, a pesar de que él concuerda con **Nollet** en rechazar la tesis frankliniana de la impermeabilidad eléctrica del vidrio (véase 1751) (49, vol. I, p. 50).

Ebenezer Kinnersley (1711-1778; Inglaterra) vuelve a descubrir la teoría de las dos electricidades, propuesta por **Du Fay** entre 1730 y 1734, y la discute con

²⁶⁾ Estos experimentos se describen también en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 47.

(continúa 1752)

Franklin, para que este último tome la decisión de cuál de las dos teorías es la correcta ([34], vol. VII, p. 371).

Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799; Francia) publica su artículo "Observations sur l'électricité de l'air" ("Observaciones sobre la electricidad del aire")²⁷⁾, donde describe algunos de sus resultados relacionados con la «perfecta semejanza, recientemente observada, entre la materia eléctrica y la de los relámpagos». Seis meses después **Le Monier** publica sus métodos para estudiar las tormentas y sus propios descubrimientos, los cuales confirman las teorías de **Franklin** ([34], vol. VIII, p. 177). Uno de éstos es el descubrimiento de que las nubes se electrifican tanto positiva como negativamente ([34], vol. III, p. 51).

Johann Georg Sulzer (o **Sulzer**) (1720-1779; Suiza) descubre que al colocar dos piezas de metales diferentes, por ejemplo plata y cinc, una arriba y otra abajo de su lengua, mientras los metales no hacen contacto entre sí no siente nada, pero cuando las orillas de los metales se juntan en la punta de su lengua, experimenta una comezón y un sabor parecido al del sulfato de hierro²⁸⁾ ([8], vol. IX, p. 523; [18], p. 28; [25], p. 49; [40], p. 1632).

En una memoria presentada ante la *Academia de Berlín*, Alemania, titulada *Recherches sur l'origine des sentiments agréables et désagréables* (Investigaciones sobre el origen de las sensaciones agradables y desagradables), **Sulzer** dice «No es probable que el contacto de los metales produzca una solución de cualquiera de ellos, liberando partículas que podrían afectar a la lengua; debemos concluir entonces que el contacto provoca una vibración de sus partículas la cual, al afectar a los nervios de la lengua, produce el sabor en cuestión» ([49], vol. I, p. 67).

Se publica una traducción al alemán del libro *Bybel der Nature* (Biblia de la naturaleza) de **Swammerdam**, editada por **Buerhaave** en 1737-38. Entre los experimentos que se mencionan, están los relacionados a los efectos de la electricidad en los músculos de animales (véase **Swammerdam**, 1678; **Boerhaave**, 1737-38, y 1758) ([18], p. 28; [25], p. 50; [34], vol. XIII, p. 175).

La Marina Británica adopta el sistema de brújulas de **Gowan** (o **Gowin**) **Knight** (ca. 1713-1772; Inglaterra) (véase 1751), para instalarlo en sus barcos ([40], p. 948).

Antonio de Ulloa y de la Torre Giral (1716-1795; España) describe la aurora boreal ([18], p. 26).

1753

Jacques De Romas (1713-1776; Francia) repite, sin tener conocimiento de él, el experimento del papalote de **Franklin** (véase 1752), con uno más grande y una cuerda de 260 m de longitud enrollada en un alambre de acero. Del tubo metálico al cual está amarrada el cuerda saltan chispas, algunas de hasta 20 cm de largo ([8], vol. IX, p. 522; [25], p. 52; [40], p. 447).

Georg Wilhelm Richmann (1711-1753; Estonia) conoce ya los experimentos con pararrayos realizados por **Dalilhard** el año pasado, en Marly, Francia, y adquiere un ejemplar del libro de **Franklin**. No acepta la electricidad negativa ni la impenetrabilidad del vidrio. Instala un pararrayos en su casa y utiliza su

27) *Mémoires de l'Académie des sciences*.

28) Este fenómeno se conocería luego como *diferencia de potencial*, sin embargo, **Sulzer** no se percató del significado de sus descubrimientos.

(continúa 1753)

índice (véase 1745) como electrómetro. Publica "De indice electricitatis phaenomenis, dissertatio"⁽²⁹⁾. En uno de sus experimentos, el 26 de julio, el electrómetro está conectado a una varilla en la azotea mediante un alambre y, en un momento dado, una chispa salta a su cabeza y le causa la muerte ([8], vol. IX, p. 521; [25], p. 52; [34], vol. XI, p. 433).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos), motivado por el éxito de los experimentos de la garita y los papalotes (véase 1752), y de su sugerencia de que las nubes de tormenta generalmente se electrifican negativamente y, a veces, positivamente, llega a la asombrosa conclusión de que es la Tierra la que se descarga hacia las nubes y no al revés. Para que así sea se requiere identificar al estado positivo con la electricidad vítrea (vidrio frotado con seda) y al estado negativo con la electricidad resinosa (ámbar frotado con lana o piel). Franklin se da cuenta de que no tiene una evidencia definitiva para hacer tal identificación y espera que otros realicen los experimentos necesarios para comprobarla⁽³⁰⁾ ([34], vol. V, p. 135).

Franklin anuncia⁽³¹⁾, además, su propuesta de utilizar varillas puntiagudas para proteger los edificios ([25], p. 52).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) comienza a publicar sus *Lettres sur l'électricité* (*Cartas sobre la electricidad*) en 3 volúmenes, que aparecerían entre 1753 y 1767. Según Nollet los recientes experimentos con los pararrayos amenazan el esquema de Franklin. El primero de estos aspectos es la posición que Franklin toma respecto a la botella de Leyden, al asumir que el vidrio es impermeable a la materia eléctrica, proposición en total desacuerdo con el hecho de que una pluma dentro de una botella sellada pueda ser atraída por un objeto externo electrificado. Franklin, por lo tanto, acepta la acción a distancia del fluido eléctrico. Nollet, ansioso por mantener su sistema del movimiento eléctrico, insiste en la transparencia del vidrio y la acción mecánica de la materia eléctrica. La segunda amenaza es que Franklin dice que la electricidad (no la materia eléctrica) está formada por dos tipos cualitativamente diferentes, opuestos y mutuamente destructivos; mientras que el sistema de Nollet sólo puede alcanzar diferencias cuantitativas y nunca podrá explicar la desaparición de la electricidad en la descarga de una botella de Leyden. Nollet ataca la posición frankliniana en su *Carta* de este año, en la cual incluye una gran cantidad de contraejemplos, obteniendo ventaja de las imprecisiones y exageraciones ocasionales, así como del apego inapropiado de Franklin a los modelos tradicionales de los efluvios ([34], vol. X, pp. 146-147).

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia), envuelto en la batalla filosófica entre los mínimos (cartesianos ortodoxos) y los piaristas, y estimulado por su mecenas, Morozzo (quien conoce los experimentos de Dalibard sobre los rayos realizados en 1752 en Marly, Francia; y piensa que las ideas franklinianas pueden resultar un arma excelente contra los cartesianos), empieza a estudiar los fenómenos eléctricos. La electricidad resulta un campo promisorio para la confrontación, aun sin los nuevos descubrimientos sobre los rayos, dado que la tendencia de los cartesianos a reducir todos los fenómenos eléctricos al movimiento de los vórtices, no ha tenido tanto éxito en esta nueva área. El resultado de su estudio es su primer libro, *Dell'elettricismo artificiale e naturale* (*De la electricidad artificial y natural*), donde Beccaria presenta los elementos de la nueva teoría con mucha claridad y lógica; los ilustra con variaciones de los

²⁹⁾ *Novi commentarii academiae scientiarum imperialis petropolitanae*, 4.

³⁰⁾ Actualmente, en la teoría de circuitos uno habla de la ficticia corriente positiva y se piensa que físicamente existe un flujo de electrones en la dirección opuesta.

³¹⁾ *Poor Richard's Almanac*.

(continúa 1751)

experimentos de Franklin, a los cuales añade observaciones propias; modifica aspectos secundarios de la teoría y los aplica en nuevos terrenos. Trata, además, de explicar los fenómenos meteorológicos y geofísicos como manifestaciones de la electricidad natural. Beccaria es notable por: su amor por el método, lo que, en ocasiones, lo lleva a simplificar los fenómenos en exceso; por su renuencia a discutir en detalle las causas mecánicas de los movimientos eléctricos, característica de la física frankliniana; por sus valientes aseveraciones, en oposición al punto de vista prevaleciente, de que el aire es mejor conductor que el agua pura; y, finalmente, por su gran pericia para diseñar instrumentos, entre los cuales se incluyen dispositivos de medición, tales como el termómetro eléctrico, cuya invención se acredita (erróneamente) a Kinnersley, hacia 1763.

El libro también contiene una larga carta dirigida a Nollet, quien había lanzado algunas objeciones en contra del sistema de Franklin. Los piaristas franklinianos traducen esta carta al francés y proclaman a Beccaria, temporalmente, como el líder del nuevo sistema ([34], vol. I, p. 547).

Beccaria muestra en su libro que la descarga que pasa por un circuito que tiene dos tubos de agua es mayor cuanto mayor sea la sección recta de los tubos ([49], vol. I, p. 55).

John Canton (1718-1772; Inglaterra), a raíz de los experimentos realizados el año pasado, relacionados con el problema de determinar el signo de las cargas eléctricas de las nubes, investiga los efectos de las cargas en el corcho y, accidentalmente, descubre la inducción electrostática, por medio de la cual un conductor sin carga se electrifica cuando es puesto cerca de un cuerpo cargado y aislado de la tierra. Si se toca el primer conductor, se deja cargado con polaridad opuesta a la del cuerpo cargado original. En la configuración típica de su experimento, un tubo de estaño aislado recibe una pequeña carga positiva, lo que causa que dos esferas de corcho, suspendidas de uno de los extremos del tubo, se repelan mutuamente. Coloca, entonces, una varilla de vidrio electrificada bajo las esferas. Cuando acerca la varilla a las esferas, éstas se acercan una a la otra, mientras que cuando aleja la varilla, las esferas vuelven a su separación original. Canton explica este fenómeno modificando la vieja doctrina de las atmósferas, casi de la misma forma en que lo hace Beccaria, distinguiendo entre lo que el italiano llama electricidad aérea y electricidad propia. Publica estos resultados en "Electrical Experiments, With an Attempt to Account for Their Several Phenomena, Together With Observations on Thunder Clouds" ("Experimentos eléctricos, con un intento de explicar sus diversos fenómenos, junto con observaciones sobre las nubes de tormenta")³²⁾ ([8], vol. IX, p. 522; [25], pp. 51-52; [34], vol. III, p. 51).

Por otra parte, Canton descubre que el vidrio frotado no siempre se carga positivamente. Es decir, descubre que el signo de la electricidad desarrollada en un cuerpo depende de la naturaleza de la sustancia con la cual se frota dicho cuerpo y de las condiciones de la superficie del vidrio. Encuentra, por ejemplo, que el vidrio rugoso se carga negativamente cuando es frotado con franela, mientras que su electricidad es positiva, cuando se frota con seda (véase Aepinus, 1754) ([34], vol. III, p. 51).

Gilles Augustin Bazin (1681-1754; Francia) publica un tratado sobre magnetismo en el que presenta la forma del campo magnético producido por un imán en forma de herradura, representado con limaduras de hierro. Es el primero en descubrir el mayor poder de este tipo de imanes con respecto a los imanes en forma de barra ([25], p. 52).

³²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

(continúa 1753)

En el artículo "An Expeditious Method of Conveying Intelligence" ("Un método expedito para transferir inteligencia")³³ se describe un telégrafo que usa electricidad estática. El artículo lo firma C. M. (algunos autores creen que es Charles Marshall, mientras que otros opinan que se refiere a Charles Morrison, cirujano de profesión y electricista aficionado). Es la primera proposición registrada de un telégrafo eléctrico. El sistema consta de 26 alambres aislados, uno por cada letra del alfabeto, y una máquina electrostática que se puede conectar a cualquiera de ellos. Cada alambre termina en una bola, la que, al ser electrificada, atrae pequeños pedazos de papel. Siguiendo el orden de atracción de los papeles, se puede descifrar cualquier mensaje. Hasta donde se sabe, este sistema nunca se construyó. El autor propone también un sistema en el cual, en lugar de bolas, hay campanas de diferentes tonos. Propone que el aislante para los conductores sea el cemento utilizado por los joyeros ([16], p. 240; [25], p. 51; [51], p. 25).

Denis Diderot (1713-1784; Francia) publica la primera edición de *De l'interprétation de la nature* (*De la interpretación de la naturaleza*), en la que proclama que el futuro de la ciencia no se basará en las matemáticas, sino en la física experimental (ejemplificada por los descubrimientos de Franklin) y en la química ([34], vol. IV, p. 87 y vol. VIII, p. 67).

1754

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos), quien desde 1751 ha estado enviando a Inglaterra diversos informes sobre los resultados de sus experimentos eléctricos, es ya conocido y reconocido en toda Europa ([8], vol. IX, p. 522). Empieza a estudiar un aspecto de gran interés para él. Quiere saber si las dimensiones físicas o la masa de un cuerpo son los factores que determinan la cantidad de fluido eléctrico que puede adquirir. Descubre que un incremento en la superficie del cuerpo, sin modificar su cantidad de materia, hace que sea capaz de recibir una mayor cantidad de carga; es decir, descubre que lo importante es la superficie y no la masa. El experimento que diseña consiste en una lata de plata situada sobre una copa de vidrio, la cual actúa como aislante. Dentro de la lata, coloca una cadena de latón de unos 12 m de longitud, en uno de cuyos extremos está amarrado un hilo largo de seda que pasa por una polea colgada del techo, de tal forma que se puede sacar o meter la cadena a su antojo, con lo que incrementa o disminuye la superficie a electrificar ([34], vol. I, p. 135).

Por otro lado, en una famosa serie de experimentos y explicaciones, basados en las investigaciones previas de Canton, Franklin refina sus concepciones sobre la inducción electrostática. Explica, por ejemplo, que si un cuerpo cargado positivamente se acerca a un objeto conductor de metal, colocado sobre una base aislante temporalmente aterrizada y se interrumpe la conexión a tierra antes de retirar el cuerpo positivo, entonces se induce una carga negativa sobre el objeto metálico. Ahora bien, si este objeto metálico es un cilindro, se induce una distribución desigual de carga, en la cual, el extremo más cercano al cuerpo positivo queda con carga negativa, mientras que el extremo más alejado queda con carga positiva. Cuando el primer cuerpo se aleja lo suficiente, el cilindro regresa a su estado normal ([34], vol. III, p. 51 y vol. V, p. 133).

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) demuestra que los cuerpos se pueden cargar positiva o negativamente, dependiendo de la naturaleza de la superficie del cuerpo y del material con el cual se frota. Genera cargas opuestas en los extremos de un tubo de vidrio, cuando uno de estos extremos es suave y el otro rugoso (véase Canton, 1753) ([25], pp. 52-53).

³³) *Scotman's Magazine*

IX. SÉPTIMO CICLO ECONÓMICO LARGO (1736-1786)

(continúa 1754)

John Canton (1718-1772, Inglaterra) inventa un electroscoPIO portátil de esferas de médula (véase Canton, 1753) y descubre un método para electrificar el aire por comunicación. Publica "Some New Electrical Experiments" ("Algunos experimentos eléctricos nuevos")³⁴⁾ ([34], vol. III, p. 51).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770, Francia) publica la 2ª edición de su obra *Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques* ([34], vol. X, p. 147).

ca. 1755

El valor de los pararrayos no es aceptado universalmente de primera instancia. ¿Los pararrayos protegen a los edificios de los rayos o atraen los rayos hacia los edificios que de otra manera no hubieran caído? Incluso hay desacuerdo sobre si los pararrayos deben ser puntiagudos o chatos. George III, rey de Inglaterra, es persuadido para que reemplaze los pararrayos puntiagudos del Palacio de Buckingham, en Londres, por unos chatos; el argumento se basa, al parecer, en que Franklin es republicano y, por lo tanto, uno debe sospechar de sus teorías científicas. Sin embargo, poco después serían reinstalados los pararrayos puntiagudos ([51], p. 3).

Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810, Francia) asiste a la serie de conferencias públicas dictadas por Jean-Antoine Nollet (1700-1770, Francia), quien lo estimula a tal grado que Sigaud decide abandonar su carrera médica e iniciar sus estudios en filosofía, matemáticas y física experimental ([34], vol. XII, p. 427).

1755

Ebenezer Kinnersley (1711-1778, Inglaterra) demuestra que se puede producir calor mediante la electricidad. Inventa un termómetro eléctrico de aire (véase Beccaria, 1753) ([40], p. 936).

1756

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802, Alemania) y Johan Carl Willeke (1732-1796, Alemania) realizan algunos experimentos con la turmalina, traída desde Ceilán por los holandeses en 1703. Informan que los efectos observados con este mineral son *piroeléctricos*: la turmalina adquiere, al calentarla, la propiedad de atraer eléctricamente otros cuerpos ([16], p. 243; [25], p. 53).

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802, Alemania) escribe "Mémoire concernant quelques nouvelles expériences électriques remarquables" ("Memoria sobre algunas nuevas experiencias eléctricas notables")³⁵⁾. Muestra que la fuerza de atracción de la turmalina es máxima cuando se calienta a una temperatura de entre 99.5° y 212° ([16], p. 243; [25], p. 53). Intenta obtener alguna ley que describa el fenómeno piroeléctrico, pero sin mucho éxito. Encuentra que existe una semejanza entre la polarización de la turmalina y la de los imanes, hecho que lo desconcierta. A partir de este efecto, Aepinus llega a considerar la posibilidad, discutida ocasionalmente entre los científicos, de que la electricidad y el magnetismo pueden estar relacionados de alguna manera ([34], vol. I, pp. 66-68; y vol. X, p. 147).

Benjamin Wilson (1721-1788, Inglaterra) y Benjamin Haadly publican *Observations on a Series of Electrical Experiments* (*Observaciones sobre una*

³⁴⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 48:2.

³⁵⁾ *Historia de la Academia Real de Ciencias de Berlín*.

(continúa 1756)

serie de experimentos eléctricos), con el propósito de establecer, al igual que los libros aparecidos en 1746 y en 1750, la identidad de la electricidad, en particular la del fluido frankliniano con el éter newtoniano, de manera similar a como se postuló en la edición inglesa de *Optiks (Optica)* ([34], vol. XIV, pp. 418-419).

Thomas François Dalibard (1703-1779; Francia) publica la segunda edición de su traducción del libro de Franklin (véase, 1752). En esta nueva edición, Dalibard añade un largo suplemento en el cual describe los resultados de sus propios experimentos, anunciados previamente a la *Académie française des sciences*, de París, Francia; entre ellos, la inversión de la polaridad de una aguja magnetizada por medio de una corriente eléctrica (descrito por Franklin a Collinson). Dalibard concluye, erróneamente, que finalmente ha encontrado la relación necesaria para probar que los materiales eléctricos y magnéticos son idénticos ([34], vol. III, p. 533).

1757

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) consulta a Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) sobre la opinión que Franklin ha externado acerca de los experimentos de Canton relacionados con la inducción electrostática, ya que, aparentemente, estos fenómenos contradicen los principios de las teorías franklinianas. Buscando una explicación y apoyado en las ideas de Nollet de 1753, Aepinus piensa que el arreglo experimental de las investigaciones mencionadas equivale a una botella de Leyden imperfecta y ilegal a la idea (antifrankliniana) de que se podría almacenar electricidad en la botella, sin la necesidad del vidrio. Aepinus y Wilcke inventan, como resultado de la comprobación de dichas hipótesis el *condensador de placas paralelas*, análogo al diseñado por Franklin en 1748, pero en lugar del vidrio, el dieléctrico es aire –el dispositivo, de 5.2 m² de superficie, da choques eléctricos comparables a los de una botella de Leyden bien cargada. El éxito que tiene este condensador motiva a muchos científicos a abandonar las ya moribundas hipótesis sobre atmósferas eléctricas y electricidad del vidrio (concepciones que el propio Franklin todavía no abandona por completo), lo cual redundará en el surgimiento de concepciones más generales respecto a la naturaleza de la electricidad.

Aepinus se decide por una teoría instrumentalista, admitiendo la acción a distancia, sin especificar su causa. Concluye que para poder explicar los fenómenos eléctricos más simples, las partículas de la materia común deben repelerse unas a otras al mismo tiempo que, de acuerdo con la teoría gravitacional, son mutuamente atractivas ([34], vol. XIV, p. 353). Parte de estos resultados los describe en (título traducido) "Electricidad de la turmalina" ([40], p. 15).

En la primavera, Aepinus recibe el permiso (solicitado el año anterior) para abandonar sus obligaciones académicas en Berlín y ocupar estos puestos en la *Academia Imperial de San Petersburgo*, Rusia, vacantes desde la muerte de Richmann, en 1753 ([34], vol. I, pp. 66-68).

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) no acepta las concepciones instrumentalistas de Aepinus sobre los fenómenos eléctricos (véase arriba); tentativamente está de acuerdo en la repulsión de las partículas de la materia común, pero sigue creyendo que la repulsión de los cuerpos positivos se debe a la presión de sus atmósferas eléctricas. En esta concepción asimétrica, las atmósferas positivas son cuerpos materiales, mientras que las negativas son simples esferas de acción, espacios distorsionados por la presencia de un cuerpo deficiente.

Para resolver la controversia entre las teorías de Nollet y de Franklin, Wilcke repite todos los experimentos descritos por ambos bandos y prepara la traducción de las obras de Franklin (publicándolas el año siguiente). Encuentra

(continúa 1757)

que, en muchos casos, las objeciones de **Nollet** se basan en interpretaciones incorrectas de pasajes oscuros, imprecisos o abreviados de los trabajos de **Franklin**. **Willeke** muestra que: a) el aislamiento absoluto no existe; b) que ningún eléctrico *per se* puede tomar el papel del vidrio en los experimentos con botellas de Leyden; c) que las cargas de los recubrimientos de las botellas no son exactamente iguales; y d) que las sustancias no son vítreas o resinosas por naturaleza –observación debida a **Canton**, quien había notado que el vidrio rugoso podía electrificarse positiva o negativamente, dependiendo si se frotaba con franela o con seda.

Al reconocer que la fricción hace entrar en competencia a la materia eléctrica, **Willeke** tiene la idea de elaborar una tabla de sustancias, clasificada de tal forma que una de ellas se electrifica positivamente al frotarla con las sustancias que ocupan un lugar posterior en la sucesión, mientras que se carga negativamente si es frotada con las sustancias que ocupan lugares anteriores. Los materiales que constituyen esta sucesión, primera serie triboeléctrica, son: vidrio liso, lana, plumas de aves, madera, papel, lacre, cera blanca, vidrio rugoso, acero, azufre y metales diferentes al acero.

La tesis doctoral de **Willeke** se titula *Disputatio physica experimentalis de electricitatibus contrariis* ([8], vol. IX, p. 522; [25], p. 53; [34], vol. XIV, pp. 352-353).

Giovanni Francesco Cigna (1734-1790; Italia) publica *Sull'uso dell'elettricità nella medicina e sulla irritabilità Halleriana* (*Sobre el uso de la electricidad en la medicina y sobre la irritabilidad halleriana*) ([40], p. 337).

Dietrich, mecánico de Basilea, Suiza, construye brújulas según las instrucciones dadas por **D. Bernoulli** en 1743. Publica "Sur les nouvelles aiguilles d'inclinaison" ("Sobre las nuevas agujas de inclinación")³⁶⁾ ([34], vol. II, p. 43).

1758

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia) publica su segundo libro, *Dell'elettricismo [...] lettere al chiarissimo Signor Giacomo Bartolomeo Beccari* (*De la electricidad [...] carta al carísimo Señor Giacomo Bartolomeo Beccari*), en forma de 16 cartas, cinco años después de su primer trabajo. Dos tercios del libro están dedicados a la electricidad natural, particularmente a la de la atmósfera, la cual él y sus estudiantes investigan incansablemente con polos metálicos, cometas e incluso cohetes. Describe muchas observaciones valiosas sobre la formación de nubes y tormentas y los consecuentes estados eléctricos del aire bajo. Las primeras siete cartas, sobre la electricidad hecha por el hombre o artificial, resumen, amplían y modifican el sistema de **Franklin**. Las ampliaciones más importantes tratan sobre los aislantes (diferentes del vidrio) con los cuales **Beccaria** construye condensadores de placas paralelas, de los cuales intenta medir su potencia relativa. Busca una explicación mecánica de la aparente interrupción de la atracción eléctrica en los altos vacíos conductores. Sus investigaciones lo llevan a revivir las teorías de **Cabeo** (véase 1629), las cuales atribuyen tal atracción a la acción del aire desplazado por la materia eléctrica emanada de los cuerpos cargados. Dicho punto de vista no es necesariamente antifrankliniano, ya que no contradice las características doctrinas de **Franklin** respecto a las electricidades positivas y negativas, ni respecto a que el vidrio es un aislante perfecto. El propio **Franklin** ha adscrito tácitamente un papel importante al aire, el de oponerse a la tendencia natural de disipación de las atmósferas eléctricas formadas alrededor de los cuerpos.

³⁶⁾ *Journal savans*.

(continúa 1758)

Beccaria concuerda con esta posición, la cual trata de combinar con las hipótesis de Cabeo, sin tener mucho éxito ([34], vol. I, p. 547).

Es el primero en darse cuenta de que la carga eléctrica en un conductor está confinada a la superficie ([40], p. 137).

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) publica una traducción al alemán del libro de Franklin, titulándola *Des Herrn Benjamin Franklin Esq. Briefe von der Electricität [...] nebst Anmerkungen* ([34], vol. V, pp. 136 y 138).

Muda su residencia a Suecia, donde escribe "Electriska rön och Försök om den elektriska laddningens och stötens astadkommande vid flera kroppar än glas och porcellain"³⁷⁾ ([34], vol. XVI, p. 352).

Edward Nairne (1726-1806; Inglaterra) construye una serie de imanes artificiales para Franklin ([34], vol. IX, p. 607).

Giovani Caraffa (1715-1768) adquiere turmalina y experimenta con los fenómenos piroeléctricos (véase Le Mery, 1717; Aepinus y Wilcke, 1756) ([25], p. 53).

Gowan (o Gowin) Knight (ca. 1713-1772; Inglaterra) publica una colección de sus artículos sobre el magnetismo ([40], p. 948).

Se publica una traducción al inglés del libro *Bybel der Nature* (*Biblia de la naturaleza*) de Swammerdam, compilado por Boerhaave en 1737-38. En esta edición, el libro lleva el título *The Book of Nature* (*El libro de la naturaleza*); la traducción la realiza Thomas Flöyd. Entre los experimentos que se mencionan, están los relacionados a los efectos de la electricidad en los músculos de animales (véase 1678, 1737-38 y 1752) ([34], vol. XIII, p. 175).

RECESION (1759-1771)

1759

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) publica *Tentamen Theoriae Electricitatis et Magnetismi*, en el cual estudia la relación existente entre conductores y no conductores ([3], vol. I, p. 119; [8], vol. IX, p. 522; [25], p. 53). Esta obra es uno de los trabajos más originales e importantes escritos sobre la electricidad y el magnetismo. Es la primera exposición razonada sobre este tipo de fenómenos basada en la acción a distancia. Aepinus describe sus razonamientos de 1756 sobre el rechazo a la noción de atmósferas eléctricas y electricidad del vidrio, propuestas por Franklin. Toma literalmente los preceptos de Newton sobre la filosofía natural y deduce los fenómenos a partir de ciertas fuerzas supuestas, sin investigar el origen en sí de éstas. Para Aepinus existen tres fuerzas eléctricas fundamentales: a) la repulsión entre partículas del fluido; b) la atracción entre estas partículas y los corpúsculos de la materia; y c) la repulsión entre los corpúsculos materiales. Esta última fuerza es necesaria para que los cuerpos negativos puedan atraerse entre sí, fenómeno que la teoría frankliniana de las atmósferas eléctricas, propuesta en 1750, no pudo explicar. A pesar de que se puede interpretar a esta última fuerza de repulsión contraria a la teoría de la gravitación, Aepinus argumenta que no hay razón alguna para no suponer la existencia de ciertas fuerzas, si la explicación del fenómeno así lo

³⁷⁾ *Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar*, 19 (Suecia) y *Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften. Abhandlungen aus der Naturlehre*, 20 (Alemania).

(continúa 1739)

requiere. Aepinus y Willeke demuestran experimentalmente, empleando su condensador de placas paralelas, que el concepto de atmósferas eléctricas no puede existir en un sentido físico. En uno de estos experimentos hacen que un chorro de aire seco golpee un cuerpo cargado y encuentran que, tal y como Franklin lo hizo, la carga no disminuye. Aepinus llega a la conclusión lógica al establecer que por atmósfera eléctrica se debe entender la *esfera de acción* de la carga del cuerpo. No pretende conocer la forma explícita de la fuerza; sólo la define en términos cualitativos, estableciendo que es proporcional al exceso o deficiencia del fluido. Por analogía con la ley de la gravitación universal, la fuerza eléctrica debe obedecer la ley del inverso de los cuadrados. Sus explicaciones cualitativas tienen éxno respecto a los fenómenos inductivos, los cuales han inquietado a los científicos y filósofos desde los experimentos de Canton de 1752³⁸¹. A pesar de no ser cuantitativa, su explicación es matemática, ya que hace uso de símbolos para indicar el exceso o la deficiencia del fluido eléctrico. Al suponer que la fuerza disminuye con la distancia, puede anticipar la dirección de las interacciones. En este sentido, puede predecir fenómenos aparentemente paradójicos, tales como el hecho de que si dos cuerpos con cargas semejantes pero de diferente intensidad se juntan, la repulsión, en un punto determinado, se convierte en atracción.

La teoría de Aepinus sobre el magnetismo se basa en suposiciones similares, con la diferencia de que el fluido magnético puede penetrar todas las sustancias, excepto el hierro. En este material, el fluido está tan fuertemente ligado que no se puede aumentar o disminuir. Para Aepinus una pieza de hierro es al fluido magnético lo que un aislante perfecto es al fluido eléctrico. Todos los fenómenos magnéticos dependen del desplazamiento del fluido dentro del hierro. Analiza la magnetización en forma idéntica a como trata la inducción eléctrica, encontrando que este análisis es adecuado en todos los problemas tratados, excepto cuando quiere crear dos imanes cortando un imán en dos. Además, como resultado de este análisis, mejora los métodos de Canton y Michell para crear imanes artificiales y describe una mejor disposición de las armaduras.

El libro de Aepinus no tiene mucha difusión en un principio; pero, a partir del epitome no matemático sobre esta obra que Haüy escribiría en 1787, poco a poco se iría conociendo y aceptando y llegaría a convertirse en una importante fuente de consulta, vigente todavía a mediados del siglo 19 (véase, por ejemplo, Reiss, 1853) ([34], vol. I, pp. 66-68 y vol. V, p. 136).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos) había dicho que la atmósfera eléctrica de un cuerpo cargado era una parte integral del mismo y, aún más, había pensado en hacerla visible al dejar caer colofina en una pieza de hierro caliente situada cerca del cuerpo cargado. Cuando llega a conocer la obra de Aepinus (véase arriba), Franklin expresa gran admiración por su teoría magnética, por lo que empieza a escribir respecto al fluido magnético en los términos introducidos por Aepinus. Franklin descarta su concepto primario de atmósferas eléctricas para adoptar el punto de vista del propio Aepinus, en el sentido de que éstas representan el radio de acción del fluido eléctrico. Sin embargo, Franklin ya no está trabajando activamente en los campos de la electricidad y el magnetismo ([34], vol. V, p. 136).

Robert Symmer (ca. 1707-1763; Escocia) descubre que un par de medias de seda, una negra y otra blanca, puestas en la misma pierna, se atraen fuertemente una a otra cuando se quitan y se separan, mientras que su atracción se debilita si se juntan. Si se vuelven a separar, la fuerza de atracción se incrementa nuevamente. A partir de estos hechos, Symmer concluye que las electricidades

³⁸¹ Estas explicaciones (con los cambios apropiados en la terminología) son las que todavía se utilizan en la electrostática elemental moderna.

(continúa 1759)

contrarias de Franklin se derivan de dos principios positivos y opuestos, los cuales se materializan como dos fluidos esencialmente diferentes que se contrarrestan mutuamente. Por lo tanto, sus concepciones difieren de las de Du Fay y Nollet, quienes sugieren que las dos electricidades no son contrarias, y de las de Franklin, quien opina que un estado eléctrico es la carencia de un tipo de materia, mientras que el otro estado, es la abundancia de la misma materia. En otras palabras, Symmer propone una teoría dualista, en la que los cuerpos cargados positivamente tienen un exceso de un tipo de carga, mientras que los cuerpos negativos, tienen un exceso de otro tipo de carga. Los cuerpos neutros, presentan una cantidad igual de ambos fluidos. Symmer confirma sus hipótesis estudiando el condensador, el cual, al estar cargado y aislado, se asemeja a sus medias superpuestas. Encuentra que puede cargar una botella de Leyden con cualquiera de las dos medias y argumenta que las circunstancias de la explosión (la descarga o la perforación de un papel colocado en el circuito) le sugiere que un fluido real sale de cada superficie del condensador en descarga.

Symmer sugiere otro experimento, más importante aún, a raíz de la siguiente analogía: dado que cada media puede sustituir a una de las superficies de la botella de Leyden, entonces si se cortara longitudinalmente un condensador cargado de placas paralelas, con vidrio como dieléctrico, las dos partes resultantes deberían unirse; por otro lado, dos condensadores completos electrificados, conectados en serie no deberían juntarse, ya que, en la interfase, las electricidades contrarias e independientes se contrarrestarían. En el argumento de Symmer, resulta esencial el hecho de que los dos tipos de electricidades no se destruyen, sino sólo se equilibran.

Symmer escribe su único trabajo publicado, "New Experiments and Observations Concerning Electricity" ("Nuevos experimentos y observaciones sobre la electricidad")³⁹⁾ (1759, p. 53; [34], vol. XIII, p. 224).

John Canton (1718-1772; Inglaterra) escribe "On the Tourmaline" ("Sobre la turmalina")⁴⁰⁾, en el cual discute las regularidades eléctricas de este cristal ([34], vol. III, pp. 51-52).

ca. 1760

Como resultado de los recientes experimentos de varios autores sobre electricidad estática y de diversas observaciones sobre los efectos de los rayos, comienza a surgir la noción de corriente eléctrica. Se sabe ya que los pararrayos se calientan luego de recibir una descarga eléctrica ([18], p. 29).

1760

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) publica un libro sobre electricidad y magnetismo, en el cual describe la manera de magnetizar una barra de hierro, alineándola en la dirección norte-sur y golpeándola con un martillo (véanse China, 121 dC. y Aepinus, 1759) ([25], p. 54).

Daniel Bernoulli (1700-1782; Países Bajos) piensa que la atracción eléctrica obedece la ley del inverso del cuadrado de la distancia ([49], vol. I, p. 53).

El 19 de junio, Robert Symmer (ca. 1707-1763; Escocia) le escribe una carta a Michell en la que le expresa su esperanza de que su teoría dualista (véase Symmer, 1759) no sólo inicie una revolución en la electricidad, sino que «también demuestre ser el Principio de la Filosofía Newtoniana genuino.» Los electricistas británicos, sin embargo, prefieren seguir con las teorías de Franklin o B. Wilson. Symmer, por lo tanto, trata de introducir su teoría a la Europa

³⁹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 51, no. 1 (1759), pp. 330-389, formado por cuatro partes que fueron leídas ante la Sociedad entre febrero y diciembre de 1759.

⁴⁰⁾ *Gentleman's Magazine*, 29.

(continúa 1760)

continental. Envía copias de sus artículos a Michell para que éste los distribuya en Alemania. Durante los siguientes dos o tres años, Symmer intentaría convencer a Nollet de la validez de su teoría (véase Symmer, 1760-61) ([34], vol. XIII, p. 224).

Johann Tobias Mayer (1723-1762; Alemania) diseña, en la Universidad de Göttingen, Alemania, un método para encontrar las coordenadas geográficas independiente de las observaciones astronómicas. En el transcurso de esta investigación llega a una nueva teoría del magnetismo, basada, al igual que su teoría lunar, en los principios de la mecánica newtoniana. Presenta una demostración convincente de la validez de la ley del inverso de los cuadrados de la atracción y repulsión magnéticas⁴¹⁾. Sin embargo, los manuscritos sobre esta teoría y sus aplicaciones al cálculo de la variación e inclinación de una aguja magnética pasarían virtualmente inadvertidos después de su muerte (véase Aepinus, 1768) ([34], vol. IX, p. 234; [49], vol. I, p. 57).

John Wesley (1703-1791; Inglaterra), fundador de la Iglesia Metodista, publica en Londres, Inglaterra, su libro *The Desideratum, or Electricity Made Plain and Useful by a Lover of Mankind and Common Sense* (*El desideratum, o electricidad hecha simple y útil por un amante de la humanidad y el sentido común*), en el cual describe las teorías en boga sobre la electricidad ([25], p. 54).

1760-61

Robert Symmer (ca. 1707-1763; Escocia) comunica a Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) su teoría dualista sobre las electricidades contrarias de 1759, buscando su apoyo (véase Symmer, 1760). Nollet se interesa mucho en dichas concepciones y, a pesar de no adherirse a ellas, avala los experimentos de Symmer, considerándolos como pruebas de sus propios puntos de vista. Modifica los experimentos en su laboratorio; sustituye las medias de seda por listones colocados sobre placas de vidrio. Más aún, envía un informe de estos experimentos a Cigna, ex-alumno de Beccaria e investigador de Turín, Italia, con la esperanza de que los utilice para destruir las teorías franklinianas del propio Beccaria (véase Nollet, 1761) ([34], vol. XIII, p. 224).

1761

Ebenzer Kinneresley (1711-1778; Inglaterra) propone, dada la dificultad de la teoría de Franklin para explicar el fenómeno de repulsión entre dos cuerpos negativos, que tal repulsión no existe; explica que el aire es el que separa los objetos de carga eléctrica similar a través de la atracción ordinaria entre cuerpos neutros y electrificados. Franklin rechaza esta idea, aun cuando Beccaria –quien la había propuesto ya en su *Dell'elettricismo* [...] de 1758– y Volta, la encuentran aceptable ([34], vol. VII, p. 371).

Kinneresley es el primero en estudiar la fusión de un alambre debida a la electricidad, casi llega al concepto de corriente eléctrica al establecer que no se produce calor en un alambre largo al pasarle descargas, pero que un alambre pequeño sí se calienta al rojo vivo, expandiéndose y deritiéndose ([18], pp. 29-30). Da una de las primeras conferencias públicas sobre el tema de la electricidad, en el *Faneuil Hall* de Boston, Massachusetts, Estados Unidos ([18], p. 34; [25], pp. 36 y 54).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) publica "Nouvelles expériences d'électricité faites à l'occasion d'un ouvrage publié depuis peu en Angleterre, par M. Robert Symmer" ("Nuevas experiencias de la electricidad realizadas con motivo de una obra publicada hace poco en Inglaterra, por el Sr. Robert

⁴¹⁾ *Göttingische Anzeigen von gelehrten Sachen* (1760).

(continúa 1761)

Symmer⁴²⁾ (véanse Nallet y Symmer, 1760-61; y Cigna, 1765) (*[34]*, vol. X, p. 147).

1762

John Canton (1718-1772; Inglaterra) sugiere el uso de una amalgama de estaño, mercurio y gis en los cojines de fricción de las máquinas eléctricas, con el fin de incrementar su eficiencia⁴³⁾ (*[25]*, p. 54; *[34]*, vol. III, p. 52).

Canton demuestra además la electrificación del aire (*[40]*, p. 296).

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) escribe "Recueil des différentes mémoires sur la tourmaline" ("Colección de diferentes memorias sobre la turmalina") (*[34]*, vol. I, pp. 66-68).

Johan Carl Willeke (1732-1796; Alemania) publica "Ytterligare ron och försök om contraria electriciteterne vid laddningen och därtill hörande delar"⁴⁴⁾, sobre la teoría dualista de Symmer de las electricidades contrarias. Sus resultados más importantes, sobre la localización de la carga en un condensador disector, anticipan la invención del electróforo (véase Cigna, 1765). Willeke observa que teniendo un condensador electrificado, se puede remover una placa, descargarla, regresarla a su posición, aterrizarla y de nuevo quitarla, descargarla, etc., sin necesidad de electrificar el condensador en cada proceso. Willeke explica que éste es un efecto inductivo⁴⁵⁾ (*[25]*, p. 55; *[34]*, vol. XIV, p. 353).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia), a los 17 años de edad, comienza sus estudios sobre la electricidad (*[25]*, p. 54).

1763

Ebenezer Kinnersley (1711-1778; Inglaterra) publica "New Experiments in Electricity" ("Nuevos experimentos en electricidad")⁴⁶⁾, donde describe sus teorías y un electrómetro de aire (al cual se le ha llamado, equivocadamente, termómetro eléctrico). Hace uso de la energía de una descarga eléctrica para calentar el aire atrapado bajo una columna de un líquido indicador que provoca un cambio en el nivel (véase Beccaria, 1753). Busca, además, formas de proteger los edificios de la acción devastadora de los rayos (*[3]*, vol. 6, p. 379; *[16]*, p. 235; *[34]*, vol. VII, p. 371).

Johan Carl Willeke (1732-1796; Alemania) resuelve su posición asimétrica de 1757, al aceptar e incluso promover la teoría dualista de Symmer, la cual reemplaza el estado negativo frankliniano, o carencia de materia eléctrica, por la presencia de un segundo fluido eléctrico. Describe estas concepciones en "Electriska försök med phosphorus"⁴⁷⁾.

Por otro lado, Willeke inventa una nueva brújula de declinación, descrita en "Beskrifning pa en ny declinations-compass"⁴⁸⁾ (*[34]*, vol. XIV, p. 353).

⁴²⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences* (1761), pp. 244-258.

⁴³⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1762.

⁴⁴⁾ *Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar*, 23 (Suecia) y *Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen aus der Naturlehre*, 24 (Alemania).

⁴⁵⁾ Trece años antes de que Volta describiera un experimento similar, sin explicación alguna. En 1777, Willeke da la explicación teórica del fenómeno.

⁴⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 53.

⁴⁷⁾ *Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar*, 24 (Suecia) y *Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen aus der Naturlehre*, 25 (Alemania).

⁴⁸⁾ *Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar*, 24 (Suecia) y *Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen aus der Naturlehre*, 25 (Alemania).

IX. SÉPTIMO CICLO ECONÓMICO LARGO (1736-1786)

(continúa 1763)

Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794; Francia) escribe una de sus primeras memorias científicas; una descripción muy precisa de la aurora boreal, visible en octubre en Villers-Cotterets. Dicha memoria no se publicaría sino hasta después de su muerte -en *Ouvres de Lavoisier (Obras de Lavoisier)*-, 6 volúmenes, 1862-1893, París) ([34], vol. VIII, pp. 67 y 87).

1764

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) le escribe una carta a Beccaria, inspirado en parte por las ideas de Boskovic de 1748, en la cual postula que los fenómenos eléctricos surgen enteramente de las fuerzas atractivas que operan entre el fluido eléctrico y la materia común ([34], vol. XIV, p. 70).

Jean-Antoine Nollet (1700-1770; Francia) publica la 4ª edición de su obra *Essai sur l'électricité des corps*, escrita en 1746 ([34], vol. X, p. 147).

William Watson (1715-1787; Inglaterra) publica "Observations Upon the Effects of Lightning" ("Observaciones sobre los efectos de los rayos")⁴⁹⁾ ([34], vol. XIV, p. 194).

Benjamin Wilson (1721-1788; Inglaterra) publica *A Letter to Mr. Aepinus on the Electricity of Taurmaline, with observations on Mr. Aepinus' work on the Same Subject* (Carta al Sr. Aepinus sobre la electricidad de la turmalina, con observaciones sobre el trabajo del Sr. Aepinus sobre el mismo tema) ([34], vol. XIV, p. 418).

Las primeras investigaciones de Torbern Olof Bergman (1735-1784; Suecia) son sobre los arcoiris y las auroras boreales, las cuales estima que están a una altura de 740 km ([3], vol. 2, p. 129). Escribe (con título traducido) "La posibilidad de prevenir los efectos dañinos de los rayos", el cual es su discurso inaugural para la *Academia de Estocolmo*, Suecia. Es uno de los primeros en apoyar las ideas de Franklin sobre los pararrayos. Sin embargo, difiere de él con respecto a la teoría de un único fluido, desarrollando su propia teoría de dos fluidos, similar a la de Wilcke, para poder explicar la presencia de una descarga luminosa que, aparentemente, fluye de los conductores positivos y negativos ([34], vol. II, p. 5).

ca. 1765

Pierre Bertholon (1741-1800; Francia) escribe su primer libro, titulado *De l'électricité des météores (De la electricidad de los meteoros)*, en el cual estudia todas las manifestaciones atmosféricas, así como los volcanes y terremotos. Supone que clavando largas barras de hierro en el suelo puede prevenir los terremotos ([6], p. 212; [34], vol. II, p. 83; [40], p. 166).

1765

Giovanni Francesco Cigna (1734-1790; Italia) mejora los experimentos que Nollet le notificara en 1760-61 sobre la teoría eléctrica dualista de Symmer. Cigna sustituye las placas de vidrio por placas de acero y observa que si electrifica los listones, los remueve de su posición y después descarga la placa, ésta puede electrificarse de nuevo, tantas veces como uno quiera, siempre que la aterrice al momento de colocar los listones otra vez. Cigna descubre así el principio del *electróforo* (véase Wilcke, 1762) ([34], vol. XIII, pp. 224-225).

⁴⁹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 52 (1764), pp. 221-227.

(continúa 1765)

Giambattista **Beccaria** (1716-1781; Italia) tarda un año en contestar la carta de **Volta** y lo hace sólo después de que **Volta** se disculpa por escribir una carta tan *frívola*, le recomienda que lea «a **Beccaria** y repita sus experimentos» ([34], vol. XIV, p. 70).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio **Volta** (1745-1827; Italia) sigue el consejo que recibe de **Beccaria** (véase arriba), pero no tiene acceso a los aparatos eléctricos ordinarios, por lo que se ve obligado a inventar sustitutos baratos. En abril de este año, **Volta** comunica a **Beccaria** sus primeros resultados experimentales, derivados de lo que él cree un nuevo descubrimiento: la seda frotada con la mano se electrifica positivamente, mientras que si se frota con vidrio, la carga resultante es negativa. Inventa una máquina para sacar provecho de las propiedades eléctricas de la seda y diseña una serie triboeléctrica esquemática, sin duda en forma independiente a la de **Willeke** de 1757. Su correspondencia con **Beccaria** terminaría en 1769 ([34], vol. XIV, p. 70).

1766

Johann Heinrich **Lambert** (1728-1777; Alsacia) postula⁽⁵⁰⁾ que la atracción y la repulsión magnéticas obedecen la ley del inverso de los cuadrados ([49], vol. I, p. 57).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos), en un experimento muy similar al que realizara en 1754, estudia la distribución de la carga eléctrica en la superficie de una lata de metal, colocada sobre una base aislante. Observa que cuando se colocan esferas de corcho dentro de la lata fuertemente electrizada, éstas quedan completamente intactas, mientras que cuando están fuera de la lata son atraídas de la manera usual. Es decir, descubre que la carga reside completamente en la superficie exterior de un conductor hueco. Al principio no puede explicar las razones de este comportamiento, pero luego concluye que la simetría del fenómeno provoca una repulsión mutua que hace que cualquier carga de la superficie interior se mueva hacia el exterior. Acude a su amigo **Priestley** para pedirle que verifique este fenómeno ([7], p. 203; [34], vol. V, p. 135).

Lane inventa un electrómetro cuantitativo que sirve como base para el desarrollo de electrómetros más avanzados que utilizan, por ejemplo, un tornillo micrométrico para medir la longitud de la chispa ([16], p. 235).

La actividad científica más importante de **Benjamin Wilson** (1721-1788; Inglaterra) es su posición contraria al punto de vista de **Franklin** sobre la forma geométrica de la punta de los pararrayos. **Wilson** argumenta que, en efecto, los objetos puntiagudos atraen el fluido eléctrico y que, por lo mismo, si se colocan pararrayos puntiagudos en los edificios, se incrementa la posibilidad de que el rayo caiga en el edificio, provocando grandes daños. Por el contrario, si los pararrayos terminan en una forma redonda, esta posibilidad disminuye. Mantendría este punto de vista por el resto de su vida ([34], vol. XIV, p. 419).

Torbern Olof Bergman (1735-1784; Suecia), siguiendo los trabajos de **Aepinus**, investiga la piroelectricidad en la turmalina y muestra que los efectos no dependen de la temperatura del cristal, sino de los cambios en la temperatura. El cristal permanece neutro a cualquier temperatura fija. Al momento de calentar el cristal, uno de sus extremos tiene carga positiva y el otro negativa. Cuando el material se enfría, su polaridad se invierte ([16], p. 243; [25], pp. 55-56). **Benjamin Wilson** (1721-1788; Inglaterra) y **John Canton** (1718-1772; Inglaterra),

⁵⁰⁾ *Histoire de l'Académie de Berlin*.

(continúa 1766)

forma independiente, también descubren este fenómeno, pero ninguno de los tres puede dar una explicación satisfactoria (véase **Halléy**, 1785) (*[34]*, vol. II, p. 5).

Jan Ingen-Housz (1730-1799; Países Bajos) inventa una máquina eléctrica, en la cual utiliza, por primera vez, un disco de vidrio giratorio en lugar de los cilindros o globos (véase **Ramsden**, 1767). Participa también en la controversia sobre la conveniencia de emplear pararrayos puntiagudos (teoría propuesta por **Franklin**) o los no puntiagudos (de **Wilson**). A menudo da consejos a los gobiernos en el sentido de proteger los edificios con pararrayos (*[25]*, p. 56; *[34]*, vol. VII, p. 13).

Gowan (o Gowin) Knight (ca. 1713-1772; Inglaterra) obtiene la primera patente concedida en el campo de la electricidad y magnetismo, por un dispositivo que mejora las brújulas de los barcos al no verse afectadas por el movimiento de los mismos (*[25]*, p. 55).

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) inventa una brújula de inclinación, la cual utiliza en un viaje que realiza a China. Alentado por su buen funcionamiento, comienza a tomar mediciones confiables de la inclinación magnética, comparadas con las existentes realizadas con otros instrumentos (*[34]*, vol. XIV, p. 354).

Wilcke muestra además que una aguja de hierro dulce se puede magnetizar de forma natural si se coloca en el meridiano magnético, o de forma artificial si se sitúa cerca de un imán natural muy poderoso. En ambos casos la magnetización resulta más fácil si primero se hace pasar una descarga de una botella de Leyden por la aguja. **Wilcke** explica que la descarga ayuda a reacomodar las partes internas de la aguja (*[34]*, vol. XIV, p. 354).

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) publica⁵¹⁾ una discusión sobre el fósforo de mercurio y un examen crítico sobre las teorías magnéticas de **J. T. Mayer** (véase 1760) (*[34]*, vol. I, pp. 67-68).

ca. 1767

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia), quien desde 1758 abandonara sus investigaciones sobre los fenómenos eléctricos, vuelve a interesarse en ellos luego de conocer los resultados de **Cigna** (véase 1765) sobre los dispositivos experimentales para analizar la teoría dualista de **Symmer**. **Beccaria** repite cuidadosamente los experimentos, aprovechando toda su pericia, inventiva y energía, principalmente porque parecen apoyar la teoría antifrankliniana de los dos fluidos. El fenómeno más notorio y delicado que investiga, el cual se basa en la inducción de la capa de cargas residuales que quedan en los dieléctricos después de descargar un condensador, requiere algo más que el sistema de **Franklin** para su explicación. **Beccaria**, quien no admite la acción a distancia, suple esta deficiencia con un complicado esquema de atmósferas eléctricas y electricidades *reivindicativas* o regenerativas: las electricidades contrarias se destruyen mutuamente en la unión de un aislante cargado con un conductor momentáneamente aterrizado, sólo para reaparecer, *reivindicadas*, en separaciones subsecuentes (*[34]*, vol. I, p. 547, vol. X, p. 147 y vol. XIV, p. 70).

Martin Plantá von Sils (1727-1772; Suiza) inventa, en forma independiente de **Ingen-Housz** (véase 1766) y de **Ramsden** (véase 1767), una máquina eléctrica en la que reemplaza los globos o cilindros de vidrio por un disco de vidrio (*[25]*, p. 56).

51) *Novi Commentarii*, de la Academia Imperial de San Petersburgo (1766-1767).

(continúa ca 1767)

Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810; Francia) inventa el aislante de vidrio e introduce un disco de vidrio -que reemplaza a los globos o cilindros de vidrio- para emplearse en los generadores electrostáticos, independientemente de Ingen-Housz (véase 1766), Plantá von Sils (véase arriba) y de Ramsden (véase 1767) ([34], vol. XII, p. 427).

1767

Joseph Priestley (1733-1804; Inglaterra), motivado y apoyado económicamente por Franklin, escribe *The History and Present State of Electricity. With Original Experiments* (Historia y estado actual de la electricidad, con experimentos originales) y *Familiar Introduction to the Study of Electricity* (Introducción familiar al estudio de la electricidad). Se adhiere a la teoría eléctrica de un único fluido de Franklin; sin embargo, sus experimentos posteriores lo llevan a dudar de la existencia de tal fluido. En el prefacio de su obra apunta explícitamente que la electricidad, la óptica y la química se combinan para revelar la estructura interna de los cuerpos. A partir de la literatura que recibe para escribir su historia, empieza a interesarse en realizar él mismo los experimentos, los cuales irá incluyendo en las ediciones posteriores del libro. Dichos experimentos están relacionados principalmente con las conductividades de diferentes sustancias, aun cuando también examina otras formas del movimiento del fluido eléctrico. Descubre que el carbón vegetal y las sales metálicas conducen la electricidad y nota que existe una relación entre la electricidad y los cambios químicos. En una tabla clasifica los metales de acuerdo con su conductividad y es el primero en darse cuenta de las marcas distintivas que dejan las descargas eléctricas en la superficie de los metales⁵². Además, encuentra que teniendo dos varas de metal separadas 5 cm en el vacío, al saltar una chispa se puede observar una luz azul pálido o púrpura en la separación. También investiga el fenómeno del viento eléctrico.

Por otro lado, respondiendo a la petición que Franklin le hiciera el año pasado, Priestley demuestra que un conductor hueco electrizado no tiene carga en la superficie interior y que las fuerzas eléctricas dentro de la cavidad son siempre nulas. A partir de este resultado realiza una de sus más importantes contribuciones a la ciencia. Argumenta que, basándose en las simetrías análogas entre un cilindro (experimento de Franklin) y una esfera, y siguiendo los razonamientos de Newton, enunciados en sus *Principia*, se puede concluir que las leyes de la electricidad pueden ser semejantes a las de la gravitación y, por lo tanto, la fuerza mutua ejercida entre cargas separadas varía inversamente con el cuadrado de la distancia de separación (véase J. T. Mayer, 1760) ([1]; [3], vol. 9, pp. 697-698; [7], p. 204; [8], vol. IX, p. 522; [25], p. 56; [34], vol. XI, pp. 141-146; [45], p. 354).

Una máquina eléctrica con una ventanita de vidrio se convierte en juguete de moda ([1]).

Jesse Ramsden (1735-1800; Inglaterra) inventa una máquina eléctrica en la que emplea una placa de vidrio en lugar del globo de vidrio tradicional (al parecer independientemente de Ingen-Housz en 1766 y de Plantá von Sils ca. 1767) ([25], p. 56).

Joseph Bozulus sugiere un telégrafo que se basa en la observación visual de las descargas eléctricas recibidas. La información está codificada mediante chispas largas y cortas. Su objetivo es el de crear un telégrafo más eficiente. Parece ser que escribe varios versos en latín que describen dicho telégrafo, sin

⁵²) Llamadas ahora anillos de Priestley.

(continúa 1767)

embargo, nunca explica la manera de traducir las descargas en letras y palabras ([18], p. 69; [25], p. 56).

Horace Bénédicte de Saussure (1740-1799; Suiza) completa una expedición al Mont Blanc (la montaña más alta de los Alpes, cerca de la frontera franco-italiana), en la que realiza experimentos sobre el calor y el frío, el peso de la atmósfera y fenómenos eléctricos y magnéticos. Para estos últimos, construye uno de los primeros electrómetros ([34], vol. XII, p. 120).

1768

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) escribe "Historien om Tourmalin" ("Historia de la turmalina")⁵³, un estudio muy detallado de los diferentes casos que establecen la validez de las concepciones de Aepinus sobre los polos eléctricos e incluye muchas correcciones de errores previos.

Publica "Försök til en magnetisk inclinations-charta"⁵⁴, mapa isoclinal sistemático que muestra el ecuador magnético terrestre e indica las posiciones de los polos magnéticos terrestres, mismas que se aproximan a las obtenidas al graficar la declinación magnética. Dicho trabajo es resultado de su recolección de datos sobre la inclinación magnética, iniciada en 1766 ([34], vol. XIV, pp. 353 y 354).

Horace Bénédicte de Saussure (1740-1799; Suiza) conoce a Franklin, con quien discute sobre los fenómenos eléctricos ([34], vol. XII, p. 120).

ca. 1769

John Robison (1739-1805; Escocia) inventa un electroscopio ([49], p. 53).

1769

John Robison (1739-1805; Escocia) escribe un artículo (que lo publicaría hasta 1801) en el que determina, en forma estrictamente experimental, que la atracción y la repulsión eléctricas siguen una ley del inverso del cuadrado. Utiliza un electrómetro de su invención y encuentra que la repulsión es inversamente proporcional a la distancia elevada a la 2.06; y que la atracción es ligeramente menor a la segunda potencia ([34], vol. XI, p. 495). De aquí concluye que lo correcto es emplear el inverso del cuadrado de la distancia ([49], p. 53).

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia) escribe *Experimenta atque observationes quibus electricitas vindex late constituitur atque explicatur*, en el cual expone con claridad las ideas sobre la electricidad generadas a partir de 1765; en particular su sistema de electricidades reivindicadas (véase ca. 1767) ([34], vol. I, p. 548).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica su libro *De vi attractiva ignis electrici*, donde explica diferentes experimentos concernientes a la obtención de cargas eléctricas a partir de varios metales ([25], p. 56). Con esta obra, Volta da por terminada la correspondencia con Beccaria (iniciada 1765). Volta reinterpreta las teorías de Franklin, así como los últimos experimentos de Beccaria, en términos de un único principio atractivo. Observa que la materia eléctrica frankliniana no puede ser, por sí misma, la causa de los movimientos eléctricos, ya que va unidireccionalmente de exceso a carencia, mientras que en casi todos los experimentos comunes, como Nollet lo ha enfatizado, el mismo cuerpo electrificado provoca atracciones y repulsiones. El

⁵³) Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar, 27 (Suecia) y Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen aus der Naturlehre, 29 (Alemania).

⁵⁴) Kungliga Svenska vetenskapsakademiens handlingar, 29 (Suecia) y Der königl. schwedischen Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen aus der Naturlehre, 30 (Alemania).

(continúa 1769)

efluvio tampoco puede operar indirectamente, empujando el aire, para que la atracción tenga lugar entre cuerpos sumergidos en aceite (experimento que realiza sin conocimiento del de Cigna). Por lo tanto, uno debe admitir las fuerzas atractivas de corto alcance.

El concepto fundamental de **Volta** es la existencia de un estado de saturación para cada cuerpo, en el cual las atracciones integradas de sus partículas para el fluido eléctrico, están precisamente satisfechas. Este estado puede ser alterado por cualquier proceso, mecánico o químico, que provoque un desplazamiento relativo de cada partícula con respecto a las otras. **Volta** piensa que la fricción, la presión y probablemente la evaporación, hacen que las cuerpos se electrifiquen al destruir el patrón de fuerzas saturadas, redistribuyendo así el fluido eléctrico. También explica algunos fenómenos inductivos, en los que se aprecia la semilla de su electróforo de 1775.

Muy pronto **Volta** se da cuenta de que una sola fuerza atractiva no es suficiente para explicar algunos fenómenos simples, tales como la diferencia entre aislantes y conductores o la electrificación de la botella de Leyden, sin embargo, sigue utilizando ese concepto como guía y le atribuye la explicación de muchos fenómenos eléctricos ([34], vol. XIV, pp. 70-71).

Giovanni Francesco Cigna (1734-1790; Italia) concluye, a partir de sus experimentos basados en la teoría dualista de **Symmer**, las sugerencias propuestas por **Nallet** y sus propias experiencias, que estos experimentos no permiten decidirse en favor de alguna de las dos teorías eléctricas en boga, la dualista de **Symmer** o la de un fluido de **Franklin** ([34], vol. XIII, p. 225).

John Cutliberson (fl. 2ª mitad del siglo 18; Países Bajos e Inglaterra), en un libro sobre electricidad y magnetismo, informa sobre los resultados de algunos experimentos en los que varios alambres de hierro de diferentes longitudes se funden por el paso de la electricidad de una botella de Leyden ([18], p. 34).

G. W. Schilling, en una carta dirigida a la *Academia de Berlín*, describe varios experimentos con anguilas eléctricas. Argumenta que puede sentir que un pedazo de hierro tiembla cuando se acerca a la anguila, al estar el hierro en reposo. Una brújula, dice **Schilling**, muestra una desviación hacia adentro o hacia afuera del tanque, cuando se acerca al animal ([25], p. 56).

La Catedral de San Pablo, en Londres, Inglaterra, queda protegida por medio de pararrayos ([18], p. 26; [25], p. 56).

1770

Los científicos del último tercio del siglo 18 están convencidos de que la fuerza eléctrica entre dos partículas electrizadas, la fuerza magnética entre dos polos magnéticos y la atracción gravitacional entre dos partículas materiales, están sujetas a la ley del inverso de los cuadrados de las distancias; aun cuando nadie ha logrado probar esta afirmación ([7], p. 204).

James Ferguson (1710-1776, Escocia) publica *Introduction to Electricity* (*Introducción a la electricidad*) ([40], p. 557).

1771

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra), guiado por su conocimiento de los gases o aires elásticos, publica "An Attempt to Explain Some of the Principal Phenomena of Electricity, by Means of an Electric Fluid"

(continúa 1771)

("Intento para explicar algunos de los principales fenómenos de la electricidad, mediante un fluido eléctrico")⁵⁵⁾. En dicho artículo **Cavendish** trata de derivar una teoría matemática de la electrostática basada en la tesis de un único fluido de **Franklin** ([25], p. 57). En un bosquejo preliminar, introduce el término *compresión* para referirse al estado de tensión del fluido eléctrico. Aun cuando omite esta expresión en su trabajo publicado, conserva la noción de que el fluido eléctrico dentro del cuerpo se asemeja al aire comprimido en un recipiente. Esta es la idea central de su teoría; realiza mediciones tanto cualitativas como cuantitativas del fluido. También hace hincapié en las diferencias existentes entre los fluidos elásticos de la electricidad y del aire. Demuestra que las partículas del fluido eléctrico no obedecen la *ley de Newton* del inverso de la primera potencia de la fuerza entre las partículas del aire. Al estudiar los aspectos relacionados con la compresibilidad del aire, su gran habilidad experimental le había ayudado a modificar la noción de que existe un sólo y verdadero aire. En esta ocasión, también, su pericia en el laboratorio le ayuda a demostrar que, en oposición a la creencia popular, existen fluidos elásticos en la naturaleza que deben representarse por diferentes leyes de fuerzas. **Cavendish** logra poner totalmente en términos matemáticos sólo uno de los fluidos, el eléctrico; los fluidos elásticos del aire resultan demasiado complejos. Postula que las partículas del fluido eléctrico se repelen entre sí y atraen las partículas de toda la demás materia, con una fuerza que varía inversamente a alguna potencia de la distancia de separación, potencia que debe ser menor que el cubo. De una manera simétrica, las partículas de la materia restante se repelen mutuamente, mientras que atraen las partículas del fluido eléctrico, obedeciendo la misma ley. Para algunos fenómenos, **Cavendish** deduce, mas no publica, la ley exacta de la atracción y repulsión entre partículas y, a partir de ésta, deriva una gran cantidad de nuevos fenómenos eléctricos cuantitativos. Su predicción más notable está enterrada en un manuscrito y se refiere al cálculo y confirmación experimental de las cantidades precisas de fluido eléctrico que los cuerpos de diferentes formas geométricas y tamaños pueden tener a cualquier tensión eléctrica. Estos últimos experimentos, junto con su desarrollo teórico, constituyen el diseño de un tratado que nunca llegaría a concluir ([34], vol. II, p. 157).

Introduce los conceptos de las cantidades macroscópicas *tensión y capacidad* ([34], vol. XIV, p. 72).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio **Volta** (1745-1827; Italia) publica el libro *Novus ac simplicissimus electricorum tentaminum apparatus* ([34], vol. XIV, p. 81).

Joseph-Aignan **Sigaud de Lafond** (1730-1810; Francia) publica *Traité d'électricité [...] (Tratado de electricidad [...])* ([34], vol. XII, p. 428).

Según algunos autores, Luigi **Galvani** (1737-1798; Italia) comienza a interesarse en la electrofisiología ([1]; [25], p. 57).

DEPRESIÓN (1772-1786)

ca. 1772

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) sugiere que la capacidad de un conductor se puede incrementar hasta igualarla a la de una botella de Leyden ([34], vol. XIV, p. 72).

⁵⁵⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 61.

1772

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia) publica su mayor contribución a la electricidad, *Elettricismo artificiale* (*Electricidad artificial*), un compendio difícil y prolijo sobre sus trabajos y concepciones en el campo de la electricidad, explicados con la ayuda de los principios franklinianos. Enfatiza, con mayor ahínco que nunca, su extraño punto de vista de las electricidades contrarias *reivindicadas* (véase ca. 1667). Además, Beccaria critica la hipótesis de la fuerza atractiva única, sin dignarse mencionar a Volta, quien la propusiera en 1769 ([34], vol. I, p. 548 y vol. XII, p. 70).

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) encuentra que una solución saturada de sal marina conduce la electricidad 720 veces mejor que el agua fresca y que la electricidad experimenta tanta resistencia al pasar por una columna de agua de 2.5 cm de largo, como al pasar por un alambre del mismo diámetro y 10,000 km de largo ([18], p. 30).

Edward Nairne (1726-1806; Inglaterra) construye la primera máquina eléctrica capaz de recibir dos corrientes de electricidad en forma simultánea y que puede producir cargas positivas o negativas. Utiliza un cilindro de vidrio en lugar de los clásicos globos o platos, además de usar dos conductores primarios. La aceptación que tiene es inmediata ([6], p. 223; [25], p. 65; [34], vol. LX, p. 607).

Se observa que durante una tormenta, los pararrayos de la Catedral de San Pablo, en Londres, Inglaterra, instalados en 1769 y formados con barras de acero de 10 cm de ancho y 1.25 cm de grueso, se calientan al rojo vivo ([18], p. 34).

William Henley (?-ca. 1779; Inglaterra), creyendo que un cuerpo puntiagudo es mejor conductor que uno chato, construye un electrómetro de aguja. Escribe un panfleto en el cual describe las diferentes eficacias de ambos tipos de conductores para proteger los edificios de los rayos ([40], p. 785).

Giuseppe Toaldo (1719-1798; Italia) publica *Della maniera di difendere gli edifici dal fume* (*De la forma de defender a los edificios del fuego*) ([40], p. 1676).

John Hood (1720-1783; Irlanda) publica *Tables of Difference of Latitude and Departure for Navigators, Land Surveyors [...]* (*Tablas de diferencia de latitud y salidas para navegantes [...]*) en el cual describe la variación diurna de la brújula y la manera de corregirla. Inventa la brújula teodolito de Hood⁵⁶⁾ ([40], p. 823).

Gowan (o Gowin) Knight (1713-1772; Inglaterra) construye núcleos de polvo de hierro (comprimido), consistentes en limaduras de hierro agitadas en agua, aglutinadas con aceite de linaza, moldeadas y cocidas en fuego. Los núcleos se utilizarían en las brújulas de la Armada Británica. Los detalles del proceso no se publicarían sino hasta 1779 ([52], p. 42).

Jan Hendrik van Swinden (1746-1823; Países Bajos) publica *Tentamen de magneet*, en el que expone su teoría matemática del magnetismo ([34], vol. XIII, p. 183).

⁵⁶⁾ Precursor de los modernos teodolitos: instrumento de navegación empleado para medir ángulos horizontales y verticales con un pequeño telescopio que puede moverse en planos horizontales y verticales.

- 1773 Benjamin Franklin (1706-1790, Estados Unidos) escribe sobre la inversión de la polaridad de una aguja magnetizada por medio de una corriente eléctrica (véase Dalibard, 1756) y señala que, a su parecer, la electricidad y el magnetismo no tienen conexión y que este efecto es puramente accidental ([34], vol. III, p. 535).
- John Walsh (1725-1795) y Jan Ingen-Housz (1730-1799; Países Bajos) concluyen, a partir de sus experimentos, que la anguila eléctrica y el pez torpedo (*Torpedo marmorata*) tienen electricidad animal. Esto lo describen en "Some Experiments on the Torpedo, Made at Leghorn, January 1, 1773 [...]" ("Algunos experimentos con el Torpedo, realizados en Leghorn, Enero 1, 1773 [...]"⁵⁷⁾ ([16], p. 244; [25], p. 58; [34], vol. VII, p. 14; [45], p. 355). Escriben que agarrando al pez por ambos lados se recibe un choque eléctrico. Este informe, dirigido a Franklin, es la primera cita de que la naturaleza eléctrica del pez es aceptada ya como contundente ([40], p. 1753).
- Louis Odier (1748-1817; Suiza) escribe un artículo titulado "Odier's Telegraph" ("El telégrafo de Odier")⁵⁸⁾, en el cual señala que en una carta escrita a una amiga se refiere a ciertos experimentos que ha ideado para que la gente se comunique a larga distancia. Sin embargo, nunca llevaría a la práctica tales pensamientos ([18], p. 70).
- 1773-75 John Hunter (1728-1793; Inglaterra) estudia los efectos que producen el pez torpedo (*Torpedo marmorata*) y la anguila eléctrica o *Gymnotus* ([45], p. 355).
- 1774 Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) investiga las propiedades que tienen algunos materiales para conducir la electricidad. Realiza además algunos experimentos, a partir de la sugerencia de Priestley (véase 1767) respecto a la forma de la fuerza entre cargas eléctricas, y llega a la misma conclusión, con una pequeña, pero importante, modificación que sería refinada aún más por Maxwell en 1878 ([3], vol. 18, p. 203; [8], vol. IX, p. 522).
- ca. 1775 La Academia de Baviera, Alemania, ofrece un premio para la mejor disertación sobre la respuesta a la pregunta: ¿Existe una analogía real y física entre la fuerza eléctrica y la magnética? ([25], p. 58).
- Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) determina que la capacidad de un condensador depende de la sustancia que se pone entre las placas ([3], vol. 2, p. 973).
- Georges Louis Lesage (1724-1803; Suiza) utiliza electricidad por fricción (electricidad estática) para transmitir señales a larga distancia, siendo éste el primer intento serio para construir un telégrafo. El sistema requiere 24 líneas, una por cada letra, cada una de las cuales termina en un electrómetro simple de esferas de médula de saúco. Pasa los alambres por un tubo de barro enterrado, el cual tiene unas divisiones a intervalos regulares para mantener separados los alambres. Se logran transmitir algunas señales inteligibles a corta distancia ([16], p. 347; [18], p. 69; [25], p. 58).

⁵⁷⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 65, (1773-1775).

⁵⁸⁾ Al parecer, dicho trabajo es uno de los que motivaron a Galvani a interesarse, hacia 1775, en los efectos eléctricos sobre las ancas de las ranas disecadas.

⁵⁹⁾ Según Fahle, en su *History of Electric Telegraphy*.

1775

George Christoph Lichtenberg (1742-1799, Alemania) publica, en Göttingen, Alemania, su trabajo *Opera Inedita Tobiae Mayeri (Obra inédita de Tobias Mayer)*, que contiene parte de los trabajos de J. T. Mayer (véase 1760) ([34], vol. IX, p. 234; [49], vol. I, p. 57).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) responde a las opiniones de Beccaria del período 1769 y 1772. Piensa que si logra incrementar la duración de los efectos atribuidos a las electricidades reivindicadas, esta hipótesis se derrumbará. Después de muchos intentos, encuentra que un material compuesto por tres partes de trementina, dos de resina y una de cera, satisface perfectamente sus requisitos.

En junio, Volta informa a Priestley, en "Lettera [...] al dott. Giuseppe Priestley [sull'elettroforo perpetuo]" ("Carta [...] al Dr. J. Priestley [sobre el electróforo perpetuo]")⁽⁶⁰⁾, el invento de su electróforo, instrumento tan importante como la botella de Leyden para el desarrollo de la teoría eléctrica. Este dispositivo es un objeto de resina en forma de plato que se electrifica frotándolo o golpeándolo con franela o seda. Sobre el plato hay un disco metálico con asa aislante. El disco se descarga mientras está en contacto con la resina; cuando el disco se separa queda cargado, conservando la carga por algún tiempo ([18], p. 29; [34], vol. XIII, p. 225 y vol. XIV, p. 71; [51], p. 4).

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) mide la *capacidad inductiva específica* (aunque él no utiliza este término) de varias sustancias. Este hecho es uno de los primeros intentos de mediciones eléctricas. Sus esfuerzos por entender este fenómeno, el cual parece contradecir su teoría, lo desvían de su intención original de terminar el diseño del manuscrito concebido en 1771. También trata de establecer las leyes estáticas y dinámicas del fluido eléctrico. Intenta, en vano, encontrar una relación entre la fuerza, la resistencia y la velocidad del fluido, en su paso a través de diferentes sustancias. Todo su esfuerzo se esfuma en experimentos inconclusos sobre las conductividades ([34], vol. II, p. 157). Por otro lado, enuncia las leyes de división de la corriente eléctrica en circuitos paralelos, aunque generalmente se le da el crédito a Wheatstone por este enunciado ([25], p. 39).

Giambattista Beccaria (1716-1781; Italia) publica un pequeño volumen titulado *Dell'elettricità terrestre atmosferica a cielo sereno (Sobre la electricidad terrestre atmosférica en climas buenos)*, sobre la electricidad atmosférica en climas buenos ([34], vol. I, p. 548).

Los primeros trabajos de Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra), quien vive en Londres, Inglaterra, desde 1771, están relacionados con la electricidad atmosférica. Realiza diversos experimentos con los papalotes de Franklin y con mejores detectores de su propia invención. Estos instrumentos siguen el modelo de los electros copios de esferas de médula de Canton (véase Canton, 1754). Una de las pocas conclusiones a las que llega en esta época es que la lluvia lleva a menudo carga negativa ([34], vol. II, p. 153).

La obra de Felice Fontana (1730-1805; Italia), *De irritabilitatis legibus, nunc primum sanatis, et de spirituum animalium in movendis musculis inefficacia*, es traducida al italiano con el título *Ricerche filosofiche sopra la fisica animale (Investigación filosófica sobre la física animal)*. En un principio, Fontana no acepta la idea de identificar el flujo nervioso con la electricidad. Sin embargo,

⁽⁶⁰⁾ Scelta d'opuscoli interessanti, 9, pp. 91-107 y 10, pp. 87-113.

(continúa 1775)

como resultado de su investigación, gradualmente va cambiando su parecer hasta que, finalmente, llega a pensar en términos de un fluido eléctrico, y concluye que los nervios son órganos destinados a conducir dicho fluido e, incluso, a excitarlo. Esta es, tal vez, la primera sugerencia acerca de que la producción de electricidad podría ser excitada por los nervios y no nada más conducida como en los alambres ([34], vol. V, p. 56).

Luigi Galvani (1737-1798; Italia) ha dictado ya varias conferencias sobre temas particulares, tales como la irritabilidad de Haller (en 1772), los movimientos de los músculos de las ranas (en 1773) y el efecto de los narcóticos sobre los nervios de las ranas (en 1774). A partir de la fusión conceptual de estas ideas fisiológicas y las establecidas recientemente por Beccaria, Caldani, Fontana y Laghi sobre la estimulación eléctrica de nervios y músculos, así como de los estudios de Walsh, Ingen-Housz y Hunter sobre la electricidad animal del pez torpedo (*Torpedo marmorata*) y de la anguila eléctrica *Gymnotus*, Galvani centra cada vez más su interés en la electrofisiología (véase 1771), por lo que adquiere un generador electrostático y una botella de Leyden ([3], vol. 5, p. 98; [34], vol. V, p. 267).

1776

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglterra) publica algunos de sus descubrimientos sobre las leyes dinámicas del fluido eléctrico, en un estudio de las propiedades del pez torpedo (*Torpedo marmorata*) ([34], vol. II, p. 157; [45], p. 355).

Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) ha construido ya varias máquinas eléctricas y neumáticas. En colaboración con Gerhard Kuiper, construye un generador que utiliza discos de laca inmersos en mercurio. Describe estas máquinas en *Treatise of Electricity (Tratado de electricidad)* ([6], p. 228; [34], vol. IX, p. 152).

Johann Friedrich Gross (1732-1795) descubre un vacío eléctrico, zona en un cuerpo cargado en la cual no es posible producir chispas ([40], p. 710).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica "Lettera [...] a Giuseppe Klinkosch [...] sulla teoria dell'elettricità vindice e sull'elettroforo perpetuo" ("Carta [...] a J. Klinkosch [...] sobre la teoría de la electricidad reivindicada y sobre el electróforo perpetuo")⁶¹⁾ ([34], vol. XIV, p. 81).

Por otra parte, Volta empieza a experimentar sobre la composición de los gases; aplica descargas eléctricas a mezclas de diversos gases; descubre el gas metano en la descomposición de la biomasa ([34], vol. XIV, p. 75; [58], p. 192).

Aimé Argand (1750-1803; Suiza), médico y químico de Ginebra, Suiza, lee ante la *Académie française de sciences*, de París, Francia, su memoria "Causes de la grêle attribuée à l'électricité" ("Causas del granizo atribuido a la electricidad") ([60], tom. 3, p. 15).

1777

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) y Jan Hendrik van Swinden (1746-1823; Países Bajos) presentan sus primeros escritos sobre sus estudios de las fuerzas de torsión relacionadas con la electricidad y el magnetismo en "Recherches sur la meilleure maniere de fabriquer les aiguilles aimantées" (Investigaciones sobre la mejor manera de fabricar las agujas

⁶¹⁾ *Scelta d'opuscoli interessanti*, 20, pp. 32-67.

(continúa 1777)

imantadas"), trabajo que obtiene el primer lugar de un concurso propuesto por la *Académie française des sciences*, de París, Francia. En el capítulo tres de este artículo, desarrollan la teoría de las torsiones para hilos de seda y para cabellos, siendo los primeros en describir la forma de medir fuerzas extremadamente pequeñas. Al examinar los parámetros que relacionan el ángulo de giro con la longitud, el diámetro y la elasticidad del hilo, muestran que, dentro de ciertos límites angulares, las oscilaciones debidas a la torsión presentan un movimiento armónico simple. En ese rango, la fuerza resulta proporcional al ángulo de giro. Utilizan este resultado para medir pequeñas fuerzas magnéticas. Hacen notar que se puede medir, con su procedimiento, otro tipo de fuerzas, tal como la de los líquidos en movimiento y, eventualmente, logran medir fuerzas menores a 9×10^{-4} dinas. Describen, también en este estudio, una brújula de declinación de torsión ([34], vol. III, p. 443 y vol. XIII, p. 183).

Mediante sus razonamientos, **Coulomb** y **Swinden** desacreditan totalmente la hipótesis cartesiana de los vórtices de la teoría magnética ([49], p. 59).

Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799; Alemania) construye un electróforo gigante y, mientras experimenta con él, descubre que una fuente puntual de electricidad, a la que toca con una placa no conductora, produce ciertas figuras en el polvo, llamadas figuras de **Lichtenberg**; es decir, descubre el primer proceso de registro electrostático, el llamado copiado xerográfico (véase **Carlson**, 1937) ([34], vol. VIII, p. 322; [40], p. 1041).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) culmina sus estudios iniciados hacia 1775 con la publicación de *A Complete Treatise on Electricity in Theory and Practice* (Un tratado completo sobre electricidad en teoría y práctica). Compendio que sirve tanto al neófito como al iniciado en esta ciencia. Entre los temas tratados se encuentran los de medicina eléctrica, las oscuras teorías de **Beccaria** y, lo que es su fuerte, el diseño y operación de instrumentos electrostáticos ([34], vol. II, p. 153). Diseña una versión mejorada del electrómetro, dispositivo que llegaría a ser el instrumento de medición universal para cargas eléctricas por muchos años ([25], p. 60; [35], vol. II, p. 1217).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) propone el uso de una pistola eléctrica para indicar que ha ocurrido un evento en una localidad remota. Propone que se utilice una chispa para disparar la carga cuando se aplique un voltaje en el otro extremo de la línea. La sugerencia que hace respecto al uso de postes de madera para sostener alambres de acero, resulta impráctica para distancias grandes ([25], p. 60).

1778

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica "[Lettera al Saussure] Osservazioni sulla capacità de' conduttori elettrici" ("[Carta a Saussure] Observaciones sobre la capacidad de los conductores eléctricos")⁶²⁾. A diferencia de su trabajo de 1769, en el cual había desarrollado un modelo microscópico de la acción eléctrica, **Volta** aplica nuevos conceptos teóricos al diseño y explicación de los experimentos. Hay razones para creer que tiene oportunidad de leer la memoria de **Cavendish** de 1771, en la cual éste introdujo los conceptos de *capacidad* y *tensión*, de donde obtiene la clave para cambiar su noción inútil de *saturation natural* (1769) por el concepto de *potencial*.

Entre sus conclusiones se pueden citar las siguientes: la capacidad C de un conductor y la tensión T de su carga Q , se modifican dependiendo de la distancia a otros conductores; se cumple la relación $Q=CT$, las *atmósferas* de varios

⁶²⁾ *Opuscoli Scelti sulle scienze e sulle arti* [...], I.

(continúa 1778)

elementos de superficie pueden inhibirse unas a otras; y, por último, para una superficie dada, mientras más largo sea el conductor, mayor es su capacidad.

Cavendish había sugerido (véase 1772) que la capacidad de un solo conductor podría ser incrementada hasta igualarse a la de una botella de Leyden; Volta, en su carta a Saussure de este año, confirma esta suposición.

Al describir sus experimentos, Volta utiliza el término de «atmósferas eléctricas», pero su significado no es el de una materia eléctrica que envuelve al cuerpo, sino solamente el de una esfera de actividad. Poco tiempo después, si es que no antes de esta carta, Volta se libera de la idea de que «algo real» se transmite entre los cuerpos que interactúan eléctricamente, fuera de las conocidas chispas. En algunas ocasiones, representa estas esferas de actividad como un estado del espacio o del aire circundante a los cuerpos cargados, lo cual es una primitiva teoría de campo ([34], vol. XII, pp. 72-73).

Desde hace dos años, Volta ha realizado diversos experimentos sobre la composición de diferentes gases. Entre los métodos utilizados está el de las descargas eléctricas en una mezcla de varios gases. Este año descubre que, después de provocar la chispa en un recipiente con aire inflamable (hidrógeno) y aire común, las paredes de éste se empañan ([34], vol. XII, p. 75).

Jan Ingen-Housz (1730-1799; Países Bajos), en la conferencia bakeriana de este año, explica el fenómeno del electróforo de Volta de 1775, basándose en la teoría de Franklin. Además publica "A Ready Way of Lightning a Candle by a Very Moderate Electric Spark" ("Una manera pronta de iluminar una vela con sólo una chispa eléctrica moderada")⁽⁶³⁾ ([34], vol. VII, p. 13).

Sebald Brugman (o Brugans), trabajando en Leyden, Países Bajos, encuentra que el bismuto y el antimonio repelen cualquier polo de una aguja magnética. Dicho descubrimiento es el primer registro del diamagnetismo ([25], p. 61).

Edward Nairne (1726-1806; Inglaterra) publica "Experiments on Electricity" ("Experimentos sobre electricidad")⁽⁶⁴⁾ ([34], vol. IX, p. 607).

1779

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) publica "Théorie des machines simples" ("Teoría de las máquinas simples"), trabajo sobre los problemas del frotamiento de dos cuerpos, el cual sirve como base para sus teorías sobre la electricidad y el magnetismo. Además, le permite ser aceptado en la *Académie française des sciences*, de París, Francia ([6], pp. 50-52; [25], p. 42).

Johann Rudolf Deiman (1743-1808; Países Bajos) publica *Observations sur l'électricité* (*Observaciones sobre la electricidad*) ([40], p. 433).

J. H. Reimarus instala un pararrayos en Hamburgo, Alemania, pero no acierta a establecer la conexión esencial entre la varilla y tierra (véase Lichtenberg, 1780) ([34], vol. VIII, p. 321).

Charles Stanhope (1753-1816; Inglaterra) publica *Principles of Electricity, Containing divers New Theories and Experiments, together with an Analysis of the Superior Advantage of High and Pointed Conductors* (*Principios de electricidad, que incluye diferentes teorías y experimentos nuevos, junto con un*

⁶³⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 68.

⁶⁴⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 68.

(continúa 1779)

análisis de la ventaja superior de los conductores altos y puntiagudos) ([40], p. 1594).

Benjamin Wilson (1721-1788; Inglaterra) publica un artículo⁽⁶⁵⁾ en el que describe el proceso de fabricación de los núcleos de polvo de hierro de Knight (véase 1772) ([52], p. 42).

Jan Ingen-Housz (1730-1799; Países Bajos) realiza algunos experimentos con imanes artificiales, contruidos de acuerdo con las instrucciones de Knight. Publica "On Some New Methods of Suspending Magnetic Needles" ("Sobre algunos métodos nuevos para suspender las agujas magnéticas")⁽⁶⁶⁾ donde describe sus métodos para amortiguar las vibraciones de las agujas magnéticas y el descubrimiento del paramagnetismo del platino ([34], vol. VII, p. 13).

1780

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia), involucrado en una serie bastante amplia de experimentos eléctricos, se interesa mucho en las investigaciones de Galvani respecto a la contracción eléctrica de los músculos de las ranas. Volta imagina que este efecto puede ser utilizado como un electroscopio muy sensible ([18], p. 30).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) escribe *An Essay on the Theory and Practice of Medical Electricity* (Ensayo sobre la teoría y la práctica de la electricidad médica) ([34], vol. II, p. 154).

Pierre Bertholon (1741-1800; Francia), influido por su amigo Franklin, instala una serie de pararrayos en Lyons, al sur de Francia (véase Bertholon, 1765) ([6], p. 212; [34], vol. II, p. 83; [40], p. 166).

Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799; Alemania) es el primero en Alemania en instalar una versión correcta del pararrayos de Franklin (véase Reimarus, 1779) ([34], vol. VIII, p. 321).

Las notas de Luigi Galvani (1737-1798; Italia) indican que desde los primeros años de esta década su campo de investigación más importante es la electricidad animal. Sus objetos de investigación son la espina dorsal, los nervios crurales y los miembros inferiores de una rana disecada, como una sola unidad. Toca directamente la espina dorsal con un conductor de su máquina eléctrica y observa las contracciones convulsivas de las ancas, las cuales reposan sobre el famoso *cuadro mágico*, o condensador plano, construido con una placa de vidrio recubierta por ambos lados con una lámina metálica. Aparentemente, Galvani trata de encontrar las leyes generales que relacionan la intensidad de las contracciones directamente con la cantidad de fluido eléctrico aplicado e inversamente con la distancia de los nervios y músculos al conductor. Después de repetir muchas veces el experimento, con algunas variaciones complejas del mismo procedimiento básico, Galvani se enfrenta con un resultado realmente inesperado: las ancas se contraen aun cuando éstas estén totalmente alejadas de la máquina y eléctricamente aisladas. En síntesis, descubre que mientras esté tocando el nervio crural con un conductor aterrizado, las ancas de la rana se contraen cada vez que salta una chispa de la máquina, aun cuando ésta no toque directamente a la rana ([3], vol. 5, p. 98; [16], p. 79; [34], vol. I, p. 267).

⁽⁶⁵⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 69.

⁽⁶⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 69.

(continúa 1750)

Johan Carl Willeke (1732-1796; Alemania) publica un artículo sobre los ciclones y las trombas marinas, los cuales, según él, son guiados por la electricidad atmosférica ([34], vol. XIV, p. 353).

1781

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) emplea libremente el concepto de potencial (por entonces llamado grado de electrificación, nombre derivado de la manera en que se mide, al apuntar el ángulo formado por dos hojas de oro de un electrómetro, cuando son cargadas y éstas se repelen mutuamente). Este concepto es bastante conocido en matemáticas, pero nunca se ha usado en conexión con experimentos eléctricos. Surge cuando Cavendish desarrolla la idea de que todos los puntos sobre la superficie de un buen conductor están al mismo potencial, respecto a un punto de referencia común: la Tierra. En una serie de experimentos con varios conductores, descubre que el potencial entre ellos es directamente proporcional a la corriente que circula por ellos⁶⁷⁾. Para estos experimentos no cuenta con el instrumental necesario para realizar las mediciones, por lo que utiliza su propio cuerpo como medidor, estimando la fuerza de la corriente cuando toma los extremos de los electrodos con sus manos y trata de determinar si la descarga llega hasta los dedos, las muñecas o los hombros ([3], vol. 2, p. 975; [25], pp. 61-62).

Joseph-Aignan Sigault de Lafond (1730-1810; Francia) publica *Précis historique et expérimental des phénomènes électriques [...]* (Breviario histórico y experimental de los fenómenos eléctricos [...]) ([34], vol. XII, p. 428).

1782

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827, Italia) da cuerpo a las cantidades macroscópicas de *capacidad* y *tensión* y a la relación implícita que estableciera ($Q=CT$) en 1778, en un instrumento, llamado condensador, para detectar electricidades atmosféricas muy débiles. Enfatiza que la cantidad de carga en un conductor se incrementa como el producto de su tensión por su capacidad y que lo que mide un electrómetro es la tensión. Otros científicos incorporan estos aspectos en sus multiplicadores de cargas débiles, tal como el duplicador de Nicholson.

Este invento significa un paso más hacia el desarrollo de la pila voltaica. Es, esencialmente, su electróforo con un conductor pobre, tal como mármol pulido o madera aceitosa, y consiste en una placa de metal de la cual penden dos hilos, uno al lado del otro, con la finalidad de que se separen cuando estén cargados. Los hilos están dentro de un recipiente de vidrio, el cual tiene una escala para medir la desviación. La placa de metal, situada en la parte superior del recipiente, forma una de las placas de un condensador. Un material aislante sirve como dieléctrico. Una segunda placa de metal, con asa aislante y colocada sobre la primera, completa el condensador. Al cargarlo con un voltaje muy pequeño y separar sus placas, la capacitancia se reduce, al mismo tiempo, que se incrementa el voltaje, haciendo que el movimiento de los hilos sea perceptible ([25], p. 62).

Por otra parte, Volta acepta la suposición frankliniana de que los instrumentos de detección atmosférica miden la deficiencia de fluido eléctrico en la atmósfera inferior. Una de las primeras tareas con su condensador es la de detectar la supuesta electrificación durante los cambios de estado climático, basándose en su hipótesis de 1769, en el sentido de que en los procesos de evaporación se generaba electricidad. Realiza estos experimentos en París, Francia, junto con Antoine-Lauren Lavoisier (1743-1794; Francia) y Pierre Simon Laplace (1749-1827; Francia). En un principio no tienen éxito pero, justo antes de que Volta salga para Londres, Inglaterra, piensan que han logrado su propósito. De acuerdo con Volta, todo depende de los cambios en la capacidad

⁶⁷⁾ Anticipándose a la ley de Ohm de 1827.

(continúa 1782)

eléctrica sufridos por las gotas de agua al pasar del estado líquido a vapor. Lo que detectan es probablemente la electricidad generada por la fricción de las burbujas contra el recipiente. Esta cuestión permanecería sin resolverse durante más de un siglo.

Volta publica "Del modo di render sensibilissima la più debole elettricità"⁶⁸⁾ (*[34]*, vol. XIV, pp. 73-74 y 81).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) publica una segunda edición corregida de su *Treatise on Electricity* (*Tratado sobre electricidad*) de 1777 (*[34]*, vol. II, p. 153).

Cornelius Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840; Países Bajos) monta, en el edificio público del campanario de Doesburg, cerca de Arnhem, el primer pararrayos de los Países Bajos (*[34]*, vol. VII, p. 499).

1783

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) prosigue con un experimento iniciado por Priestley. Hace pasar una chispa eléctrica por una mezcla de aire común y gas inflamable (hidrógeno) y encuentra que parte de la mezcla se condensa en gotas. Concluye, a partir de este proceso de electrólisis, que el agua está compuesta por 2.014 volúmenes de gas inflamable por cada volumen de aire deflogistizado (oxígeno)⁶⁹⁾. Por el mismo método obtiene ácido nítrico y concluye que el aire está formado por oxígeno y nitrógeno (*[8]*, vol. IX, p. 531).

Pierre Bertholon (1741-1800; Francia) publica su segundo libro, *De l'électricité des végétaux* (*De la electricidad de los vegetales*), el cual trata sobre la aplicación de la electricidad al crecimiento de las plantas (véase Mainbray, 1750); utiliza un electrovegetómetro de su invención. Años después escribiría su tercer libro, *De l'électricité du corps humains dans l'état de santé et de maladie* (*De la electricidad del cuerpo humano dentro del estado de salud y de enfermedad*), en el cual clasificaría las enfermedades en eléctricas y no eléctricas, dependiendo de su reacción eléctrica. Entre sus terapias se encuentran la aplicación de electricidad (positiva o negativa), baños eléctricos, chispas eléctricas, descargas eléctricas, etc. (*[6]*, p. 212; *[34]*, vol. II, p. 83; *[40]*, p. 166).

Adrian Paets van Troostwijk (1752-1837; Países Bajos) y Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) publican un artículo sobre el electróforo (*[34]*, vol. XIII, p. 468).

Cornelius Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840; Países Bajos) publica una traducción al holandés de un tratado francés sobre electricidad (*[34]*, vol. VII, p. 499).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica "Mémoire sur les grands avantages d'une espèce d'isolement très imparfait" ("Memoria sobre las grandes ventajas de una especie de aislamiento muy imperfecto")⁷⁰⁾ (*[34]*, vol. XIV, p. 81).

⁶⁸⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 72, pp. 237-280.

⁶⁹⁾ Lo que, en terminología moderna, se conoce como H₂O.

⁷⁰⁾ *Journal de physique*, 22, pp. 325-350 y 23, pp. 3-16, 81-99.

1784

Desde 1780, el Observatorio de París adoptó la brújula de torsión (diseñada en 1777) e hizo la petición para que se resolvieran algunos problemas en las mediciones magnéticas, por lo que Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) se ve obligado a realizar una nueva serie de experimentos. El 9 de septiembre de este año presenta su memoria "Recherches théoriques et expérimentales sur la force de torsion et sur l'élasticité des fils de metal" ("Investigaciones teóricas y experimentales sobre la fuerza de torsión y sobre la elasticidad de los hilos de metal") ([34], vol. III, p. 444).

Por otro lado, la *Académie française des sciences*, de París, había ofrecido un premio para el mejor desarrollo de una brújula de mariner. Coulomb, al competir por dicho premio, inventa la balanza de torsión⁷¹⁾ (véase 1785) ([25], p. 63).

Benjamin Franklin (1706-1790; Estados Unidos), al igual que muchos otros científicos de la época, propone el uso de choques eléctricos para el tratamiento de la parálisis. Sin embargo, no está seguro de hasta qué grado sirven las descargas, ya que él piensa que la fuerza de la creencia es un factor muy importante en la curación. Admite además la posibilidad de que el ejercicio realizado por los pacientes al caminar hasta su casa puede tener ciertas ventajas en el tratamiento ([34], vol. V, p. 138).

Franz Anton Mesmer (1734-1815; Alemania) ha formado un grupo de seguidores (de varios países) convencidos de que el *magnetismo animal* tiene poderes curativos extraordinarios. Inventa un dispositivo similar a una botella de Leyden para realizar sus sesiones, en las cuales utiliza también diversos imanes. El mesmerismo genera un descontento creciente, no tanto por las concepciones en las que se basa, sino por lo estrafalario de los métodos. La *Académie française des sciences* de París, Francia, forma una comisión integrada por doctores y académicos, entre los cuales se encuentran Bailly, Lavoisier y Franklin, para investigar la veracidad del mesmerismo. Su dictamen es que éste no sólo no cura, sino que el fluido mesmérico no existe. Por orden del rey, se publica el informe (bosquejado por Bailly) "Rapport des commissaires chargés par le roi de l'examen du magnetism animal" ("Informe de los comisarios encargados por el rey del examen del magnetismo animal"). El informe significa el fin de las charlatanerías de Mesmer ([34], vol. I, pp. 401 y 402, vol. V, p. 138, y vol. IX, p. 327).

George Adams (el joven) (1750-1795; Inglaterra) publica *An Essay on Electricity, to which is added an Essay on Magnetism* (Ensayo sobre electricidad, al cual es añadido un ensayo sobre magnetismo) ([40], p. 11).

Jan Hendrik van Swinden (1746-1823; Países Bajos) publica *Mémoires sur l'analogie de l'électricité et du magnétisme* (Memorias sobre la analogía de la electricidad y el magnetismo), ganadora del primer lugar. Compara el magnetismo animal de Mesmer (véase arriba) con la electricidad. En 1787, Swinder recibiría la medalla de oro de la Academia de Ciencias Bavara ([34], vol. XIII, p. 183).

71) A través de los años ha surgido una polémica sobre la invención de esta balanza. En el trabajo presentado en este año, Coulomb declara que no conoce a nadie que lo haya precedido en este tipo de estudios. Numerosas fuentes secundarias han citado a Michell como el inventor de dicha balanza. Sin embargo, en ningún artículo escrito por Michell existe mención alguna sobre este dispositivo. Por otra parte, se ha dicho que Cavendish, en su artículo "Experiments on the Density of the Earth", aparecido en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* de 1798, confirma las demandas de Michell, pero lo que realmente está escrito es que Michell le menciona a Cavendish su idea de una balanza de torsión antes de la publicación de los estudios de Coulomb. Según Cavendish, Michell no construye tal balanza sino hasta un poco antes de su muerte, ocurrida en 1793 ([34], vol. III, p. 446).

(continúa 1784)

Richard Kirwan (1733[?]-1812; Irlanda) informa⁷²⁾ que el papel de tornasol se enrojece cuando se le aplica una chispa eléctrica. Morse, Davy, Bain y otros toman esta idea para el desarrollo de registradores de telégrafos ([25], p. 63).

1785

Henry Cavendish (1731-1810; Francia-Inglaterra) prueba que la intensidad eléctrica dentro de un conductor es nula. Esta condición resulta necesaria si se quiere aplicar la ley del inverso del cuadrado a las cargas eléctricas ([25], p. 64).

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) inventa su electrómetro de balanza de torsión. Consiste en un largo hilo de seda que en su extremo inferior sostiene una paja balanceada cubierta con lacre. La paja gira dentro de un tubo de vidrio, de diámetro grande, con los grados marcados sobre la superficie cilíndrica. El hilo de seda está fijo a una cabeza de torsión giratoria en el extremo superior de un tubo de vidrio, de diámetro pequeño, extensión del cilindro. Cada grado del círculo expresa una fuerza de un cienmilésimo de un grado inglés. Con una sola fibra de seda de 10 cm de largo, la paja gira 90° al acercar lacre frotado a una distancia de 1 m (véase 1784) ([18], pp. 292-292).

Coulomb publica su primera memoria para la *Académie française des sciences*, de París, Francia, en la que presenta la balanza de torsión. Muestra que para el caso estático de dos cuerpos con carga opuesta la fuerza de repulsión obedece la ley del inverso de los cuadrados. Se limita al caso repulsivo ya que, dado que la torsión varía linealmente con la distancia, en el caso atractivo su dispositivo es inestable (en casi todos los casos, al acercarse con rapidez, las esferas de médula de la balanza se descargan, por lo que el experimento se nulifica) ([34], vol. III, p. 444).

Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) pide a Cuthbertson que fabrique el generador más grande de la época. Piensa que con los resultados obtenidos, se podrá llegar a establecer orden dentro del caos prevaleciente en los conceptos sobre la misteriosa *materia eléctrica*. Describe sus experimentos, incluidos los realizados con una gran batería de botellas de Leyden, en *Verhandelingen uitgeven door Teyler's tweede Genootschap* (1785, 1878, 1795). Concluye que la teoría de un sólo fluido, de Franklin es correcta ([34], vol. IX, p. 152).

John Cuthbertson (fl. 2ª mitad del siglo 18; Países Bajos e Inglaterra) termina de construir el generador electrostático más grande de esta época, pedido por van Marum. Es un aparato con dos discos de más de metro y medio de diámetro. La corriente producida puede fundir alambres finos. Esta máquina se utiliza para realizar las primeras evaluaciones respecto a la conductividad relativa de alambres de diferentes materiales. Las chispas que se generan llegan a medir hasta 60 cm de longitud ([25], p. 63; [40], p. 398).

Jan Hendrik van Swinden (1746-1823; Países Bajos) y Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) experimentan con la influencia de las descargas eléctricas sobre los imanes, empleando el gran generador electrostático del *Teylers Stichting*, de Haarlem, Países Bajos (véase arriba). Repiten los experimentos de Beccaria y otros investigadores y se dan cuenta de que cuando se colocan barras de hierro dulce o acero perpendiculares a la línea de descarga, la fuerza magnética resultante es mayor que cuando se colocan paralelas a la dirección de la descarga. Este fenómeno se podría explicar sólo hasta después de los trabajos de Ampère de 1820 ([34], vol. XIII, p. 183).

⁷²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

(continúa 1785)

René-Just Haüy (1743-1822; Francia) es el primero en dar una explicación satisfactoria del efecto piroeléctrico descubierto por Bergman en 1766 (el efecto piroeléctrico se da sólo cuando hay un cambio de temperatura en la turmalina), al relacionar la estructura del cristal con las propiedades eléctricas ([34], vol. II, p. 5).

Johan Carl Wilcke (1732-1796; Alemania) vuelve a publicar un artículo sobre los ciclones y las trombas marinas, los cuales, según él, son guiados por la electricidad atmosférica (véase 1780) ([34], vol. XIV, p. 353).

1785-86

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) publica *Cuatro disertaciones sobre la electricidad y el magnetismo*, en las cuales da a conocer los resultados acerca de la fuerza electrostática⁷³⁾. Los trabajos son continuación de las investigaciones de Priestley sobre la ley de repulsión, estimada en 1767 ([3], vol. 3, p. 675; [6], pp. 50-52).

1786

Abraham Bennet (1750-1799; Inglaterra) construye un electrómetro o electroscopio, el cual consiste de dos hojas delgadas de oro, por lo que se le llama *Gold Leaf Electroscope*. Este es el electroscopio más sensitivo construido hasta entonces⁷⁴⁾ ([16], p. 235; [25], p. 64; [45], p. 354).

Al estar realizando una de las disecciones de las ranas, durante una tormenta eléctrica, accidentalmente uno de los ayudantes de Luigi Galvani (1737-1798; Italia) toca el nervio lumbar del anca de la rana con el bisturí y una terminal de su máquina eléctrica. De inmediato el anca empieza a contraerse violentamente. Otro de sus ayudantes observa que el mismo fenómeno se produce cuando una chispa eléctrica toca los músculos de la rana. Al realizar algunos experimentos para probar su hipótesis, Galvani queda convencido de que las contracciones están relacionadas con la actividad eléctrica de la atmósfera. Más extraño aún, descubre que las contracciones ocurren inclusive sin la necesidad de una descarga eléctrica de la atmósfera. En un experimento realizado en el jardín de su casa, coloca sus preparaciones de tal forma que las espinas dorsales quedan colgando, por medio de unos ganchos de latón, de un riel de hierro. Observa que las contracciones se producen aun en días despejados. Después puede lograr las contracciones sin la ayuda del generador eléctrico, haciendo presión sobre los ganchos para que toquen el riel. En su laboratorio, las contracciones se presentan cuando utiliza objetos de metal y no con vidrios o resinas y estas contracciones parecen más intensas con determinados metales. En resumen, las contracciones pueden ocurrir durante una tormenta eléctrica, con la ayuda del generador eléctrico o simplemente por el contacto metálico entre los músculos del anca y los nervios que llegan a éstos. Por consiguiente, sustituye la máquina eléctrica por un arco metálico que conecta los ganchos de latón por un lado y, con el otro extremo, toca los músculos. Galvani no se da cuenta de que la explicación de estos fenómenos se debe a que se forma una celda electroquímica: objeto de metal, terminal eléctrica y fluidos del cuerpo de la rana y concluye que finalmente ha encontrado la confirmación de la sospecha de que los animales poseen en sus nervios y músculos un fluido sutil, semejante a la electricidad ordinaria, al cual llama electricidad animal. Galvani compara al músculo animal con una pequeña botella de Leyden electrificada con una carga dual y al nervio con el conductor de la botella. El fluido eléctrico animal se produce en la sangre del cerebro y pasa a los músculos (vía los nervios), los cuales quedan cargados positivamente, mientras que el exterior queda con carga negativa. Al igual que en

⁷³⁾ Lo que ahora se conoce como **Fuerza de Coulomb**.

⁷⁴⁾ Básicamente es igual al que se utiliza en los tiempos modernos para el estudio de la electrostática.

(continúa 1786)

la botella, el equilibrio eléctrico en el músculo se puede romper al aplicar un arco entre el conductor y el núcleo del músculo u obteniendo una chispa de una máquina eléctrica (*J3*), vol. 5, p. 98; *[16]*, p. 244; *[34]*, vol. V, pp. 267-268).

Johan Carl Willeke (1732-1796; Alemania) publica otra vez un artículo sobre los ciclones y las trombas marinas, los cuales, según él, son guiados por la electricidad atmosférica (véase 1780 y 1785) (*J34*), vol. XIV, p. 353).

David Rittenhouse (1732-1796; Estados Unidos) publica "An Account of Some Experiments in Magnetism" ("Recuento de algunos experimentos sobre el magnetismo")⁷⁵⁾ en el cual establece con mucha claridad el concepto de dipolos magnéticos (*J34*), vol. XI, p. 472).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) empieza a interesarse en el estudio del magnetismo. Sobre este tema da una conferencia bakeriana en la *Royal Society of London* (véase 1787) (*J34*), vol. II, p. 153).

Immanuel Kant (1724-1804; Alemania), en *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (*Elementos metafísicos de las ciencias naturales*), se aleja un poco de su agnosticismo, al proponer que el hombre experimenta sólo la fuerza y que ésta se manifiesta en la materia como fuerza de atracción (lo que define los límites del cuerpo) y como fuerza de repulsión (lo que da la propiedad de impenetrabilidad). A estas dos fuerzas las llama fuerzas básicas (*Gründkräfte*). Las otras fuerzas, tales como la electricidad, el magnetismo, el calor, la luz, etc, son simples manifestaciones de las fuerzas básicas, bajo diferentes condiciones. Desde esta posición, asegura que unas fuerzas se pueden transformar en otras (*J34*), vol. X, p. 183).

Se realizan en Alemania e Inglaterra los primeros intentos para la iluminación interna con gas (*[1]*).

1786-95

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) publica la tercera edición de su *Treatise on Electricity* (*Tratado sobre electricidad*), en tres volúmenes (véanse 1777 y 1782) (*J34*), vol. II, p. 153).

⁷⁵⁾ *Transactions of the American Philosophical Society*, 2, pp. 37-42.

X. OCTAVO CICLO ECONÓMICO LARGO (1787 - 1842)

AÑO

ACONTECIMIENTO

REACTIVACIÓN
(1787-1800)

1787

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) publica su segunda memoria, en la que profundiza sobre los resultados que hasta ahora ha obtenido. Analiza el caso de fuerzas repulsivas y atractivas, tanto eléctricas como magnéticas. A pesar de que el método de la desviación estática es adecuado para medir las fuerzas atractivas, en general utiliza el método de oscilaciones dinámicas para probar que estas fuerzas obedecen la ley del inverso de los cuadrados. Este método consiste en suspender una aguja magnética, o una pelotita electrificada de médula, de la balanza y colocar otra aguja o esfera de médula a cierta distancia fija en un soporte; se provoca la desviación y se toma el tiempo de las oscilaciones resultantes, repitiendo este procedimiento para varias distancias. Este método requiere de dos suposiciones: 1) las fuerzas eléctricas o magnéticas actúan como si estuvieran concentradas en un punto y 2) la línea de acción de la fuerza entre los dos cuerpos está a lo largo del eje que une sus centros y las líneas de campo se pueden considerar paralelas; es decir, las dimensiones de los cuerpos involucrados deben ser muy pequeñas comparadas con la distancia de separación. Si se cumplen estas suposiciones, las fuerzas responsables del movimiento serán proporcionales al inverso del cuadrado del período y el período variará directamente con la distancia entre los cuerpos. Aun cuando Coulomb demuestra experimentalmente la dependencia de la fuerza con la distancia, nunca demuestra específicamente que esta fuerza es, también, proporcional al producto de la magnitud de sus respectivas cargas o polos; simplemente supone que así sucede. Después introduce el dispositivo llamado plano de prueba. Los experimentos realizados con este aparato para magnetizar alambres de hierro, ponen de manifiesto que demuestra, indirectamente, el efecto del producto de la magnitud de las cargas o de los polos. Análogamente, Coulomb define masa eléctrica y densidad magnética sólo en términos relativos. Nunca define una unidad de magnitud del polo magnético o, como lo hiciera Cavendish, una unidad de carga eléctrica ([34], vol. III, pp. 444-445).

René-Just Haüy (1743-1822; Francia) publica *Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme, d'après les principes d'Aepinus* (Exposición razonada de la teoría de la electricidad y el magnetismo, después de los principios de Aepinus) -epítome no matemático del libro *Tentamen theorie electricitatis et magnetismi* escrito por Aepinus en 1759. Con dicha obra, en la que Haüy logra preservar el espíritu y claridad del original, las teorías eléctricas y magnéticas de Aepinus comenzarían a difundirse ampliamente ([34], vol. I, p. 68).

En contraposición a Aepinus, Haüy formula su teorías eléctricas y magnéticas con base en cálculos matemáticos y añade los recientes resultados de Coulomb. Al igual que Aepinus y Franklin, supone un único e hipotético fluido eléctrico y otro magnético; sin embargo, en sus escritos posteriores, Haüy se adheriría a las teorías de dos fluidos para cada fenómeno ([34], vol. II, p. 178).

(continúa 1787)

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) propone la adopción de una unidad fundamental de tensión, definida como la tensión ejercida por un conductor sobre el plato de metal de una balanza; la distancia entre el conductor y el plato está dada y la balanza se equilibra con un peso conocido. Con esta unidad, Volta mide una «fuerza de atracción» y encuentra que es proporcional al cuadrado del cociente entre la tensión y la distancia. Toma este resultado (correcto) como evidencia en contra de la universalidad de la *ley de Coulomb*, la cual da la misma dependencia con la distancia, pero para una geometría diferente; más aún, otras geometrías dan leyes diferentes ([34], vol. XIV, p. 74).

Lomond construye, en Francia, un telégrafo de electricidad estática en el cual usa un sólo alambre y codifica la información transmitida. Un informe de esta época afirma que el sistema consiste en una máquina eléctrica encerrada en una caja cilíndrica, sobre la cual está un electrómetro de esferas de médula. En un lugar distante se encuentra otro dispositivo igual al primero, y ambos están conectados entre sí por un alambre. La persona que esté en el extremo receptor observa los movimientos del electrómetro para descifrar el mensaje. Se le considera como el primer intento de un sistema telegráfico de un sólo alambre. Nunca se dan mayores detalles, pero se supone que utiliza relojes sincronizados ([16], p. 240; [18], pp. 69-70; [25], p. 65).

Abraham Bennet (1750-1799; Inglaterra) construye un instrumento llamado *duplicador*¹⁾, utilizado para multiplicar las cargas eléctricas. Se cree que es la base de varios experimentos que conducen al desarrollo de máquinas electrostáticas del tipo de influencia ([25], p. 65).

Bennet inventa, además, un electroscopio de condensación; observa las descargas eléctricas de los líquidos en evaporación; es el primero en observar la electrificación por contacto en los metales; mejora el sistema de suspensión de las agujas de las brújulas y realiza experimentos sobre el magnetismo de los cuerpos ferroginosos ([18], pp. 290-292; [40], p. 152).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) publica *A Treatise on Magnetism in Theory and Practice* (*Tratado sobre magnetismo en la teoría y la práctica*) (véase 1786) ([34], vol. II, p. 153).

La información sobre la electricidad atmosférica se deduce a partir del estado eléctrico del extremo inferior de una vara o un alambre, el cual, se piensa, intercambia fluido con el aire circundante. De hecho, tales muestras se electrifican en parte por conducción, pero principalmente por inducción y su electricidad da un índice muy ambiguo del estado eléctrico de la atmósfera ([34], vol. XIV, p. 73).

Horace Bénédict de Saussure (1740-1799; Suiza), cuyo trabajo inspira directamente al de Volta, es una de las pocas personas que entienden y evitan la ambigüedad en la medición de la electricidad atmosférica (véase arriba).

En su segunda ascensión al Mont Blanc, Saussure utiliza un instrumento parecido al electrómetro de botella, diseñado por Cavallo, el cual tiene alambres de plata que terminan en esferas de médula ([34], vol. XIV, p. 73).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) quiere mejorar el instrumento de Saussure de este mismo año, para hacerlo «más

¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

(continúa 1787)

obediente». Conociendo las ambigüedades en torno a los procesos de medición de la electricidad atmosférica, **Volta** encuentra que flameando la punta de la vara de medición se incrementa el intercambio de fluido eléctrico y alcanza rápidamente el potencial de la atmósfera. Encuentra que los electrómetros flameados registran la electricidad cuatro veces más que los detectores de **Cavallo**, bajo condiciones idénticas. Este dispositivo es ampliamente usado, aun cuando su funcionamiento no se entiende cabalmente (véase **Thomson**, ca. 1855).

Después de esto, **Volta** quiere hacer que el electrómetro de **Cavallo** sea un estándar internacional, sensible y uniformemente calibrado. La sensibilidad es mejorada al reemplazar los alambres con pajas ligeras, las cuales tienen una gran superficie efectiva repelente; logra una calibración uniforme gracias a una sucesión de chispas obtenidas de una botella de Leyden, la cual se mantiene a un potencial constante con un pequeño electróforo. El resultado es un modelo, más barato, del electrómetro inventado por **Bennet** en 1786 ([34], vol. XIV, p. 74).

Luigi Galvani (1737-1798; Italia) publica sus resultados sobre la excitabilidad nerviosa eléctrica en los músculos ([3], vol. 18, pp. 202-204).

John Dalton (1766-1844; Inglaterra), estimulado por la aparición de una aurora boreal, empieza a realizar investigaciones en esta área. Sus escritos revelan un pensamiento independiente, no influido por las conclusiones de otros investigadores ([3], vol. 3, p. 861).

1787-88

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) dedica su tercera (1787) y cuarta (1788) memorias al estudio de las pérdidas de carga debidas a las fugas. Determina que la pérdida es proporcional a la carga y la constante de proporcionalidad depende de la humedad y de otros factores. **Coulomb** asegura que las fugas de carga son el resultado del contacto directo a un nivel molecular, al compartir la carga con las moléculas de aire adyacentes o a través del pequeño intervalo *idio-électrique*, el cual cree que envuelve a toda molécula de un dieléctrico. La resistencia presentada por cada uno de estos intervalos es resultado de una fuerza coercitiva o pasiva. Los experimentos con las fugas de carga y sus concepciones del comportamiento material, lo llevan a proponer la teoría que establece la existencia de dos tipos de sustancias eléctricas: los conductores perfectos y los dieléctricos. **Coulomb** cree que en la naturaleza no existe el dieléctrico perfecto; es decir, cree que todos los cuerpos tienen un límite, más allá del cual no oponen resistencia al paso de la corriente. En los conductores perfectos, la electricidad puede fluir libremente por la superficie del cuerpo, mientras que en los dieléctricos la conducción se ve obstaculizada por la naturaleza del cuerpo; si hay «moléculas conductoras [...], dentro del dieléctrico imperfecto, o distribuidas en su superficie», la electricidad puede fluir por el cuerpo siempre y cuando la intensidad del flujo pueda vencer la fuerza coercitiva que se presenta en los intervalos *idio-électriques* ([34], vol. III, p. 445).

1788

Pierre Prevost (1751-1839; Suiza) ha realizado ya varias investigaciones sobre el calor y sobre el magnetismo y escribe extensamente sobre estos temas; por ejemplo, este año publica *De l'origine des forces magnétiques* (*Del origen de las fuerzas magnéticas*), con el cual gana reconocimiento general ([6], p. 225; [34], vol. XI, p. 134).

(continúa 1788)

E. W. Gray publica "Observations on the manner in which glass is charged with electric fluid" ("Observaciones sobre la manera en la cual el vidrio es cargado con fluido eléctrico")²⁾ ([32], p. 42).

Tiberius Cavallo (1749-1809; Italia-Inglaterra) publica "Of the Methods of Manifesting the Presence, and Ascertaining the Quality, of Small Quantities of Natural or Artificial Electricity" ("De los métodos para manifestar la presencia, y comprobar la calidad, de pequeñas cantidades de electricidad natural y artificial")³⁾ ([34], vol. II, p. 154).

Adriaan Paets van Troostwijk (1752-1837; Países Bajos) y Cornelius Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840; Países Bajos) publican *De l'application de l'électricité à la physique et à la médecine (De la aplicación de la electricidad a la física y a la medicina)* ([34], vol. XIII, p. 469).

Jan Ingen-Housz (1730-1799; Países Bajos) refuta en forma experimental la hipótesis de que la electricidad ayuda al crecimiento de las plantas ([34], vol. VII, pp. 13 y 14).

Jean Jacques Barthélemy (1716-1795; Francia) escribe una novela de ficción, *Voyage de jeune Anarchis en Grèce (Viaje del joven Anarchis a Grecia)*, en la que sugiere el uso de la influencia de un imán para el desarrollo de la telegrafía ([16], p. 60; [40], p. 119).

1788-90

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) dedica su quinta (1788) y sexta (1790) memorias al estudio de la distribución de carga sobre los cuerpos conductores. Demuestra que esta distribución no depende de la afinidad química o de las atracciones electivas, pero sí, de una manera única, de la repulsión mutua de cargas de igual signo y de la geometría y localización del cuerpo. Establece, además, que la distribución de carga estática está confinada a la superficie de los conductores, sin importar el material del cual están hechos o de su geometría. Por otra parte, cree que la carga puede existir dentro de los dieléctricos, así como en su superficie; para demostrar esta hipótesis se propone realizar una serie de experimentos; sin embargo, nunca los lleva al cabo. En los experimentos para estudiar la distribución de carga utiliza mucho su plano de prueba, para determinar la densidad de carga en cada punto del cuerpo. Trata, con moderado éxito, de desarrollar un fundamento analítico de sus resultados⁴⁾ ([34], vol. III, p. 445).

1789

Adriaan Paets van Troostwijk (1752-1837; Países Bajos) y Johann Rudolf Deiman (1743-1808; Países Bajos) utilizan el generador eléctrico de van Marum, construido por Cuthbertson, quien también les ayuda, e investigan la acción química sobre diferentes gases y óxidos de metal. Después de provocar una descarga en el *aire deflogistizado* (oxígeno) se dan cuenta de que éste adquiere un fuerte olor a materia eléctrica, i.e. obtienen ozono. Cuando repiten el experimento con *aire fijo* (dióxido de carbono), encuentran que su volumen se incrementa ligeramente. Colocan cantidades iguales de aire fijo electrificado y sin electrificar sobre un volumen de agua, encontrando que, después de dos días, sólo quedan 2/5 del primero y 1/10 del segundo; no se dan cuenta de que el dióxido está parcialmente descompuesto en monóxido de carbono y oxígeno.

²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 77, p. 407

³⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 78.

⁴⁾ Poisson, en 1812, se basaría en estos resultados para formular su teoría electrostática.

(continúa 1789)

También someten el aire fijo a violentas descargas eléctricas y encuentran que se produce una mayor cantidad de aire inflamable que de agua, sin reconocer que este aire es monóxido de carbono y no hidrógeno, llegando a la conclusión errónea de que el aire fijo contiene agua. Dadas las pequeñas cantidades de gases obtenidas, no logran demostrar contundentemente que se forman hidrógeno y oxígeno. Esta idea, la descomposición electroquímica del agua, se utilizaría después en varios sistemas de telegrafía. Troostwijk y Deiman publican "Lettre a de Lamétherie, sur une manière de décomposer l'eau en air inflammable et en air vital" ("Carta a de Lamétherie, sobre una forma de descomponer el agua en aire inflamable y en aire vital")⁵⁾ ([16], p. 244; [25], p. 66; [34], vol. X, p. 446 y vol. XIII, pp. 468-469).

William Nicholson (1753-1815; Inglaterra) publica "Experiments and Observations on Electricity" (Experimentos y observaciones sobre electricidad)⁶⁾ ([34], vol. X, p. 109).

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia), estudiando la acción del campo magnético terrestre sobre una aguja imantada, introduce el concepto de *momento magnético*; explica además la teoría de la polarización ([6], p. 52). Publica su teoría sobre el magnetismo, de acuerdo con la cual, cada molécula de hierro contiene cantidades iguales de los dos tipos de fluido magnético (austral y boreal), los cuales se repelen uno a otro, formando los dos polos ([25], pp. 65-66).

1790

Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802; Alemania) publica "Two Letters on Electrical and other Phenomena" ("Dos cartas sobre fenómenos eléctricos y otros")⁷⁾ ([34], vol. I, pp. 66-68).

Claude Chappe (1763-1805; Francia) concibe la idea de un telégrafo, utilizando relojes sincronizados cuyas manecillas apuntan a letras. El instante de lectura se indica mediante el golpe de una cacerola pero, debido a la lentitud del sonido, la idea no resulta práctica. Otra de sus ideas es utilizar una descarga de una botella de Leyden, para indicar el momento de la lectura. Esta idea también fracasa ya que la descarga se atenúa mucho con la distancia. Con la experiencia de estos fracasos, prefiere la idea optomecánica a la eléctrica (véase Chappe, 1792) ([25], p. 66; [40], p. 321).

La *Académie française des sciences*, de París, Francia, crea un Comité para establecer un sistema uniforme de pesos y medida ([57], p. 342).

1791

Charles Augustin Coulomb (1736-1806; Francia) publica su séptima memoria, en la que intenta determinar el *momento magnético* de las agujas magnéticas y la intensidad magnética en cada punto, como función de sus parámetros dimensionales. Coulomb presenta su teoría magnética totalmente desarrollada. En su memoria sobre las brújulas (de 1777), Coulomb se había inclinado por la teoría de Aepinus de un fluido magnético. A pesar de que sostiene inquebrantablemente que esta teoría y la de los dos fluidos son matemáticamente equivalentes, algunos hechos experimentales lo llevan a cuestionarse, desde un punto de vista básicamente macroscópico, si un imán tiene un exceso de fluido en un polo y una deficiencia en el otro, o bien si tiene un fluido positivo en un polo y uno negativo en el otro. Sabe que el fluido magnético

⁵⁾ *Journal de physique, de chimie et de l'histoire naturelle*, 35.

⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 79.

⁷⁾ *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 2.

(continúa 1791)

no se puede transferir de un imán a otro; después descubre que un manojo de alambres magnetizados puede producir un imán mucho más potente que una sola barra de igual peso. El hecho de que un imán pueda romperse en cualquier número de pedazos y que cada uno de estos forma un nuevo imán, lleva a Coulomb a descartar la teoría del fluido microscópico y a conjeturar que cada partícula magnetizada es, de hecho, una *molécule aimantaire* polarizada. Este modelo es bien acogido tanto por la escuela que apoya la teoría de un fluido, como por la que apoya la de dos fluidos, y gana aceptación general por los libros de Haüy y de Biot. Resulta, además, conceptualmente importante para Biot, Poisson y Ampère (véase Ampère, 1821) ([34], vol. III, pp. 445-446).

Antonio Maria Vassalli-Eandi (1761-1825; Italia) publica *Conjectures on the Art of Building Lightning Rods among the Ancient Romans* (Conjeturas sobre el arte de construir pararrayos entre los antiguos romanos) ([40], p. 1714).

Luigi Galvani (1737-1798; Italia) publica *De Viribus electricitatis in Motu musculari commentarius*, resumen de sus experimentos realizados hacia 1786. Galvani concluye que el tejido animal contiene una fuerza vital e innata, hasta entonces olvidada, a la que llama *electricidad animal*, responsable de la actividad de los nervios y músculos cuando se les hace entrar en contacto por medio de arcos metálicos. Cree que esta nueva fuerza es otra forma de electricidad, diferente a la *natural* (producida por los rayos, por las anguilas eléctricas o por los peces torpedo -*Torpedo marmorata*) y diferente a la *artificial* (producida, por ejemplo, por fricción). Observa también el resultado de radiaciones electromagnéticas, pero no las reconoce como tales. Galvani envía su informe a Volta⁸⁾ ([25], p. 67; [34], vol. V, p. 267).

Claude Chappe (1763-1805; Francia) e Ignace Chappe (Francia) fundan un negocio para investigar y desarrollar el telégrafo. Sin embargo, sólo logran sincronizar un sistema eléctrico de relojes ([40], p. 321).

1792

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) piensa que los experimentos de Galvani, aun cuando sean interesantes, son «poco creíbles y milagrosos». Reconoce la electricidad animal sólo en los peces eléctricos, a los que, no obstante, atribuye sólo el poder de manipular el fluido eléctrico común. Volta tiene una muy pobre opinión de los médicos, a quienes generalmente considera «ignorantes de las leyes conocidas de la electricidad.» Más aún, el 28 de marzo, justo después de realizar (bajo presión de sus colegas patólogos y anatomistas) los experimentos galvánicos «con poca esperanza de tener éxito», sus planes inmediatos sólo contemplan investigaciones meteorológicas y sobre la dilatación de los gases.

Pero el 1 de abril, Volta logra obtener resultados galvánicos satisfactorios que le intrigan. Primero mide la tensión mínima de la electricidad *artificial* o friccional que provoca la contracción de las ancas de la rana y obtiene un valor muy pequeño en su condensador. Logra inducir convulsiones en una rana viva uniendo externamente un anca con la espalda mediante un circuito formado por dos metales diferentes. Este descubrimiento hace necesarias algunas modificaciones a las tesis de Galvani. Concuera con él en que el desequilibrio eléctrico reflejado por los espasmos surge de la acción del animal, pero duda de la similitud con una botella de Leyden. En su lugar, postula que por el cuerpo de una rana normal constantemente circula una electricidad débil, y que los circuitos artificiales son los causantes de las perturbaciones. Con una rana completa -a diferencia de las preparaciones empleadas por Galvani-, Volta consigue que las

⁸⁾ Que serviría para que Volta llegue, luego de una larga disputa, a la invención de la pila en 1799.

(continúa 1792)

ancas de ésta se contraigan por dos métodos: la descarga de una botella de Leyden o con un circuito bimetálico. A partir de esto último, deduce que la electricidad surge del contacto de dos cuerpos diferentes, propiedad ya conocida por él en los *eléctricos*, o aislantes, pero que le sorprende encontrarla en los metales. Para **Volta** la electricidad animal no tiene nada que ver en los experimentos, el único efecto galvánico que reconoce como verdadero son las contracciones ocurridas en las muestras de **Galvani** (ancas, espina dorsal, nervios y músculos correspondientes) cuando el circuito está formado por un solo metal. Más aún, **Volta** muestra que el músculo sale sobrando y que sólo es necesario excitar el nervio. Para apoyar su hipótesis, **Volta** trata de estimular el sentido del gusto, colocando un pedacito de estaño en la punta de la lengua y uniéndolo a una cuchara de plata, localizada un poco más adentro en la boca. **Sulzer** había realizado en 1762 un experimento similar; quien, sin embargo, no había asociado los efectos con la electricidad.

Durante el resto del año, **Volta** investiga con gran diversidad de animales, desde insectos hasta mamíferos, y concluye que la excitación galvánica surge de una estimulación eléctrica externa (*[34]*, vol. XIV, pp. 76-77).

Volta publica dos artículos titulados "[Memorie] sull'elettricità animale" ("[Memoria] sobre la electricidad animal")⁹⁾ y otro artículo, "Nuove osservazioni sull'elettricità animale" (Nuevas observaciones sobre la electricidad animal)¹⁰⁾ (*[34]*, vol. XIV, p. 81).

Volta informa sobre sus resultados a van **Marum**, quien goza de gran reconocimiento (*[34]*, vol. IX, p. 152).

Giovanni Valentino Mattia **Fahlroni** (1752-1822; Italia) lee una memoria (publicada en 1801) ante la *Accademia dei Georgofili* de Florencia, Italia, en la que establece que el fenómeno descubierto por **Galvani** no se debe a la acción de un fluido eléctrico, sino a la acción recíproca de dos metales diferentes en contacto cuando están húmedos (*[34]*, vol. IV, p. 503).

Luigi **Galvani** (1737-1798; Italia) publica la segunda edición de *De Viribus electricitatis in Motu musculari commentarius* (véase 1791). Durante la controversia de los próximos años entre la tesis de la electricidad animal y la corriente galvánica, él permanecería casi al margen de las discusiones (*[34]*, vol. I, pp. 107-108).

Giovanni **Aldini** (1762-1834; Italia), sobrino de **Galvani**, añade algunas notas y comentarios propios en la segunda edición de la obra de **Galvani** (véase arriba). Dando conferencias, escribiendo y publicando en italiano, francés e inglés, apoya la teoría de su tío, así como sus propias concepciones. Es por ello que **Volta** dirige sus argumentos a **Aldini** y no a **Galvani** (*[34]*, vol. I, pp. 107-108).

Claude **Chappe** (1763-1805; Francia) inventa un sistema optomecánico de telegrafía, llamado *Telégrafo de Semáforo*. Aun cuando no es un sistema eléctrico, demuestra ser de gran valor para comunicaciones rápidas, estimulando los trabajos sobre la telegrafía eléctrica (*[25]*, p. 68). Con el apoyo de la Asamblea Legislativa, Ignace **Chappe** (Francia), miembro de la misma y hermano de Claude, construye una serie de torres entre dos ciudades. Cada torre está equipada con un par de telescopios (cada uno apuntando a cualquier dirección), con un semáforo (Claude deriva esta palabra del griego, cuyo significado es el de «portador de una señal») de dos brazos. Cada brazo puede tomar siete posiciones

⁹⁾ *Giornale fisico-medico*, 2, pp. 146-187, 241-270, 3, pp. 35-37

¹⁰⁾ *Giornale fisico-medico*, 4, pp. 192-196

(continúa 1792)

angulares claramente visibles, haciendo un total de 49 posiciones, las cuales se asignan al alfabeto y a otros símbolos especiales (*J3*, vol. 3, p. 96).

En Inglaterra se utiliza por primera vez gas para alumbrado (*I1*).

1793

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica un tercer artículo titulado "[Memorie] sull'elettricità animale" ("Memoria sobre la electricidad animal")⁽¹¹⁾ (*J34*, vol. XIV, p. 81).

Por otra parte, en una carta abierta dirigida a Aldini, Volta postula su creencia de que no queda nada de la teoría de la electricidad animal. Clasifica los metales de acuerdo con su potencia electromotriz y encuentra que para que un circuito sea efectivo se necesita, además de los dos metales diferentes, un conductor húmedo; en el caso de los experimentos galvánicos dicho conductor es el nervio a ser excitado. Concluye que el desequilibrio eléctrico ocurre en el punto de contacto entre los metales y el conductor húmedo, más que en la unión de los metales. Descubre que el poder electromotor de una cadena de metales diferentes depende solamente de la naturaleza de los eslabones extremos, precisamente aquellos que tocan al conductor húmedo, y no ocurre nada si cada metal está en contacto con el conductor.

Volta publica, además, "Recuento de algunos descubrimientos realizados por el Sr. Galvani de Bolonia, con experimentos y observaciones sobre ellos [...] en dos cartas [...] al Sr. Tiberius Cavallo [en francés]"⁽¹²⁾ (*J3*, vol. 18, pp. 202-204; *J34*, vol. V, p. 268 y vol. XIV, p. 77).

Richard Fowler (1765-1863; Inglaterra) publica *Experiments and Observations on the Influence lately discovered by M. Galvani and commonly called Animal Electricity* (*Experimentos y observaciones sobre la influencia recientemente descubierta por el Sr. Galvani y comúnmente llamada electricidad animal*) (*J40*, p. 594).

David Rittenhouse (1732-1796; Estados Unidos) y John Jones publican "Account of Several Houses in Philadelphia Struck With Lightning" ("Recuento de varias casas de Filadelfia equipadas con pararrayos")⁽¹³⁾ (*J34*, vol. XI, p. 472).

David Rittenhouse (1732-1796; Estados Unidos) y Francis Hopkinson publican "An Account of the Effects of a Stroke of Lightning" ("Recuento de los efectos de un choque de un rayo")⁽¹⁴⁾ (*J34*, vol. XI, p. 472).

John Dalton (1766-1844; Inglaterra) hace notar que los rayos de las auroras boreales son paralelos a la dirección que toma una brújula de inclinación y que el vértice de la aurora cae sobre un meridiano magnético (*J8*, vol. LV, p. 551). Concluye que debe existir una relación entre las auroras boreales y el magnetismo terrestre. A partir de este hecho, sugiere que los haces de las auroras son de naturaleza ferruginosa y, en consecuencia, propone que en las regiones superiores de la atmósfera existe un fluido elástico compartiendo las propiedades del hierro o, más probablemente, las del acero magnético, y que este fluido toma forma de haces cilíndricos (*J3*, vol. 3, p. 861).

¹¹⁾ *Giornale fisico-medico*, 5, pp. 63-81.

¹²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 83, pl. 1.

¹³⁾ *Transactions of the American Philosophical Society*, 3, pp. 119-122.

¹⁴⁾ *Transactions of the American Philosophical Society*, 3, pp. 122-125.

1794

Eusebio Valli (1755-1816; Italia) publica *Experiments on Animal Electricity* (*Experimentos sobre electricidad animal*) ([40], p. 1703), en el cual describe la contracción muscular sin la ayuda de ningún tipo de metal ([34], vol. V, p. 268).

Luigi Galvani (1737-1798; Italia) publica, anónimamente, *Dell'uso e dell'attività dell'arco conduttore nella contrazione dei moscoli* (*Del uso de la actividad del arco conductor en las constracciones de los músculos*), seguramente escrito en colaboración con su sobrino Giovanni Aldini (1762-1834; Italia), en el cual defiende sus puntos de vista sobre la naturaleza de la electricidad animal. En un suplemento del libro se describe la contracción muscular sin la ayuda de ningún tipo de metal (véase Valli; más arriba), con lo que lanza así un contrataque frente a las proposiciones de Volta. La contracción se produce al tocar el músculo expuesto de la rana con el nervio de otra, estableciendo así, por primera vez, que en los tejidos vivos existen fuerzas bioeléctricas ([3], vol. 5, p. 98; [34], vol. V, p. 268).

Giovanni Aldini (1762-1834; Italia) publica *De animale electricitate, dissertatio dunc* (*De la electricidad animal, disertación dos*), resultado de sus trabajos con animales de sangre caliente y de las sugerencias de su tío Galvani.

Por otro lado, en contraposición a la sociedad organizada por Volta en la Universidad de Pavia, Aldini contribuye a formar una sociedad en la Universidad de Bolonia, para financiar los experimentos eléctricos ([34], vol. I, p. 108).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica dos artículos titulados "Nuova memoria sull'elettricità animale [...]" in alcune lettere al sig. ab. Anton Maria Vasalli" ("Nueva memoria sobre la electricidad animal [...] en alguna carta al Sr. Ab. Anton Maria Vasalli")¹⁵⁾ ([34], vol. XIV, p. 81).

Volta concluye además, como resultado de sus continuas investigaciones, que los efectos sobre los músculos, producidos por la acción de un circuito de dos metales diferentes son mucho mayores a la acción de un circuito homogéneo. Por esta época se da cuenta de que esta electricidad es diferente al flujo de una botella de Leyden, siendo un fenómeno continuo. Empieza a hablar de *corrente elettrica*. Encuentra que si añade más pares de placas, separados por una fibra húmeda, el efecto sobre la lengua se incrementa (véase 1792) ([18], p. 30).

Respondiendo al efecto descrito por Aldini y Valli (más arriba), Volta objeta que el experimento funciona mejor cuando los nervios y músculos están húmedos, con sangre o saliva, y que una sucesión de conductores húmedos diferentes puede generar una corriente eléctrica debida a las fuerzas de contacto, sin la necesidad de metales ([34], vol. XIV, p. 78).

Volta recibe la Medalla Copley, de la *Royal Society of London*, Inglaterra, por sus valiosas e importantes invenciones y contribuciones en los campos de la electricidad, química y física ([3], vol. 12, p. 426; [25], p. 68).

Se instala en Francia el primer telégrafo, de Chappe, entre París y Lille ([1]).

El telégrafo de semáforo de Claude Chappe (1763-1805; Francia) envía mensajes a 240 km en 2 minutos. Por esta época se acuña la palabra telégrafo para su sistema ([18], p. 347; [23], p. 68). Lleva a París, en menos de una hora, la noticia de la toma de Conde-sur-l'Escaut, realizada por los austriacos. A partir de esto se construyen más líneas, entre ellas las de París-Toulon ([3], vol. 3, p. 96).

¹⁵⁾ *Annali di chimica e storia naturale*, 5, pp. 132-144; 6, pp. 142-166

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1794)

Se funda en París, Francia, la *Ecole Polytechnique*, el primer colegio técnico del mundo. El gobierno revolucionario de Francia lo establece para formar científicos con especial énfasis en matemáticas y ciencias aplicadas ([57], p. 350).

ca 1795

James Tytler escribe el artículo sobre la electricidad para la *Enciclopedia Británica*, en el que propone que todos los efectos eléctricos se pueden explicar suponiendo la existencia de un fluido un tanto peculiar, cuyas diferentes formas de movimiento corresponden a los fenómenos ópticos, térmicos y eléctricos. Tytler compara la electricidad con una vibración, más que con un flujo de partículas materiales a través del espacio. Este punto de vista le permite explicar ciertos aspectos que se consideran delicados de tratar, tales como el por qué puede fluir la electricidad por los conductores y no por los aislantes. Con este artículo, Tytler destroza la teoría de los dos fluidos (entonces en boga en la Europa continental), así como la teoría de un fluido de Franklin (muy popular en Gran Bretaña) ([34], vol. II, p. 528).

Luigi Galvani (1737-1798; Italia), investigando las propiedades del pez torpedo (*Tarpedo marmorata*), encuentra que la fuerte descarga eléctrica que produce el pez se genera en estructuras parecidas a los nervios y músculos ordinarios, lo cual parece dar apoyo a su teoría de la electricidad animal⁽¹⁶⁾ ([34], vol. I, p. 268).

Jean-Claude de Laplace (1743-1817; Francia) postula que la acción galvánica es la base de un vasto rango de fenómenos de la naturaleza ([34], vol. VII, p. 603).

1795

Francisco Salvá y Campillo (1751-1828; España) publica "Memorias sobre la electricidad aplicada a la telegrafía"⁽¹⁷⁾ ([35], vol. IX, p. 290). Propone un sistema telegráfico que emplea 22 pares de alambres para un alfabeto de 22 letras. En los extremos receptores, 22 hombres sostienen cada par de alambres y cuando sienten la descarga la anuncian. En un diseño posterior utilizaría menos alambres y otro tipo de detectores más simples ([16], p. 60; [18], p. 70).

Salvá y Campillo analiza además la factibilidad de un telégrafo submarino, para lo cual propone que los cables se aislen con algún material apropiado (véase Soemmerring y Schilling, 1812) ([52], p. 43).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) realiza una expedición a los Alpes, a finales de año, donde conoce a varios expertos alpinos y empieza a sentir la necesidad de contar con observatorios astronómicos y geomagnéticos ([34], vol. VI, p. 550).

Napoleon Bonaparte (1769-1821; Córcega) funda el *Institut Nationale Française*, formado por cinco academias, una de las cuales es la *Académie française de sciences* ([40], p. 206).

1796

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica un tercer artículo titulado "Nuova memoria sull'elettricità animale [...] in alcune lettere al Sig. ab. Anton Maria Vasalli" ("Nueva memoria sobre la electricidad

¹⁶⁾ Du Bois-Reymond, hacia la década de 1840, todavía hablaría de electricidad animal.

¹⁷⁾ *Gaceta de Madrid*, 1796.

(continúa 1796)

animal [...] en alguna carta al Sr. Ab. Anton Maria Vasalli"¹⁸⁾ ([34], vol. XIV, p. 81).

Volta continúa sus investigaciones sobre la producción de electricidad a partir del contacto entre metales diferentes y un conductor húmedo. Determina la fuerza *electromotriz* (término suyo), para lo cual tiene que detectar centésimas de la medición normal¹⁹⁾, multiplicando los efectos de las cargas. Emplea para ello el duplicador de Nicholson y después diseña un electroscoPIO de condensación, combinación directa de su condensador y de su electroscoPIO de paja. Para obtener cargas por contacto que puedan ser multiplicadas, Volta tiene que cambiar su concepción sobre el lugar donde se genera la fuerza *electromotriz*; postula que es en la unión de los metales y no en la unión de éstos con el conductor húmedo.

Volta clasifica además los conductores húmedos (del segundo tipo, según él) como lo hizo con los metales (conductores del primer tipo) ([34], vol. XIV, p. 78).

John Cuthbertson (fl. 2ª mitad del siglo 18; Países Bajos e Inglaterra) muestra que la descarga de una batería de 15 botellas de Leyden, revestidas con 1.58 m² de vidrio, derrite un alambre de hierro de 1.8 m de longitud y 0.0017 cm de diámetro ([18], p. 30; [25], p. 69).

Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810; Francia) publica *Examen de quelques principes erronés en électricité* (*Examen de algunos principios erróneos en electricidad*) ([34], vol. XII, p. 428).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) descubre una fuente de magnetismo terrestre en Haidberg, cerca de Gefrees, al noroeste de Bayreuth ([34], vol. VI, p. 550).

1797

George Pearson (1751-1828; Inglaterra) y John Cuthbertson (fl. 2ª mitad del siglo 18; Países Bajos e Inglaterra), con base en el concepto de conducción eléctrica a través de un líquido -concepción que va tomando forma poco a poco-, realizan una serie de experimentos más detallados que los de van Troostwijk (véase 1789). Utilizando la descarga de una botella de Leyden, logran descomponer agua en sus gases constituyentes, hidrógeno y oxígeno, aunque en pocas cantidades. Después descargan una chispa en el recipiente donde se encuentra una mezcla de dichos gases, vuelven a combinar los elementos y forman agua.

Por su parte, Pearson publica "Experiments & Observations Made with a View of Ascertaining the Nature of Gas Produced by Passing Electric Discharges Through Water" ("Experimentos y observaciones realizadas con miras a comprobar la naturaleza de los gases producido al pasar descargas eléctricas a través del agua")²⁰⁾ ([18], p. 34; [25], p. 70; [34], vol. X, pp. 446-447).

John Robison (1739-1805; Escocia) contribuye con numerosos artículos a la 3ª edición de la *Enciclopedia Británica* (18 volúmenes, Edimburgo), entre los que se encuentran "Electricity" ("Electricidad"), "Magnetism" ("Magnetismo"), "Thunder" ("El trueno") ([34], vol. XI, p. 495).

18) *Annali di chimica e storia naturale*, 11, pp. 84-128.

19) Lo que ahora se conoce como volt.

20) *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 87 y el artículo completo en *Journal of Natural Philosophy, Chemistry & the Arts*, 1.

(continúa 1797)

Luigi Galvani (1737-1798; Italia) y Giovanni Aldini (1762-1834; Italia) informan por segunda ocasión (véase 1794) sobre las contracciones de ancas de ranas sin utilizar ningún objeto de metal (J34, vol. V, p. 268).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica un informe muy completo sobre la detección de electricidad galvánica por medios electrostáticos, "[Lettere al prof. Gren] Sul galvanismo ossia sull'elettricità eccitata del contatto de' conduttori dissimili" ("[Carta al prof. Green] Sobre el galvanismo o sobre la electricidad excitada por el contacto de conductores diferentes")²¹⁾. Precizando sus resultados anteriores (véase 1793), señala que la fuerza electromotriz de una pila de discos es igual a aquella que generarían los discos extremos si se pusieran en contacto directo. Posee ya la mayor parte de los ingredientes que lo llevarían a desarrollar su pila (véase 1799), entre los que se encuentra el fenómeno clave, es decir, la combinación constructiva de los pares generadores. Sin embargo, la situación política de la República Cisalpina entra en crisis y sus deberes hogareños le impiden continuar sus investigaciones al ritmo que él quisiera (J34, vol. XIV, pp. 78-79).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania), como muchos de sus contemporáneos, busca la prueba de la *fuera de la vida* (*vis vitalis*), por lo que realiza experimentos galvánicos, en ocasiones con su propio cuerpo, con la esperanza de esclarecer «los procesos químicos de la vida». Publica este año los resultados de estas investigaciones en un artículo (J34, vol. VI, p. 550).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) lee su primer artículo (que publicaría en 1806), ante una sociedad alemana de historia natural, la *Naturforschende Gesellschaft zu Jena*. Postula, como base de sus pensamientos filosóficos, la unidad de todos los procesos naturales y la validez de un principio general de la polaridad, como queda ejemplificado por la electricidad friccional (positiva y negativa), los polos de los imanes (norte y sur), etc. Los fundamentos filosóficos del artículo se basan en sus investigaciones sobre las contracciones de los músculos excitados con electricidad galvánica (J34, vol. XI, p. 474).

1798

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) publica "[Lettere al cittadino Aldino] Intorno alla pretesa elettricità animale" ("[Carta al ciudadano Aldino] En torno a la pretendida electricidad animal")²²⁾ (J34, vol. XIV, p. 81).

Francisco Salvá y Campillo (1751-1828; España) construye un telégrafo que funciona entre Madrid y Aranjuez (distantes unos 40 km)²³⁾ (J16, p. 241; J25, p. 70).

Claude Chappe (1763-1805; Francia) escribe "Lettres sur le nouveau télégraphe" ("Cartas sobre el nuevo telégrafo"), sobre su telégrafo optomecánico (véase 1794) (J40, p. 321).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) contribuye a la primera determinación relativamente definitiva de la

²¹⁾ *Annali di chimica e storia naturale*, 13, pp. 226-274 y 14, pp. 3-74

²²⁾ *Annali di chimica e storia naturale*, 16, pp. 3-88

²³⁾ Este hecho constituye un logro de consideración, ya que todavía no se ha inventado la batería y, por lo tanto, el sistema es totalmente electrostático.

(continúa 1798)

inclinación magnética en París, Francia. Realiza, además, nuevos experimentos galvánicos (*J34*, vol. *VI*, p. 350).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) publica *Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprozess in dem thierreich begleite*, en donde aparecen, por primera vez, sus puntos filosóficos y estilo científico (véase 1797) (*J34*, vol. *XI*, p. 474).

1799

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia), a partir de sus experimentos relacionados con los efectos producidos por el contacto de dos metales diferentes (véase 1797), inventa la *pila voltaica*. Este dispositivo está formado por la superposición de varias capas de metales, cada una compuesta por dos placas de diferente material, conectadas entre sí con una placa de papel y madera humedecida con ácido diluido entre ellas. El voltaje que se puede generar con la pila depende del número de placas superpuestas. Anunciaría oficialmente su invento en 1800.

Por otro lado, Volta publica "Observations on Animal Electricity; Being the Substance of Two Letters From Volta to Professor Gren" ("Observaciones sobre la electricidad animal, que es la sustancia de dos cartas de Volta al Profesor Gren")²⁴⁾ donde refuta las tesis de Galvani, e indica nuevamente que lo que se requiere para producir una pequeña carga es el contacto de dos metales diferentes (*J8*, vol. *IX*, p. 523; *J25*, p. 70).

Giovanni Valentino Mattia Fabbioni (1752-1822; Italia) publica "Sur l'action chimique des différents métaux" ("Sobre la acción química de los metales diferentes")²⁵⁾, en donde vuelve a postular su teoría de que el fenómeno galvánico se debe a la acción de dos metales diferentes con contacto cuando están húmedos (véase 1792). Por estos escritos, muchas veces se le consideraría como el originador de la teoría química de la batería, aunque cuando se escribieron estas dos memorias (la de 1792 y la de este año) Volta todavía no ha dado a conocer su batería. Incluso Fabbioni sostiene que el fenómeno galvánico es independiente de la generación de electricidad. Sin embargo, sus ideas ciertamente influirían en el surgimiento de la teoría química de la batería en el primer año del siglo 19 (*J34*, vol. *II*, p. 503).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) utiliza una celda galvánica para producir la electrólisis del agua y así demuestra la identidad de la electricidad galvánica y la friccional. Ello lo lleva a investigar los fenómenos de polarización en las celdas galvánicas (*J34*, vol. *XI*, p. 474).

Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) introduce el término *pila voltaica* para designar al dispositivo inventado por Volta (véase arriba) (*J34*, vol. *IX*, p. 152).

Antonio Maria Vassalli-Beaudouin (1761-1825; Italia) publica *Letters on Galvanism (Cartas sobre el galvanismo)* (*J40*, p. 1714).

1799-1804

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) realiza una expedición científica por todo el continente americano.

²⁴⁾ *Philosophical Magazine*, 4

²⁵⁾ *Journal de physique, de chimie et de l'histoire naturelle*, 49, pp. 348-357.

(continúa 1799-1804)	donde recolecta, entre otras muchas cosas, información magnética (véase 1805) (J34], vol. XII, p. 50).
ca. 1800	A principios del siglo 19 el estado del conocimiento sobre electricidad y magnetismo puede resumirse como sigue (J16], p. 246): 1) se sabe que existen dos tipos de electricidad; 2) pocos creen que la electricidad y el magnetismo estén relacionados (Coulomb, a mediados de la década de los años de 1780, mostró la diferente naturaleza entre las fuerzas asociadas a la electricidad estática y las asociadas al magnetismo). Sólo unos cuantos filósofos de la naturaleza alemanes o de influencia alemana, que creen en la unidad de todas las fuerzas, buscan una relación entre estos dos tipos de manifestaciones (véase Oersted, 1807) (J36], p. 76); 3) se comprende la formulación matemática del condensador; 4) se maneja ya el concepto de <i>voltaje</i>; 5) se tiene ya la noción de corriente eléctrica; 6) se relaciona la electricidad con otros fenómenos; 7) se trabaja con impedancias altas, corrientes pequeñas, voltajes muy altos y electricidad estática (J16], p. 299); 8) se tiene alguna experiencia con corrientes eléctricas en recipientes al vacío (J16], p. 303); 9) el fenómeno de los brillos eléctricos es familiar; 10) empieza a forjarse la idea de que la materia está compuesta por partículas fundamentales, aun cuando no se tiene idea de la forma de éstas.
1800	El 20 de marzo, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827, Italia) escribe una carta dirigida a J. Banks, presidente de la <i>Royal Society of London</i>, de Inglaterra, que contiene un artículo titulado "On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds" ("Sobre la electricidad excitada por el simple contacto de sustancias conductores de diferentes clases")²⁶⁾, misma que es leída el 26 de junio ante la Sociedad. En ella, Volta anuncia la invención de su pila eléctrica (véase 1799) y escribe: «Tengo el placer de enviarles algunos resultados asombrosos a los cuales he llegado en mis experimentos sobre la electricidad producida por el simple contacto mutuo de metales diferentes [...]. El principal resultado es la construcción de un aparato que tiene las propiedades de las botellas de Leyden (tales como la de provocar choques) y que opera de forma continua, o cuya carga es restaurada automáticamente después de cada descarga. El aparato del cual hablo, y el que sin lugar a dudas les sorprenderá, no es nada más que un ensamble de varios buenos conductores de diferentes tipos, arreglados de cierta manera, 30, 40, 60 piezas, o más, de cobre o plata cada uno colocado junto a una pieza de estaño o, mejor, de cinc, y un número igual de capas de agua, o algún otro conductor líquido tal como el agua salina, o piezas de cuero o tarjetas humedecidas en estos líquidos, colocadas entre cada par de metales diferentes [...] esto es todo lo que forma mi nuevo instrumento, el cual imita, como ya dije, los efectos de una botella de Leyden.» (J51], pp. 6-7).

²⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 90, pt. 2, pp. 403-431; *Proceedings of the Royal Society of London*, pp. 403-431 y placa XVII; *Journal de Physique*, 51, pp. 344-354. Traducida al inglés en *Philosophical Magazine*, 7, pp. 288-311.

(continúa 1800)

Aparentemente se da así por terminada la polémica suscitada entre las personas a favor de la electricidad animal y de las que están a favor de la electricidad metálica ([3], vol. 12, p. 426).

En el artículo, Volta se refiere a su instrumento como un «órgano eléctrico artificial», dispositivo «fundamentalmente igual» al equipo eléctrico del pez torpedo. El efecto de ambas formas de generación afectan el sentido del tacto, ya que si afectaran los sentidos de la vista, gusto u oído, provocarían luces, gustos o sonidos. Ninguno de los dos produce signos electrostáticos porque, como argumentara Cavendish hace varios años, operan a una tensión muy baja ([18], p. 32; [34], vol. XIV, pp. 78-79).

Volta describe además un arreglo alternativo, llamado *corona de copas* (*colonne* o *couronne de tasses* en el francés original), consistente en una serie de copas de vidrio, dispuestas en forma de círculo, llenas de agua salina o alcalina, conectadas por arcos bimetálicos que se sumergen en el líquido ([34], vol. XIV, pp. 78-79). El arreglo tiene la ventaja sobre la pila voltaica de que no se seca tan pronto y, por tanto, proporciona corriente eléctrica por un lapso mayor ([25], p. 72).

Antes de que sea leída la carta de Volta ante la *Royal Society of London*, Inglaterra (véase arriba), Joseph Banks (1743-1820; Inglaterra) se la muestra a Anthony Carlisle (1768-1840; Inglaterra), cirujano, quien junto con William Nicholson (1753-1815; Inglaterra), químico, construye una pila voltaica de acuerdo con la descripción de Volta -17 monedas de media corona (de plata) alternadas con discos de cobre y separadas con tela remojada en salmuera. Le conectan dos alambres y los sumergen en agua. Encuentran que de cada alambre se liberan gases. Al analizarlos, descubren que el gas del alambre negativo se quema en el aire (hidrógeno), mientras que el del alambre positivo apoya la combustión (oxígeno). Observan que cuando usan alambres de platino el volumen de uno de los gases es el doble del volumen del segundo y concluyen que han descompuesto agua en sus elementos mediante una corriente estática. Describen sus descubrimientos en "Account of the New Electrical or Galvanic Apparatus of Sig. Alex. Volta, and Experiments Performed With the Same" ("Recuento del nuevo aparato eléctrico o galvánico del Sr. Alex. Volta, y experimentos realizados con el mismo")²⁷⁾. Este descubrimiento motiva a otros científicos a construir sus propias baterías e investigar los efectos químicos de la corriente eléctrica ([16], p. 243; [18], p. 34-35; [34], vol. 11, p. 68; [51], pp. 7-8).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) continúa sus estudios de la excitabilidad eléctrica de los músculos y órganos sensoriales (véase 1799). Trata de reconciliar los puntos de vista galvánico y voltaico (opuestos) del galvanismo; emplea el término *cadena galvánica*, o celdas, dentro del cuerpo orgánico para explicar algunos fenómenos observados, tales como la disminución en la sensibilidad de la respuesta nerviosa cuando se usan diferentes químicos, o la electrofisiología de las plantas o *electronatismo*. En la mayoría de sus estudios emplea su propio cuerpo como detector ([34], vol. XI, p. 474).

Por otra parte, algunos meses después de que Nicholson y Carlisle anuncian los resultados de sus experimentos (véase arriba), Ritter perfecciona el método para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno por medio de la electricidad. Coloca los dos alambres de tal forma que pueda recolectar los gases por separado.

Ritter descubre además que el cloruro de plata se descompone más rápido cuando se expone a una radiación invisible y desconocida localizada más allá del violeta en el espectro de luz; con lo que descubre, así, la *radiación ultravioleta* ([3], vol. 10, p. 90).

²⁷⁾ *Journal of Natural Philosophy: Chemistry and Arts*, 4.

(continúa 18/92)

William Cumberland **Cruikshank** (1745-1800; Escocia) construye las primeras baterías eléctricas producidas en masa, con base en los trabajos de **Volta** (véase arriba). Las baterías, de gran tamaño, tienen placas de plata o cobre y cine soldadas por pares y selladas con cera y colocadas en una caja de madera. **Cruikshank** muestra que al descomponer agua, el hidrógeno proviene del alambre conectado al extremo de cobre o plata y el oxígeno del extremo de cinc ([18], p. 35; [51], p. 8). Deduce además que la materia alcalina siempre aparece en el polo negativo, mientras que las sustancias ácidas aparecen en el positivo ([18], p. 39).

La mayoría de la investigación básica en electricidad en el primer tercio del siglo 19 depende de las baterías de **Cruikshank**, las que serían muy usadas hasta la invención de una celda que no se polariza (véase **Daniell**, 1836) ([51], p. 8).

Algunos autores atribuyen a **Cruikshank** el haber planeado la primera de las grandes baterías primarias construidas para el laboratorio de la *Royal Institution* de Londres, Inglaterra ([17], vol. I, p. 177).

William Hyde Wollaston (1766-1828; Inglaterra) descubre la forma de producir platino maleable (véase 1810)⁽²⁸⁾ ([25], pp. 55 y 73).

Por otro lado, **Wollaston** identifica, como resultado de sus experimentos en la descomposición eléctrica del agua, por primera vez la equivalencia de los efectos químicos producidos por electricidad estática y aquellos producidos por electricidad voltaica o dinámica ([18], pp. 35 y 41).

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848; Suecia) construye una pila voltaica con sesenta pares de discos alternantes de cine y monedas de cobre ([34], vol. II, p. 91).

Francisco Salvá y Campillo (1751-1828; España), en la sesión del 14 de mayo de la *Academia de Ciencias de Barcelona*, lee su artículo "Galvanismo y su aplicación a la telegrafía." En este informe hace notar la interferencia atmosférica, atribuyéndola a los alambres sin recubrimiento. Se le considera como el primero en aplicar dinámicamente la electricidad a la telegrafía. En sus experimentos, utiliza ancas de rana como detectores (véanse 1795 y 1798) ([25], pp. 72-73).

En Estados Unidos se construye la primera línea telegráfica, basada en los principios del telégrafo de semáforo de **Chappe** (1794), entre Martha's Vineyard y Boston, Massachusetts ([25], p. 72).

Se realizan los primeros intentos para producir cables enfundados en plomo. Estos contribuirían de manera importante al desarrollo de la conducción de energía eléctrica. Se producen estirando una cubierta de plomo continua sobre un cable, a fin de fijar el núcleo. Poco tiempo después se inventarían varios tipos de prensas hidráulicas con este propósito. Para evitar riesgos de filtración de agua, algunos cables tienen una funda adicional, y se rellena el espacio entre ambas fundas con un compuesto impermeable ([18], p. 260).

William Herschel (1738-1822; Alemania-Inglaterra) descubre, durante una investigación de los efectos caloríficos del espectro solar, que el máximo calentamiento no sucede dentro del rango visible, sino justo más allá del rojo.

²⁸⁾ El cual llegaría a ser un material importante en la fabricación de filamentos. Este hecho representa un paso más hacia el desarrollo del tubo al vacío.

(continúa 1800)

Concluye que además de los rayos visibles, el Sol emite ciertos rayos invisibles, a los cuales denomina *infrarrojos* ([52], p. 42).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) descubre el proceso de galvanoplastia ([3], vol. 10, p. 90).

1800-1805

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) publica una serie de trabajos con los resultados de sus investigaciones detalladas sobre las series de potencial eléctrica correspondientes a las tablas de afinidad; sobre las conductividades de diferentes metales, y sobre la dependencia de la resistencia en función de las dimensiones físicas del cuerpo en estudio (véase 1800) ([34], vol. XI, p. 474).

PROSPERIDAD
(1801-1813)

1801

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) muestra su pila, en París, Francia, ante el *Institut National Français* de N. Bonaparte (véase 1795). Entre los asistentes a la conferencia están Coulomb, Biot, Laplace y el propio Napoleón. Como resultado, Volta es elegido miembro del *Instituto* y se le otorga un premio de 6,000 francos, además del título de Conde ([25], p. 73). Publica "Sur les phénomènes galvaniques" ("Sobre los fenómenos galvánicos")²⁹⁾ ([34], vol. XIV, p. 79).

Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) construye, a solicitud de Volta, una pila formada por 110 pares de placas de cobre y cinc. Con dicha pila demuestra una serie de efectos eléctricos, tales como la descomposición del agua y el derretimiento de alambres.

Por otro lado, van Marum introduce, de manera convincente, las ideas de los efectos de las descargas estáticas al nuevo terreno de la corriente continua ([18], p. 35; [25], p. 73).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra), sólo unas semanas después de haber aceptado el puesto de expositor asistente de la *Royal Institution*, de Londres, Inglaterra, da su primera conferencia, para la cual escoge el tema del galvanismo ([18], p. 36).

Por otro lado, Davy diseña una celda electroquímica formada por dos soluciones, con lo cual demuestra que es posible construir una celda voltaica con un metal y dos electrolitos, o bien, con dos metales y un electrolito ([25], p. 73).

Nicholas Gautherot (1753-1803; Francia), al experimentar con la descomposición del agua por medios eléctricos con electrodos de plata o platino, observa que cuando se interrumpe la corriente se forma un flujo eléctrico en sentido inverso (véase Ritter, 1803). Este fenómeno motivaría a otros científicos a desarrollar una batería de gas y, posteriormente, a la invención del acumulador eléctrico ([25], pp. 73-74).

Por otro lado, Gautherot observa que cuando por dos alambres conectados en paralelo se hace circular una corriente, los alambres tienden a atraerse mutuamente. Aparentemente no reconoce en este hecho la relación entre electricidad y magnetismo, buscada por algunos científicos desde hace tiempo ([25], p. 74).

²⁹⁾ *Journal de physique*, 53, pp. 309-316.

(continúa 1801)

Jean-Baptiste Biot (1774-1862; Francia) edita el informe oficial del examen de los trabajos de Volta y lo presenta ante los miembros de un comité especial (propuesto por la *Primera Clase*), en el que describe el estudio del movimiento del fluido galvánico -basado en la tesis de Laplace de que éste consiste en partículas mutuamente repelentes. Entre los resultados incluye una solución matemática exacta al problema de la distribución eléctrica sobre la superficie de un esferoide irregular (continuación de un desarrollado similar anterior del propio Laplace). Además, mediante el análisis matemático, establece que cuando una botella de Leyden se descarga por contactos sucesivos, las pérdidas de electricidad forman una progresión geométrica ([25], p. 74; [34], vol. II, pp. 136-137).

Paul Erman (1764-1851; Alemania) publica "Ueber die Electroskopischen Phänomene der Voltaischen Säule" ("Sobre los fenómenos electroscópicos de la pila voltaica")⁽³⁰⁾ ([34], vol. X, p. 193).

Giovanni Valentino Mattia Fabbroni (1752-1822; Italia) publica "Dell'azione dei metalli nuovamente avvertita" ("De la acción de los metales nuevamente percibida")⁽³¹⁾ (véase 1792 y 1799) ([34], vol. IV, p. 503).

Charles-Bernard Desormes (1777-1862; Francia) publica "Expériences et observations sur les phénomènes physiques et chimiques que présente l'appareil électrique de Volta" ("Experiencias y observaciones sobre los fenómenos físicos y químicos que presenta el aparato eléctrico de Volta")⁽³²⁾ ([34], vol. IV, p. 74).

Ludicke realiza diversos experimentos con la pila voltaica ([52], p. 42).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) lee ante la *Naturforschende Gesellschaft zu Jena* (sociedad alemana de historia natural) su artículo sobre la evolución del proceso mental durante el descubrimiento de la radiación ultravioleta (véanse 1799 y 1800) ([34], vol. XI, p. 474).

En el curso de sus experimentos, Ritter observa las corrientes termoelectricas (véase Seebeck, 1821) ([3], vol. 10, p. 90).

Por otro lado, la polaridad de la pila voltaica le sugiere, en analogía a un imán de barra, que la pila se puede magnetizar. Ritter anuncia que una aguja, formada por un pedazo de cinc y otro de plata, siempre se orienta de la misma forma en que lo hace la aguja de una brújula ([34], vol. XI, p. 474).

Ritter encuentra además que en una pila en la que sus polos están conectados por medio de un conductor pobre, la fuerza electroscópica sufre un decremento progresivo hacia el centro del alambre conductor. Publica "Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus der Voltaischen Batterie [...] Dritter Brief" ("Experimentos y observaciones sobre el galvanismo de la batería voltaica [...] Tercera carta")⁽³³⁾ ([34], vol. X, p. 193).

H. Moyes describe, en un artículo⁽³⁴⁾ la generación de una luz de arco eléctrico entre dos barras de carbón; convirtiéndose, así, en el primero en informar este fenómeno ([18], p. 37).

³⁰⁾ *Annalen der Physik*, 8, pp. 197-209

³¹⁾ *Atti della R. Società economica di Firenze ossia de' Georgofili*, 4, pp. 349-370.

³²⁾ *Annales de chimie*, 37.

³³⁾ *Annalen der Physik*, 8, pp. 385-473

³⁴⁾ *Philosophical Magazine*, febrero, 1801.

(continúa 1801)

Napoleon Bonaparte (1769-1821; Córcega) autoriza a la *Académie française des sciences*, de París, Francia, a otorgar una medalla «para el mejor experimento realizado cada año en el campo del fluido galvánico» y un premio de 60,000 francos «para quien, con sus experimentos y descubrimientos, realice una contribución a la electricidad y al galvanismo comparable a los de Franklin y Volta.» ([34], vol. XIV, p. 79).

1802

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) dedica sus últimos trabajos a demostrar la identidad de la electricidad normal y el fluido galvánico. Publica "Memoria sull'identità del fluido elettrico col fluido galvanico" ("Memoria sobre la identidad del fluido eléctrico con el fluido galvánico")³⁵⁾ ([34], vol. XIV, p. 80).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) y William Hasledine Pepys (1775-1856; Inglaterra) construyen una de las pilas voltaicas más potentes de esta época. Consta de 60 pares de placas de cobre y cinc, cada una de 0.56 m². La corriente es suficiente como para derretir un alambre de 0.25 cm de diámetro ([18], p. 43; [25], pp. 74-75).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) muestra el efecto calorífico de la electricidad en barras de metal. Calienta estas barras hasta el blanco antes de que se quemen o derritan. Davy es uno de los primeros en describir la luz producida entre dos barras de carbón de madera (arco eléctrico continuo): «Si en lugar de metales, se emplean piezas de carbón calcinadas, la chispa es aún más larga y de un blanco más claro.»³⁶⁾ (véase Moyes, 1801) ([17], vol. I, p. 178). Algunos autores consideran que este hecho marca el inicio del desarrollo de la lámpara incandescente, aunque no existe evidencia de que Davy aprecie el potencial práctico de este fenómeno como fuente de luz. Las barras suaves de carbón poroso que emplea se consumen rápidamente y su fuente de corriente eléctrica es aún cara. Sí hace uso, sin embargo, en sus experimentos químicos, del calor generado por el arco. Durante los siguientes setenta años, muchos investigadores tratarían de desarrollar una lámpara de arco práctico, pero con poco éxito ([18], pp. 37-38; [25], pp. 74-75; [51], p. 64).

Por otro lado, Davy concibe la idea de que toda descomposición química puede ser polar ([18], p. 39).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) inventa la primera pila voltaica seca ([3], vol. 10, p. 90; [34], vol. XI, p. 474).

Paul Erman (1764-1851; Alemania) publica "Ueber die Electroskopischen Phänomene des Gasapparats an der Voltaschen Säule" ("Sobre los fenómenos electroscópicos del aparato de gas en la pila voltaica")³⁷⁾ ([34], vol. X, p. 193).

Einhof realiza diversos experimentos con la pila voltaica ([52], p. 42).

William Hasledine Pepys (1775-1856; Inglaterra) perfecciona el electrómetro de Bennet (véase Bennet, 1787). Inserta en el cilindro recubrimientos móviles para incrementar la sensibilidad del dispositivo ([18], pp. 290-292).

³⁵⁾ *Annali di chimica e storia naturale*, n19, pp. 38-88 y 21, pp. 163-211.

³⁶⁾ *Journal of the Royal Institution*.

³⁷⁾ *Annalen der Physik*, 10, pp. 1-23

(continúa 1802)

Bischof inventa un electroscopio al cual le llama galvanómetro. En lugar de un micrómetro de tornillo, usa una escala de vernier. El nombre de galvanómetro se adoptaría después para los instrumentos electromagnéticos, a diferencia de los electrostáticos ([16], pp. 233-237).

Etiènne-Gaspard Rohertson (1763-1837; Bélgica), miembro de la *Sociedad Galvánica de París*, Francia, informa³⁸⁾ de sus experimentos para generar luz por arco eléctrico entre dos barras de carbón (véanse **Davy** arriba, y **Curteil**, abajo) ([18], p. 37).

Curteil es uno de los primero en generar luz a partir de chispas eléctricas producidas entre dos puntos de carbón (véanse **Davy** y **Robertson**, arriba) ([25], p. 75).

Gian Domenico Romagnosi (1761-1835; Italia) establece experimentalmente la relación directa entre electricidad y magnetismo: describe³⁹⁾ su descubrimiento de que una corriente galvánica a través de un alambre provoca que una aguja magnética se desvíe a una posición perpendicular del alambre. Sin embargo, algunas autoridades científicas consideran que el hecho no es concluyente, y atribuyen los resultados a otras causas diferentes a la acción magnética de la corriente, tales como la atracción o repulsión electrostática, por lo que **Romagnosi** es ignorado ([3], vol. 8, p. 1014; [18], p. 53; [25], p. 75; [57], p. 361).

Giovanni Aldini (1762-1834; Italia) da algunas conferencias en la *Sociedad Galvánica de París*, Francia, sobre los fenómenos eléctricos ([34], vol. 1, p. 108).

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848; Suecia) publica un tratado sobre galvanismo, en el que revisa todo lo conocido y hecho hasta ahora sobre la acción de la electricidad en sales y minerales ([34], vol. II, p. 91).

John Dalton (1766-1844; Inglaterra) introduce la teoría atómica a la química ([1]).

1803

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) descubre que el ácido funciona mejor como electrólito de las baterías que la solución de agua salina (véase **Oersted**, abajo) ([25], p. 75).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) descubre, independientemente de **Davy** (véase arriba), que un ácido es mejor electrólito de las baterías que la solución de agua con sal ([25], p. 75).

Charles-Bernard Desormes (1777-1862; Francia) y **Jean Nicolas Pierre Hachette** (1769-1834; Francia), en el *Institut Nationale Française*, de París, Francia, construyen una pila seca similar a la pila voltaica. Sustituyen los discos húmedos de material poroso del dispositivo voltaico con una pasta formada con varias sales, gomas y algunos otros materiales. Publican "Mémoire pour servir à l'histoire de cette partie de l'électricité qu'on nomme galvanism" ("Memoria para

³⁸⁾ *Journal de Paris*.

³⁹⁾ *Gazzetta di Trento*.

(continúa 1803)

servir a la historia de esta parte de la electricidad que se denomina galvanismo"⁴⁰⁾ ([18], p. 48; [34], vol. IV, p. 74).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia), al igual que Gautherot en 1801, observa una corriente eléctrica en sentido inverso que se produce después de desconectar el circuito para la descomposición del agua, e intenta aprovechar el efecto, utilizando placas de oro, para construir un acumulador eléctrico. Luego de varios experimentos con diferentes materiales fabrica un dispositivo consistente en un solo metal, cuyos discos están separados con paño, franela o cartón, humedecidos en un líquido que no afecta químicamente al metal. Conecta los extremos de su aparato a una pila voltaica ordinaria, éste se electrifica; al desconectarlo, retiene la carga y puede emplearse en lugar de la pila. A su dispositivo se le llama *pila secundaria de carga*, o *acumulador* ([3], vol. 10, p. 90; [25], p. 75; [34], vol. XI, p. 474; [52], p. 43).

Carl Christian Friedrich Jäger (o Jaeger) publica "Ueber die electroskopischen Ausserungen der Voltaischen Ketten und Säulen" ("Sobre la exposición electroscópica de la cadena y la pila voltaicas")⁴¹⁾ ([34], vol. X, p. 193).

Giovanni Aldini (1762-1834; Italia) realiza en Inglaterra algunas demostraciones de los experimentos sobre el galvanismo ([34], vol. I, p. 108).

René-Just Haüy (1743-1822; Francia) escribe, a petición de N. Bonaparte, *Traité de physique* (*Tratado de física*). En él, Haüy describe algunas de sus investigaciones en el área de la electricidad y el magnetismo. Sus aportaciones se basan en sus experimentos sobre los efectos piroeléctricos en los cristales (especialmente la turmalina y la boracita) y sobre los fenómenos piezoeléctricos ([34], vol. VI, p. 178).

Joseph-Aignan Sigaud de Lafond (1730-1810; Francia) publica *De l'électricité* (*De la electricidad*) ([40], p. 1546).

Joseph Constantine Carpue (1764-1846; Inglaterra) utiliza la electricidad con fines terapéuticos; describe sus métodos en *An Introduction to Electricity and Galvanism with Cases Showing Their Effects in the Cure of Disease* (*Introducción a la electricidad y el galvanismo, con casos que muestran sus efectos en la cura de enfermedades*) ([16], p. 79).

1803-4

Giovanni Aldini (1762-1834; Italia) intenta determinar la velocidad de la electricidad en los conductores. Utiliza un cable sobre un bote y un retorno por agua para comunicarse entre Calais y Fort Rouge, Francia; concluye que la electricidad «viaja a una velocidad sorprendente» ([16], p. 60; [25], p. 76; [34], vol. I, p. 108).

ca. 1804

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) llega a la conclusión de que «la composición y descomposición debidas a la electricidad son atribuibles a la ley de atracciones y repulsiones eléctricas». Concluye además que «dichas atracciones químicas y eléctricas son producidas por una misma causa, la cual actúa en un caso sobre partículas, mientras que en el otro actúa sobre masas. Más aún, esta misma propiedad, bajo diferentes modificaciones, es la causa de todos los

⁴⁰⁾ *Annales de chimie*, 44.

⁴¹⁾ *Annalen der Physik*, 13, pp. 399-433.

(continúa ca. 1804)

fenómenos exhibidos por las diferentes combinaciones voltaicas.» Entre las concepciones de Davy se encuentra el siguiente razonamiento: «Si la unión química es de la naturaleza que he aventurado suponer, no importa qué tan poderosas puedan ser las energías naturales de los elementos de los cuerpos, existe, sin embargo, toda probabilidad de un límite para su intensidad, mientras que los poderes de nuestros instrumentos artificiales parecen capaces de un crecimiento indefinido.» Predice así, con bastante acierto, las posibilidades futuras del uso de la corriente eléctrica ([18], p. 39).

1804

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848; Suecia) y Wilhelm Hisinger (1766-1852; Suecia) demuestran que las soluciones neutras de sal se pueden descomponer por medios eléctricos, resultando la aparición de ácido y metal en los dos polos. Ello prepara el camino para las teorías electroquímicas del propio Berzelius y las de Davy ([25], p. 76; [34], vol. VI, p. 436).

Jean-Baptiste Biot (1774-1862; Francia) empieza a trabajar con Cuvier para entender los aspectos químicos de la pila voltaica. Continúan con los experimentos de Pepys y encuentran que la pila activa absorbe oxígeno, el cual logran cuantificar. Descubren que siempre que quede oxígeno para ser absorbido, la pila permanece en acción, pero su intensidad decrece. Sin embargo, la pila funciona aun cuando esté en un recipiente al vacío de una bomba de aire ([34], vol. II, p. 136).

Benedette Mojon utiliza unas agujas como circuito eléctrico y descubre que quedan magnetizadas. Nunca explica su circuito ni da conclusión alguna ([25], p. 76).

El 24 de agosto, Jean-Baptiste Biot (1774-1862; Francia) y Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850; Francia) realizan un ascenso en globo aerostático de hidrógeno (el primero con propósitos científicos) con el objetivo de investigar si la intensidad del campo magnético terrestre decrece con la altura, tal como había sido sugerido por los experimentos de Saussure en los Alpes (véase 1767). Calculan las oscilaciones de una aguja magnetizada a diferentes altitudes y concluyen que el campo magnético no varía notablemente con la altitud, por lo menos no hasta 4,000 m de altura. Biot y Gay-Lussac llevan también alambres largos para evaluar la electricidad atmosférica. Publican "Relations d'un Voyage aérostatique" ("Relaciones de un viaje aerostático")⁽⁴²⁾ ([3], vol. 2, p. 227; [34], vol. II, p. 135 y vol. I, p. 318).

Jean-Baptiste Biot (1774-1862; Francia) trabaja con los datos recopilados por Humboldt en sus diversos viajes. Intenta obtener las leyes generales que gobiernan la inclinación magnética, usando como modelo la tesis de la existencia de un imán infinitamente pequeño situado en el centro de la Tierra y alineado perpendicularmente al ecuador magnético. Los valores teóricos que obtiene para la inclinación concuerdan satisfactoriamente con las lecturas de Humboldt, particularmente para el hemisferio norte. Atribuye las anomalías surgidas a factores meramente locales ([34], vol. II, p. 135).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) empieza a trabajar como aprendiz de encuadernador. Ello le da oportunidad de leer las publicaciones que llegan al taller; entre ellas, un artículo de Tytler sobre electricidad, escrito hacia 1795 para la tercera edición de la *Encyclopaedia Britannica*. El tema le despierta tal

⁴²⁾ *Journal de Physique*, 59

(continúa 1804)

interés que construye un generador electrostático muy burdo, con botellas de vidrio vacías y leña, y una pila voltaica, aun cuando ésta es muy débil. Con dichos instrumentos empieza a experimentar en electroquímica ([3], vol. 19, p. 83; [34], vol. IV, p. 528; [40], p. 545).

Jean André Deluc (1727-1817; Suiza) publica *Traité élémentaire sur le fluide électrogalvanique* (Tratado elemental sobre el fluido electrogalvánico) ([34], vol. IV, p. 29).

Charles-Bernard Desormes (1777-1862; Francia) publica "Du doubleur d'électricité" ("Sobre el duplicador de electricidad")⁴³⁾ ([34], vol. IV, p. 74).

Joseph Izarn publica *Manual del Galvanismo*, en el cual describe un método para magnetizar agujas ([25], p. 76).

ca. 1805

Behrens y Marechaux construyen la primera pila voltaica efectiva ([52], p. 42).

1805

El rápido crecimiento del uso de las celdas primarias, como única fuente de corriente eléctrica, hace que pronto se descubran dos puntos débiles de su operación. El primero, el de la *acción local*, es resultado del deterioro de la pila, aun cuando ésta no se use, debido a la desintegración de la placa de cinc, lo cual provoca una reducción gradual en la producción de corriente de salida. Poco tiempo después se descubriría que la acción local se debe a ciertas impurezas en la placa de cinc, mismas que generan corrientes eléctricas locales que fluyen dentro del electrolito y no pueden usarse fuera de la pila. Durante muchos años no se resolvería el problema, el único remedio práctico sería el uso intermitente de la pila, para lo cual se diseñan varios dispositivos mecánicos que levantan las placas fuera de la solución mientras la batería está fuera de uso (véanse Sturgeon y Kemp, 1828).

El segundo problema es el de la *polarización*, detectado por los usuarios de las pilas de cinc y cobre cuando se dan cuenta de que sobre la superficie de la placa de cobre se forman burbujas (hidrógeno) y se reduce la corriente de salida. Notan también que si se eliminan estas burbujas de la placa, la actividad de la batería vuelve a la normalidad. La razón de la reducción de la corriente se debe a dos causas: por una parte las burbujas forman una película de gas que tiene una alta resistencia eléctrica; por otra el hidrógeno y el cinc forman, a su vez, una pila eléctrica que genera una fuerza electromotriz inversa (véanse A.-C. Becquerel, 1829 y Daniell, 1836) ([18], pp. 44-45).

Theodor Christian Johann Dietrich von Grotthuss (1785-1822; Alemania) presenta una explicación muy original del proceso de la electrólisis del agua; postula que las moléculas de agua y de sal son polarizadas y, bajo la influencia de los polos eléctricos, forman cadenas electromoleculares en la solución, cuyos miembros de los extremos se descargan en los polos opuestos de la corriente. Este mecanismo de electroconductividad sería aceptado hasta la postulación de la teoría de la disociación electrolítica (véase Arrhenius, 1884) ([34], vol. I, p. 558).

Luigi Gosparo Brugnatelli, siendo profesor de química en la Universidad de Pavia, Italia, logra platear dos medallas de plata con oro empleando electricidad.

⁴³⁾ *Annales de chimie*, 49.

(continúa 1805)

El suyo es el primer registro escrito del uso de la galvanoplastia⁴⁴⁾ (véase Ritter, 1800) ([25], pp. 76-77).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania), al regreso de su viaje por el continente americano, anuncia su descubrimiento de que la intensidad del campo magnético terrestre varía en diferentes puntos del globo terráqueo ([34], vol. XII, p. 50).

En marzo, Humboldt y Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850; Francia) se embarcan en una travesía por el continente europeo para registrar los elementos magnéticos en diferentes puntos de su ruta. Para obtener la intensidad magnética, determinan primero el período de oscilación de una aguja magnetizada, después encuentran que la intensidad magnética es proporcional al cuadrado del número de oscilaciones de la aguja, desplazada ligeramente del meridiano magnético, en un determinado tiempo. Concluyen que la componente horizontal de la intensidad magnética terrestre se incrementa de norte (Berlín) a sur (Nápoles), mientras que la intensidad total disminuye al acercarse al ecuador (véase 1807) ([34], vol. V, pp. 318-319).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827; Italia) escribe *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico* (publicado en 1814) ([34], vol. XIV, p. 82).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) publica *Das Elektrische System der Körper, ein Versuch* (El sistema eléctrico del cuerpo, una investigación) en donde describe sus experimentos eléctricos con, principalmente, cuerpos inorgánicos ([34], vol. XI, p. 474).

David Rittenhouse (1732-1796; Estados Unidos) publica "Experiments on the *Gymnotus electricus*" ("Experimentos con el *Gymnotus electricus*")⁴⁵⁾ ([34], vol. XI, p. 472).

Weiss (Alemania) perfecciona aún más el *Electroscopio de Hojas de Oro* que Bennet construyera en 1786-87 y Pepys mejorara en 1802. Weiss añade un tubo de vidrio interno para mejorar el aislamiento de las hojas de oro. De esta forma el dispositivo sería empleado por muchos años y probaría ser una herramienta poderosa para los investigadores ([18], p. 291).

1806

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) dicta la conferencia bakeriana de este año como "On Some Chemical Agencies of Electricity" ("Sobre algunas acciones químicas de la electricidad"), en la que traza algunos rasgos del desarrollo histórico de la descomposición del agua por medios eléctricos; establece que los orígenes de dicho fenómeno son las investigaciones de Nicholson y Carlisle, a quienes siguió Cruikshank con experimentos sobre la descomposición de los cloruros del magnesio, soda y amoníaco, y quien dedujo que la materia alcalina siempre aparecía en el polo negativo, mientras que la ácida en el positivo, y presenta sus propias experiencias ([18], p. 39).

Amadeo Avogadro (1776-1856; Italia) publica una memoria sobre el estado de un cuerpo no conductor colocado entre dos capas electrificadas con caras elementales opuestas, titulada "Considerations sur l'état dans lequel doit se

⁴⁴⁾ *Philosophical Magazine*.

⁴⁵⁾ *Philadelphia Medical and Physical Journal*, 1, pt. 2, pp. 96-100 y 159-161.

(continúa 1806)

trouver une couche d'un corps non-conducteur de l'électricité, lorsque'elle est interposée entre deux surfaces douées d'électricités de différente espèce" ("Consideraciones sobre el estado en el cual se debe encontrar una capa de un cuerpo no conductor de electricidad, la cual es colocada entre dos superficies electrificadas de diferente especie")⁴⁶⁾. Sostiene que entre dos cuerpos cargados hay una capa de aire, éste quedaría cargado (con lo que postula un concepto primitivo de la polarización de los dieléctricos). Sugiere que la capacidad de un condensador es independiente del gas entre las placas y que el proceso de inducción sería el mismo incluso en el vacío ([34], vol. I, pp. 347 y 349).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) asume el cargo de profesor en la Universidad de Copenhague, donde sus primeras investigaciones físicas se relacionan con corrientes eléctricas y acústica ([3], vol. 8, p. 101-4).

ca. 1807

Johann Rudolf Deiman (1743-1808; Países Bajos) publica *Treatise on Medical Electricity* (Tratado sobre electricidad médica) ([40], p. 433).

1807

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra), en su conferencia bakeriana de este año, informa que, como resultado de sus investigaciones sobre la electroquímica, logra descomponer metales alcalis y es el primero en descubrir el sodio y el potasio. Este descubrimiento es la base del proceso Castner de fabricación comercial del sodio ([1], [25], p. 77). El hecho tiene un impacto considerable en la comunidad científica debido a que abre las puertas para los posteriores descubrimientos de los demás alcalis y tierras raras, los cuales no se han podido descomponer por electrólisis ([18], p. 39).

Sugiere que la acidez y la alcalinidad de las sustancias deben estar relacionadas con la electricidad ([12], vol. I, p. 348).

En diciembre hace uso de la batería de la *Royal Society of London*, de 500 pares de placas, para realizar sus experimentos sobre el arco eléctrico; obtiene así una chispa de unos 2.5 cm de largo ([25], p. 77).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) publica un trabajo en el que, a partir de fundamentos filosóficos, insiste que la electricidad y el magnetismo deben estar relacionados. Es de los pocos científicos que creen en la existencia de este vínculo ([36], p. 76).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) y Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850; Francia) publican "Observations sur l'intensité et l'inclinaison des forces magnétiques, faites en France, en Suisse, en Italie, etc" ("Observaciones sobre la intensidad y la inclinación de las fuerzas magnéticas, realizadas en Francia, Suiza, Italia, etc")⁴⁷⁾ (véase 1805) ([34], vol. V, pp. 319 y 327).

En las calles de Inglaterra se instala la iluminación por gas ([1]).

1808

William Hasledine Pepys (1775-1856; Inglaterra) continúa sus investigaciones para mejorar las pilas voltaicas y termina de construir una batería de 2,000 placas, cada una de 82.56 m² de superficie, para la *Royal Institution*, Londres, Inglaterra. Las placas están arregladas en 200 grupos de 10 celdas cada

⁴⁶⁾ *Journal de physique*, 63, pp. 450-462.

⁴⁷⁾ *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil*, 1

(continúa 1808)

uno; el electrolito es una solución de 108 partes de ácido nítrico y 25 partes de ácido sulfúrico en 1168 partes de agua ([18], p. 43; [25], p. 78).

En julio, Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) obtiene permiso para instalar una nueva batería en la *Royal Institution*, Londres, Inglaterra (véase Pepys, arriba), ya que la anterior (construida por Cruikshank) se quemó por los muchos experimentos realizados por Davy. Con ella realiza la primera demostración pública del arco eléctrico. Su lámpara está formada por filamentos de carbón vegetal, de aproximadamente 2.5 cm de largo y 0.4 cm de diámetro, separados por una distancia de 0.064 a 0.085 cm. Descubre que la luz del arco es más brillante cuando utiliza conductores de carbón vegetal, en lugar de los metálicos. Encuentra que luego de producida la descarga se quema más de la mitad de cada filamento y que si se van quitando automáticamente las partes quemadas, se produce un arco constante de, al menos, 10 cm de largo. Observa que las sustancias que se colocan en la trayectoria del arco se queman o se derriten inmediatamente, algunas incluso cuando el experimento se realice dentro de un recipiente al vacío (véase 1807) ([8], vol. XI, p. 390; [18], p. 38; [38], p. 9).

Sin embargo, todavía no se concibe la idea de utilizar este fenómeno como fuente de luz, probablemente, porque resulta muy caro y la fuente de potencia tiene un lapso de vida muy corto. Por otro lado, el uso comercial resulta insatisfactorio, dado que la luz producida resulta trémula y son necesarios ciertos ajustes constantes para mantener en operación la lámpara.

Además, con dicha batería aísla calcio, bario, estroncio y magnesio. Presenta un artículo a la *Royal Society of London* sobre el descubrimiento del magnesio y del potasio ([3], vol. I, p. 523; [25], p. 77).

Christian Heinrich Pfaff (1773-1852; Alemania) observa que al sumergir plomo (Pb) y estaño (Sn) en el ácido nítrico de una batería la dirección de la corriente eléctrica se invierte temporalmente ([12], vol. I, p. 347).

Johann Salomo Christoph Schwelgger (1779-1857; Baviera) cuestiona la validez de la teoría del contacto de Volta (al igual que en un artículo de 1806). Describe una pila activa que, de acuerdo con la teoría, no debe ser capaz de generar electricidad alguna. Primero argumenta que el conductor líquido debe jugar un papel más importante en la pila, que el simple hecho de prevenir el contacto metálico. Posteriormente ofrece una explicación en términos de una polarización del agua, provocada por las placas de metal ([34], vol. XII, p. 254).

Johann Wilhelm Ritter (1776-1810; Silesia) cree en la existencia de una *electricidad subterránea* (por analogía con el geomagnetismo) y supone que ha descubierto el principio general que gobierna la interdependencia de la naturaleza inorgánica con los fenómenos humanos. Sólo unos cuantos colegas creen en la autenticidad de sus estudios, a los que Ritter denomina *siderismo*. Publica un único volumen de *De siderismus, Neue Beiträge zur Nähern Kenntniss des Galvanismus* (*Del siderismo, nuevas contribuciones por medio del conocimiento cercano del magnetismo*) ([34], vol. XI, p. 474).

ca. 1809

Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834; Francia) publica varios artículos sobre electricidad y magnetismo ([34], vol. VI, p. 2).

1809

John George Children (1777-1852; Inglaterra) construye una batería de 20 pares de placas de cobre y cinc, cuyas dimensiones son de 15.24 x 5 x 0.32 cm. Con esto, confirma las observaciones de Hare y Davy, en el sentido de que la

(continúa 1809)

intensidad de la corriente se incrementa con el número de placas y la cantidad de flujo, con el área de las placas (125). p. 78).

Jean André Deluc (1727-1817; Suiza) envía a la *Royal Society of London* un extenso artículo en el que discute la forma de acción de la pila galvánica y muestra que «en la pila de Volta, se pueden separar los efectos químicos de los eléctricos». Las ideas contenidas en este artículo⁴⁸⁾ lo llevan a diseñar un electroscopio (Deluc lo llama columna eléctrica), consistente en un numeroso grupo de elementos, cada uno de los cuales está formado por un disco muy delgado de cinc y de un papel plateado sólo por uno de sus lados, que está en contacto con el disco de cinc. Estos elementos se sujetan firmemente dentro de un cilindro de vidrio y sus extremos se conectan por medio de un alambre, lo cual genera una corriente eléctrica. El objetivo de esta columna eléctrica es el de estudiar los fenómenos atmosféricos. Los seguidores de Deluc claiman que este es un «descubrimiento muy valioso», aun cuando no es más que una pila voltaica común (134). vol. IV, p. 29).

Amadeo Avogadro (1776-1856; Italia) desarrolla la idea de Davy en el sentido de que existe una conexión entre acidez, alcalinidad y electricidad (véase Davy, 1807) (134). vol. I, p. 348).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra), en una demostración pública, produce la luz de arco más brillante hasta entonces alcanzada. Utiliza la batería de 2,000 placas, construida por Pepys en 1808. La chispa mide de 7.5 a 10 cm de largo y el calor que provoca es capaz de evaporar, casi instantáneamente, diamante y derrite cal, magnesio y zafiro (125). p. 78).

A partir de este año, las demostraciones de la iluminación por arco eléctrico serían una de las características regulares de las conferencias públicas (117). vol. V, p. 178).

John Dalton (1766-1844; Inglaterra) estudia el efecto de las chispas eléctricas en los gases de hidrocarburos (153).

El telégrafo de semáforo de Chappe de 1794 contribuye para que las tropas napoleónicas puedan tomar la ciudad de Munich en este año. El Primer Ministro de Baviera insta a Soemmerring, presidente de la *Academia de Ciencias Bávaresa*, para que construya un sistema de telegrafía (125). p. 78).

Santuel Thomas Soemmerring (1755-1830; Polonia-Alemania), después de unos treinta días de que el Primer Ministro de Baviera le solicita un sistema de telegrafía, presenta un prototipo de telégrafo eléctrico. Es el primer sistema telegráfico que utiliza corriente eléctrica, en lugar de electricidad estática (véase Salvá y Campillo, 1800). El sistema requiere de 35 alambres (uno por cada letra o símbolo), los que terminan en electrodos de oro dentro de tanques de vidrio llenos de agua acidulada. Se conecta una celda voltaica a cualquier alambre según sea el caso de la letra o símbolo que uno quiera transmitir. La corriente produce electrólisis dentro del recipiente correspondiente en el extremo receptor y ésta genera burbujas, la que son recolectadas por una cuchara de vidrio invertida; cuando se juntan suficientes burbujas, la cuchara se levanta y deja caer un peso en una campana, para que ésta suene y así se indique la letra transmitida.

⁴⁸⁾ De acuerdo a uno de sus biógrafos.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1809)	Soemmerring realiza una prueba del sistema en puntos que distan de 1,800 a 2,250 m. Durante varios años trató de mejorarlo; sin embargo, nunca resultaría de uso práctico ([1], [16], p. 241; [18], p. 74; [25], p. 78; [51], p. 26).
1809-15	Jacob Green (1790-1841; Estados Unidos) y Erskine Hazard escriben <i>An Epitome of Electricity & Galvanism</i> (<i>Epítome de la electricidad y el galvanismo</i>) ([34], vol. V, p. 518).
ca. 1810	William Hyde Wollaston (1766-1828; Inglaterra) realiza algunas mejoras a la pila voltaica. Diseña lo que se considera un gran logro en la disposición de las placas. Para reducir el desperdicio de cinc e incrementar la salida de potencia, Wollaston aplica una capa doble de cobre al cinc, de tal forma que el cinc queda emparedado por el cobre, pero separado de él por tiras de corcho y madera. Construye varios modelos de esta pila de tamaño miniatura ([18], p. 43). Además inventa un procedimiento para fabricar alambres de platino muy delgados, de pocas millonésimas de centímetro de diámetro. Estos alambres se utilizan como instrumento de medición para comparar la fuerza de las celdas. Esta fuerza se mide por la longitud del alambre que puede ser fundido por sus pequeñas celdas ([25], p. 79).
1810	Theodor Christian Johann Dietrich von Grotthuss (1785-1822; Alemania) intenta desarrollar una teoría electromolecular unificada de diferentes fenómenos físicos y químicos⁴⁹⁾ ([34], vol. V, p. 558). Martin (o Martinus) van Marum (1750-1837; Países Bajos) y Christian Heinrich Pfaff (1773-1852; Alemania) prueban continuamente que las electricidades estática y galvánica son idénticas ([34], vol. IX, p. 152).
1811	Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) demuestra el arco eléctrico (véase 1808) ante la <i>Royal Society of London</i>, Inglaterra ([61], p. 22). Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) tiene la oportunidad de pertenecer a la <i>City Philosophical Society</i> (sociedad de jóvenes interesados en la filosofía y en la ciencia) y escuchar las conferencias dictadas por Tatum sobre diversos temas científicos, entre los que se encuentran la electricidad y el galvanismo. Es en este lugar donde Faraday ve por primera vez una verdadera pila voltaica en operación. Poco después recibe un boleto para asistir a las famosas conferencias dictadas por Davy. De regreso en su hogar, revisa y corrige su cuaderno de notas, lo encuaderna (véase 1804) y le envía un ejemplar a Davy junto con una nota en la cual le pide trabajo ([3], vol. 19, p. 83; [34], vol. IV, p. 528). Theodor Christian Johann Dietrich von Grotthuss (1785-1822; Alemania) descubre que una mezcla de gas, encerrada en un tubo muy delgado, no se enciende si no se le aplica una chispa o una flama (véase Davy, 1815) ([34], vol. V, p. 558).

⁴⁹⁾ La cual anticipa ciertos elementos de la moderna teoría cinetico-molecular.

(continúa 1811)

Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857; Baviera) recomienda reducir a dos el número de alambres en los sistemas telegráficos. También propone que se utilicen dos voltajes para mandar letras y números. Sin embargo, nunca intenta poner en práctica estas ideas (véase 1808) ([25], p. 79).

Samuel Thomas Soemmerring (1755-1830; Polonia-Alemania) y Pavel L. Schilling (1786-1857; Rusia) continúan los esfuerzos de 1809 del primero de ellos sobre telegrafía, pero esta vez realizan algunos experimentos a través del Río Isar, en Alemania, por medio de cables subacuáticos (véase 1812). Soemmerring publica "Ueber einen elektrischen Telegraphen" ("Sobre un telégrafo eléctrico")⁵⁰ ([25], p. 79, [34], vol. XII, p. 511).

La Real Academia de Ciencias Danesa ofrece un premio para quien proporcione la mejor teoría del geomagnetismo ([34], vol. VI, p. 107).

Christopher Hansteen (1784-1873; Noruega) participa en el concurso propuesto por la Real Academia de Ciencias Danesa. Trata de explicar la dirección e intensidad de la fuerza magnética en cualquier punto de la Tierra, basándose en la hipótesis de dos imanes de diferente potencia y tamaño; teoría análoga a la de Halley de 1692. Cuando intenta desarrollar matemáticamente las consecuencias de su teoría, Hansteen se enfrenta con situaciones demasiado complejas⁵¹ ([34], vol. VI, p. 107).

1812

Giuseppe Zamboni (1776-1846; Italia) inventa una pila seca, que llegaría a conocerse como pila de Zamboni ([40], p. 1841), siendo ésta la siguiente innovación importante en el diseño de las pilas voltaicas (después de la Deluc). Zamboni publica "Descrizione della colonna elettrica del Signore Deluc e considerazione dell'analisi de lui Fatta della pile Voltiana" ("Descripción de la columna eléctrica del Sr. Deluc y consideraciones del análisis que él hizo de la pila voltaica") ([52], p. 42).

Siméon-Denis Poisson (1781-1842; Francia) lee una memoria⁵² ante la Académie française des sciences, en la que informa de sus conclusiones sobre la electrostática, teoría que desarrolla a un estado de madurez. En el párrafo inicial, Poisson acepta las concepciones de la teoría dualista de los dos fluidos eléctricos. Establece que cuando la distribución de los dos fluidos es uniforme y equitativa, se dice que el cuerpo está en su estado natural y cuando no es así, el cuerpo está *electrificado*. En un cuerpo metálico, la carga eléctrica (i.e. el exceso de cualquiera de los dos fluidos) se distribuye sobre su superficie, formando una capa cuyo grosor en cualquier punto depende de la forma geométrica de la superficie.

Poisson afirma que la fuerza repulsiva debida a todas las partículas de esta capa debe desvanecerse en cualquier punto del interior del conductor, ya que de lo contrario se perturbaría el estado natural que existe ahí. Con ayuda de este principio puede determinarse la distribución de electricidad en la capa superficial. Por ejemplo, una proposición bien conocida de la teoría de las atracciones asevera que un cascarón hueco cuyas superficies limitantes son dos elipsoides concéntricos similares no ejerce fuerza atractiva alguna en cualquier punto del interior hueco; de aquí, Poisson afirma que puede inferirse que si un conductor metálico electrificado tiene la forma de un elipsoide, la carga se

⁵⁰) *Denkschriften der Bayerische Akademie der Wissenschaften, München* (1809-1810).

⁵¹) En 1839, Gauss daría la teoría correcta, quien admitiría la influencia de Hansteen.

⁵²) *Mémoire de l'Institut* (1811).

(continúa 1812)

distribuirá sobre él proporcionalmente a la distancia normal desde la superficie hasta un elipsoide similar adyacente (véase 1813) (*J49*, vol. I, p. 61).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) publica, después de su artículo de 1807, un segundo trabajo titulado *Investigaciones sobre la identidad de las fuerzas químicas y eléctricas* (que se tradujo al francés en 1813). Sus fundamentos filosóficos son totalmente kantianos. Cree firmemente en los postulados de Kant de 1786, sobre la conversión de las fuerzas de la naturaleza. Oersted asegura que sólo se necesitan descubrir las condiciones necesarias bajo las cuales tal conversión tendría lugar. Supone que las condiciones para transformar electricidad en magnetismo se deben deducir de la naturaleza de la electricidad. Para él, la electricidad es un conflicto de aspectos positivos y negativos del magnetismo, conflicto que se manifiesta en el espacio en forma de ondas. Cuando el conflicto eléctrico se restringe a un alambre delgado, se genera calor; si el alambre es más delgado, se produce luz y si el alambre es aún más delgado, Oersted asegura que se debe producir magnetismo⁵³⁾ (*J36*, p. 76; *J4*, vol. X, p. 185).

Samuel Thomas Soemmerring (1755-1830; Polonia-Alemania) y Pavel L. Schilling (1786-1837; Rusia) utilizan una corriente eléctrica para detonar minas (*J35*, vol. IX, p. 564). Siguiendo una sugerencia de Salvá y Campillo de 1795, emplean un material soluble, por ejemplo caucho, para aislar el alambre conductor (*J52*, p. 43).

1813

Siméon-Denis Poisson (1781-1842; Francia) muestra⁵⁴⁾ que la ecuación de Laplace debe ser igual a $4\pi\rho$ dentro del cuerpo atrayente, donde ρ es la densidad de la materia atrayente en esos puntos. En esta misma memoria, Poisson llama la atención sobre la utilidad de esta ecuación en las investigaciones eléctricas, haciendo notar que su valor sobre la superficie de cualquier conductor debe ser constante. Las fórmulas conocidas para las atracciones de los esferoides muestran que cuando un conductor cargado tiene forma esferoidal, la fuerza repelente que actúa sobre un pequeño cuerpo cargado situado inmediatamente fuera del conductor estaría dirigida en ángulos rectos a la superficie conductora y sería proporcional al grosor de la capa superficial de electricidad en ese lugar (véase 1812). Poisson sospecha que este teorema puede ser válido para conductores no esferoidales (resultado que Coulomb virtualmente propusiera en 1786). Laplace le sugiere a Poisson la demostración del teorema para el caso general. Poisson basa su trabajo en el siguiente principio: en cualquier punto del interior de un conductor, esté en presencia o no de otros conductores, la fuerza resultante debida a todas las capas superficiales de electricidad debe ser nula. Discute en particular uno de los problemas clásicos de la electrostática: la determinación de la densidad superficial sobre dos esferas conductoras cargadas a cualquier distancia una de la otra. La solución depende de funciones gamma dobles en el caso en general; cuando están en contacto, depende de funciones gamma ordinarias. Poisson da la solución en términos de integrales definidas, lo cual es equivalente a las funciones gamma; después de reducir sus resultados a números, Poisson los compara con los resultados experimentales de Coulomb (*J49*, vol. I, pp. 61-62).

John George Children (1777-1852; Inglaterra) construye la batería galvánica más grande de esta época (*J40*, p. 330).

53) Estas suposiciones no son del todo correctas, por lo que tendría que experimentar siete años para lograr descubrir el efecto electromagnético.

54) *Bulletin de la Société Philomathétique*, III (1813).

X. OCTAVO CICLO ECONÓMICO LARGO (1787-1842)

(continúa 1813)

Joseph Philippe François **Deleuze** (1753-1835; Francia) publica *Histoire critique du magnétisme animale* (*Historia crítica del magnetismo animal*), en 2 volúmenes, en la cual se pronuncia en favor del mesmerismo y sugiere que la Academia de Medicina realice un estudio de este fenómeno ([40], p. 438).

Michael **Faraday** (1791-1867; Inglaterra) empieza a trabajar con **Davy** (véase 1810) ([3], vol. 19, p. 84; [25], p. 79).

RECESIÓN (1814-1827)

1814

En una carta del 15 de julio, Augustin Jean **Fresnel** (1788-1827; Francia) hace su primer enunciado en favor de la concepción de que la luz es una forma de movimiento, en el cual se vislumbra ya la posibilidad de referirse al calor, a la luz y a la electricidad como diferentes modificaciones de un fluido único y universal ([34], vol. V, p. 167).

Jöns Jacob **Berzelius** (1779-1848; Suecia) escribe *Theory of chemical proportions and the chemical action of electricity* (*Teoría de las proporciones químicas y la acción química de la electricidad*) ([1]).

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio **Volta** (1745-1827; Italia) publica *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico* (escrito en 1805) ([34], vol. XIV, p. 82).

Ralph **Wedgwood** propone al Almirantazgo Inglés una forma de telégrafo. Esta proposición es rechazada como innecesaria. Sin embargo, no existe ninguna descripción de este equipo ([25], p. 80).

Francis **Ronalds** (1788-1873; Inglaterra) conoce a **Delue**, quien lo motiva para que se interese en la ciencia de la electricidad ([18], p. 71).

William Higgins (1763-1825; Irlanda) publica *Experiments and Observations on the Atomic Theory and Electrical Phenomena* (*Experimentos y observaciones sobre la teoría atómica y los fenómenos eléctricos*), en 8 volúmenes ([40], p. 799).

El distrito de St. Margaret's, Westminster, Inglaterra es el primero en ser iluminado por gas ([1]).

ca. 1815

Jean-Claude de **Lamétherie** (1743-1817; Francia) admite que la fuerza vital que diferencia la materia orgánica de la inorgánica es la acción galvánica ([34], vol. VII, p. 604).

1815

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra), como resultado de una investigación que realiza para determinar las causas de las explosiones en las minas, inventa una lámpara de seguridad para los mineros. Se basa en los descubrimientos de **Grotthuss** de 1811 ([1]; [8], vol. XI, p. 391; [34], vol. V, p. 558).

(continúa 1815)

Francis **Ronalds** (1788-1873; Inglaterra) construye una pila voltaica seca de 1,000 pares de elementos, a la cual añade un sistema de engranaje para producir movimiento giratorio⁽⁵⁵⁾ ([18], p. 71).

Dessaigues descubre la *termoelectricidad* ([52], p. 44).

John George **Children** (1777-1852; Inglaterra) publica un artículo en el que apoya la hipótesis de **Davy**, en el sentido de que la presión eléctrica de una batería se incrementa con el número de placas, y la cantidad de electricidad con el tamaño de las placas (véanse 1809 y 1813) ([25], p. 80).

1816

Jean-Baptiste **Biot** (1774-1862; Francia) escribe *Traité de physique (Tratado de física)*, en el que analiza, entre otros, el estudio de la descomposición electrolítica. La teoría en la que se basa es, en esencia, la de **Grotthuss**. Tiempo después sugiere que el electrólito es más positivo cerca del polo positivo y más negativo cerca del polo negativo. Según él, cuando una partícula de sal se descompone en el polo negativo, éste le comunica al ácido una carga negativa muy intensa. Debido a la repulsión de las partículas vecinas y a la atracción del polo positivo, esta carga se mueve hacia este último polo. Propone que la descomposición electroquímica tiene lugar sólo en los polos ([34], vol. II, pp. 136-137).

Francis **Ronalds** (1788-1873; Inglaterra), en el jardín de su casa, en Kelmescott House, Upper Mall, Hammersmith, Inglaterra, coloca dos estructuras de madera, separadas por una distancia de 18.3 m. Alrededor de estas estructuras, enrolla una línea continua de alambre de acero de más de 12.9 km de largo, aislado con seda. En cada extremo del alambre conecta un electrómetro de esferas de médula. Su objetivo es medir el tiempo de retraso en la transmisión de la corriente. Sin embargo, no logra detectar ningún retraso. Una vez comprobado que la velocidad de la electricidad es instantánea, puede proceder con su experimento. Cava una fosa de 1.2 m de profundidad por 160 m de largo. Dentro de la fosa coloca un canal de madera de 13 cm², recubierto con brea. En el canal pone varios tramos de tubo de vidrio, cuidando que las uniones entre los tramos estén recubiertas con cera, la cual, a su vez, protege con otros tubos. Finalmente, tiende el cable dentro del tubo. En cada uno de los extremos de la línea coloca un mecanismo de reloj. Utiliza, por primera vez, la idea de sincronizar ambos relojes. En el segundero de cada reloj, coloca un disco con veinte divisiones, en cada división se encuentra una letra, un número y una palabra clave. Cada disco gira conforme avanza el segundero. Sobre el primer disco, superpone un segundo disco con una ranura, de tal forma que se pueda ver una sola letra a la vez, con su número y palabra clave asociados. Este disco exterior se puede girar a voluntad y no depende de los movimientos de las manecillas del reloj. Por último, se coloca un electrómetro de esferas de médula frente a los discos. A una señal dada, los relojes empiezan a funcionar. Las letras van apareciendo simultánea y secuencialmente en cada extremo. Cuando aparece la letra deseada, se aplica una carga a la línea y el electrómetro en el extremo receptor se mueve, indicando que la letra en su reloj se debe leer. Cuando se aplica una carga más intensa que la normal, el operador debe leer la palabra clave en su reloj, en lugar de la letra. El 11 de julio ofrece su sistema al Almirantazgo Inglés. El 5 de agosto recibe la respuesta de rechazo porque «los telégrafos de cualquier tipo son, por ahora, totalmente innecesarios y no se adoptará ningún otro sistema, a parte del que se usa actualmente.» Este último es un sistema de semáforos que une Londres con Portsmouth y permite enviar órdenes a la flota en pocos minutos, siempre y

⁵⁵⁾ *Philosophical Magazine*, XI.V.

(continúa 1816)

cuando sea de día y no haya neblina. El sistema de **Ronalds** es lento y depende de la sincronía de los dos discos, y nunca llegaría a ser explotado comercialmente ([18], pp. 72-74; [25], p. 81; [31], pp. 25-26).

J. R. Coxe propone que el galvanismo se puede utilizar para la comunicación telegráfica⁵⁶⁾. Su sistema es electromecánico ([25], p. 81).

Robert Porret (1783-1868, Inglaterra) descubre, independientemente de otros investigadores, la endosmosis eléctrica ([40], p. 136-4).

1817

Hans Christian Oersted (1777-1851, Dinamarca) construye una batería en la cual utiliza un recipiente de cobre para contener los electrolitos, donde el recipiente actúa como uno de los electrodos. El otro electrodo está suspendido en el electrolito ([25], p. 81).

Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857, Baviera) descubre que en ciertas pilas la acción química causa una inversión de la polaridad del cinc (normalmente positivo) y del cobre (negativo) (véase 1808). Sin embargo, no profundiza más en este sentido, por lo que no suele ser incluido entre los protagonistas principales del desarrollo de la teoría química de la pila ([34], vol. XII, p. 25-4).

Theodor Christian Johann Dietrich von Grotthuss (1785-1822, Alemania) observa, por primera vez, el fenómeno de la electrostenólisis (depósito de iones o de partículas coloidales en tubos capilares debido a la acción de un campo eléctrico) ([34], vol. I, p. 539).

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848, Suecia) descubre el elemento selenio, el primero fotoconductor⁵⁷⁾ ([3], vol. 2, p. 16-1; [25], p. 82).

Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846, Alemania), durante una investigación para determinar las soluciones de una de las ecuaciones de **Kepler** para el movimiento planetario, deriva las funciones matemáticas llamadas cilíndricas (o de **Bessel**). Algunas funciones particulares del conjunto de estas funciones habían sido formuladas por otros científicos. **Jakob I Bernoulli**, en una carta dirigida a **Leibnitz** en 1703, mencionó una serie que representa una función de **Bessel** de orden $1/3$; **D. Bernoulli**, en 1732, utilizó los coeficientes de **Bessel** de orden 0, en un trabajo sobre las oscilaciones de una cadena suspendida por uno de sus extremos; además **Euler**, en 1744, analizó las vibraciones de una membrana en tensión por medio de una serie, con lo cual $J_n(z)$ quedaba determinada. Un trabajo de **Lagrange**, de 1769, probablemente motiva a **Bessel** a realizar esta investigación. Varios científicos encontrarían luego que dichas funciones aparecen en las descripciones matemáticas de muchos fenómenos físicos, tales como el flujo del calor o de la electricidad a través de un cilindro sólido y la propagación de las ondas electromagnéticas a lo largo de los alambres⁵⁸⁾ ([3], vol. 2, p. 167; [34], vol. II, p. 101).

⁵⁶⁾ *Thompsons Annals of Philosophy*, febrero.

⁵⁷⁾ El cual se utilizaría con mucha frecuencia para propósitos electroópticos. La propiedad fotoconduktiva del selenio la descubriría **W. Smith** en 1873.

⁵⁸⁾ Uno de estos investigadores, **Lord Rayleigh**, establecería que las funciones de **Bessel** surgen de la ecuación de **Laplace**, cuando ésta se formula en coordenadas cilíndricas.

1818 John Bostock (1773-1846; Inglaterra), médico y escritor inglés, publica *History [...] of Galvanism (Historia [...] del galvanismo)* ([34], vol. II, p. 336). Resume la posición que algunas personas tienen respecto al avance de las investigaciones sobre la corriente eléctrica: «Hemos llevado el poder de nuestros instrumentos (corriente estacionaria) al último límite que se puede alcanzar y no parece que, en el presente, estemos en el camino de realizar ninguna otra contribución importante a nuestros conocimientos de sus efectos o de obtener una nueva luz sobre la teoría de su acción.» ([18], p. 44).

1819 James Freeman Dana (1793-1827; Estados Unidos) publica "On a New Form of the Electrical Battery" ("Sobre una nueva forma de batería eléctrica")⁵⁹⁾ propone una nueva construcción de una batería; argumenta que las existentes son imprácticas por su volumen, proceso de construcción y costo. Su proposición se basa en una batería de placas de vidrio intercaladas con hojas de estaño ([14]).

Robert Hare (1781-1858; Estados Unidos) inventa lo que él llama el calorimotor (*deflagrador*). Es una batería que tiene muchas placas pequeñas en paralelo, en lugar de usar placas con una gran superficie. Argumenta que con las placas chicas se tendría la misma corriente de una placa grande y sin la necesidad de tener tanques muy grandes ([25], p. 82).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) produce luz al pasar una corriente eléctrica a través de vapor de mercurio ([6], p. 153; [25], p. 82).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) y Alexandre Brongniart (1770-1847; Francia) descubren una importante colección de depósitos cristalinos, en Auteuil, Francia, la cual contiene formas cristalinas desconocidas de fosfato de calcio. Durante los siguientes años realizarían varios experimentos con estas sustancias. En particular, y siguiendo la sugerencia de Haüy, en el sentido de que el espato de Islandia se electrifica cuando es comprimido (lo cual ya se sabía desde 1760), Becquerel demostraría que este fenómeno es general, siempre y cuando el cristal esté aislado. A este fenómeno se le conoce como piezoeléctrico y se presenta sólo en cristales que no poseen centro de simetría ([34], vol. I, p. 557).

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848; Suecia) expone su teoría dualista, con la que cree explicar el problema de la naturaleza de la afinidad que mantiene juntas a las sustancias químicas. Publica sus resultados en *Essai sur la théorie des proportions chimiques (Ensayo sobre la teoría de las proporciones químicas)*. Encuentra que una corriente eléctrica divide a las sales en componentes positiva y negativa. Cree en la teoría de dos fluidos de la electricidad y sostiene que ésta es una sustancia. Para Berzelius ello explica por qué cuando una sal es dividida por una corriente, la electricidad negativa se combina con el componente positivo de la sal, mientras que la electricidad positiva lo hace con el componente negativo, y así se mantiene la neutralidad eléctrica; cuando las electricidades no están presentes, los componentes positivo y negativo de la sal se combinan y se neutralizan el uno al otro. Berzelius sostiene que un polo de un imán puede ser más fuerte que el otro y, similarmente, que la electricidad en una sustancia puede concentrarse en un punto de ella, haciendo que en ese punto predomine la electricidad positiva o la negativa. Esta conclusión de unipolaridad determina el comportamiento eléctrico de la sustancia. Berzelius sugiere que la intensidad de la polaridad es otro factor importante ya que, cuanto más intensa la polaridad,

⁵⁹⁾ *American Journal of Science*, 1, pp 292-294.

(continúa 1819)

más fuerte la afinidad con otra sustancia que puede neutralizar ([34], vol. II, pp. 92-93).

Hans Christian **Oersted** (1777-1851; Dinamarca) descubre la buscada relación electromagnética. En el invierno, durante una conferencia privada a estudiantes avanzados, la cual versa sobre las analogías entre la electricidad y el magnetismo, por azar cierra el circuito de una batería que hasta entonces se había dejado abierto y, para su deleite, ve que una aguja imantada cercana se mueve de su posición de reposo. **Oersted** ha creído en la existencia de tal relación desde hace tiempo, ya que su posición filosófica se basa en la unidad de todas las fuerzas de la naturaleza, como lo expresó en su trabajo de 1812. Asegura que el efecto magnético, causado por la electricidad no se puede dar en la dirección de la corriente, dado que este efecto ya se había tratado de detectar, con resultados negativos. Por lo tanto, el efecto debe ser producido por una acción lateral ([18], p. 55; [34], vol. X, p. 185; [51], p. 9).

Peter **Barlow** (1776-1862; Inglaterra) empieza a investigar la interacción entre los objetos metálicos y las agujas de las brújulas. En particular, trabaja en el problema de la desviación de la brújula causada por la presencia de hierro en el casco de los barcos. Para corregir la desviación, diseña una brújula en la cual la aguja queda yuxtapuesta a una pieza de hierro que tiene la forma apropiada para compensar la desviación ([3], vol. I, p. 901; [34], vol. I, p. 460).

Christopher **Hansteen** (1784-1873; Noruega) publica un atlas magnético. Sin embargo, éste carece de la información relativa a grandes regiones de la Tierra, por lo que comienza una serie de expediciones por diferentes partes del mundo, para recabar los datos faltantes. Comienza por París, Francia, y Londres, Inglaterra, en este año, Bergen en 1821, Finlandia en 1825 y Siberia entre 1828 y 1830, donde toma más de 400 mediciones magnéticas⁶⁰⁾ ([34], vol. VI, p. 107).

Charles **Wheatstone** (1802-1875; Inglaterra) inventa la Lira Mágica, a la cual llama también, «teléfono», siendo la primera vez que se utiliza este término, aun cuando no se trata de un instrumento parlante ([25], p. 83).

ca. 1820

Robert **Hare** (1781-1858; Estados Unidos) inventa un horno eléctrico, con el que produce grafito, carbonato de calcio y otras sustancias ([34], vol. VI, p. 115).

Benjamin **Silliman** (1779-1864; Estados Unidos) perfecciona el deflagrador (o calorímetro) de **Hare** (véase 1819) y lo utiliza en el estudio de las corrientes eléctricas ([40], p. 1547).

Henry **Kater** (1777-1835; Inglaterra) investiga la mejor clase de acero para la construcción de las agujas de las brújulas ([40], p. 910).

1820

Hans Christian **Oersted** (1777-1851; Dinamarca) continúa sus experimentos sobre la conexión entre la electricidad y el magnetismo, realizados el invierno del año pasado, para comprobar que en efecto el resultado es el que había estado buscando por muchos años. En la primavera escribe un informe titulado "Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticum"⁶¹⁾ (véase 1877), publicado el 21 de julio, y envía varias copias a diferentes científicos y

⁶⁰⁾ El resultado de estos viajes es un atlas más confiable, publicado en 1826.

⁶¹⁾ *Annals of Philosophy*, 16, p. 273.

(continúa 1829)

sociedades nacionales y extranjeras. En el documento describe cómo descubrió la importancia de cerrar el circuito para obtener cualquier efecto (un punto que ningún experimentador previo había notado) y después, dado que el movimiento de la aguja era muy tenue, solicitó al Ministro de Justicia, su amigo Esmarck, que construyese una batería más potente. Refiriéndose a lo que pasa dentro del conductor y al espacio circundante como el «conflicto de la electricidad», señala que si el conductor se coloca arriba de, y paralelo a, la aguja, el extremo de esta más cercano al polo negativo de la batería se mueve hacia el oeste. A una distancia de 2 cm obtiene una desviación de 45°. Con el alambre abajo de la aguja, la desviación es en la dirección opuesta. El informe continúa con la descripción de los resultados obtenidos con diversas disposiciones del conductor y la aguja. También incluye algunas observaciones que llevan al concepto de líneas de fuerza en el aire. Muestra además que la acción electromagnética no se ve afectada por la interferencia de cristal, metal u otras sustancias no magnéticas. En la sesión del 11 de septiembre del *Institut Nationale Française*, Arago lee este de Oersted. Uno de los asistentes es Ampère ([18], p. 55; [25], p. 83; [34], vol. X, p. 185; [31], p. 9).

Dominique François Jean Arago (1786-1853; Francia) es invitado al laboratorio de C.-G. de La Rive, en Ginebra, Suiza, para presenciar la demostración de los experimentos de Oersted, sobre la relación entre la electricidad y el magnetismo. El 11 de septiembre anuncia este descubrimiento ante el *Institut Nationale Française*.

El 20 de septiembre, Arago anuncia su descubrimiento de que cuando pasa una corriente eléctrica por una espira de cobre en forma de cilindro puede atraer limadura de hierro, como si fuera un imán permanente. Al cortar la corriente, cesa la atracción⁽⁶²⁾ ([3], vol. I, p. 511; [25], p. 84).

Además observa que la limadura de hierro, atraída por el alambre del circuito de la batería, se eriza antes de tocar el alambre. Concluye que la limadura se magnetiza individualmente -descubre así la inducción magnética debida a una corriente eléctrica ([18], p. 60).

André-Marie Ampère (1775-1836; Francia) asiste, el 11 de septiembre, a la sesión del *Institut Nationale Française*, de París, Francia, en la cual su amigo Arago anuncia el descubrimiento de Oersted sobre la conexión entre electricidad y magnetismo. Motivado por este descubrimiento, realiza sus propias investigaciones, dándose cuenta de que Oersted no había comprendido en su totalidad el experimento, al no haber tomado en cuenta el magnetismo terrestre. El ángulo de desviación en el experimento de Ampère depende del ángulo formado por el alambre conductor y el campo magnético de la Tierra. Para neutralizar el efecto del campo terrestre en una pequeña región del espacio, diseña un dispositivo constituido por unos imanes que pueden girar libremente. Con este instrumento comprueba que la aguja de la brújula siempre queda alineada formando un ángulo de 90° con el alambre conductor. Se percató de que puede utilizar una brújula como detector de corrientes. A dicho instrumento lo denomina *galvanómetro*⁽⁶³⁾ y con él logra graficar la trayectoria que sigue la corriente eléctrica en un circuito formado por un alambre conductor y una pila voltaica. Hasta este entonces, todo el mundo suponía que los procesos involucrados en el interior de una pila voltaica eran diferentes a los de una corriente que circulaba por el alambre conectado a los polos de la pila. Ampère encuentra que la corriente que fluye por la pila es la misma que la que circula por el alambre. Se pregunta, entonces, qué pasaría si se construyera un pila circular, en forma de anillo, de tal forma que sus polos se tocaran. Al construir tal

⁽⁶²⁾ Descubrimiento precursor del electroimán de Sturgeon de 1825.

⁽⁶³⁾ *Annales de Chimie et de Physique*, 15.

(continúa 1829)

dispositivo, encuentra que se genera un campo magnético simétrico. A partir de este punto, Ampère empieza a formular su teoría (que defendería por el resto de su vida), la cual asegura que el magnetismo no es otra cosa más que corrientes eléctricas moviéndose en círculos. Una semana después, el 18 de septiembre, presenta a la *Académie française des sciences* su primer artículo "Mémoire sur l'action naturelle de deux courants électrique [...]" ("Memoria sobre la acción natural de dos corrientes eléctricas [...]"), en el cual, además de informar sobre sus experimentos de la semana anterior, analiza matemáticamente los trabajos de Oersted. La comunidad científica no le presta mucha atención.

Durante la siguiente semana, trata de demostrar su hipótesis, probando que las corrientes eléctricas circulares producen los mismos efectos que los de un imán permanente. Para esto, realiza dos experimentos; en el primero de ellos, coloca dos espirales (gusanos) de cobre, una al lado de la otra. Espera que cuando cierre el circuito, las espirales se repelan, como sucede con dos imanes paralelos cuyos polos iguales apuntan en la misma dirección. En lugar de esto, las espirales se atraen. En el segundo experimento coloca dos espiras planas, de tal forma que sus ejes queden paralelos. Al hacer pasar la corriente, las espiras actúan como dos imanes permanentes comunes, es decir, se atraen. El 25 de septiembre demuestra estos experimentos en la Academia.

En experimentos subsecuentes encuentra, por casualidad, la aparente contradicción del primer experimento. Se da cuenta de que cuando conecta dos alambres a la misma batería, aun cuando estos no estén enrollados, los alambres se atraen. Este efecto nadie lo había observado, o señalado. Por otra parte, cada giro de sus primeras espirales, está muy separado del siguiente y, por lo tanto, el movimiento circular de la corriente resulta despreciable comparado con su trayecto longitudinal desde un extremo de la espiral hasta el otro. Para evitar este efecto, enrolla el alambre alrededor de un tubo hueco de vidrio y pasa uno de los extremos del alambre por el centro del tubo. De esta forma espera que la corriente que circula por el centro cancele el efecto longitudinal de la corriente que fluye por la espiral. El resultado de este último experimento es el esperado ([36], pp. 76-78). Entre sus conclusiones se encuentra la de que, en apariencia, la fuerza magnética es circular, produciendo de hecho, un cilindro magnético alrededor del alambre conductor ([3], vol. 19, p. 84). Sin embargo cree que el campo de esta fuerza es también eléctrico ([34], vol. XIII, p. 183).

Ampère sugiere además el uso de la desviación magnética de una aguja para emplearla en un telégrafo, aun cuando nunca trata de llevar a la práctica esta idea ([25], p. 84).

Jean-Baptiste Biot (1774-1862; Francia) y Félix Savart (1791-1841; Francia) realizan un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos por Oersted, sobre la relación entre magnetismo y electricidad. Investigan la intensidad relativa del campo magnético, midiendo la razón de oscilaciones de un dipolo magnético, suspendido a diferentes distancias de un alambre largo y recto. En algunas mediciones, el campo terrestre es cancelado mediante un imán colocado en el lugar apropiado, mientras que en otras, el aparato se orienta de tal forma que el campo producido en el dipolo, por la corriente, está en la dirección magnética norte-sur. Encuentran que la fuerza sobre el dipolo es perpendicular al alambre y también a la línea que une el alambre al polo magnético. Además establecen que la intensidad del campo magnético es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el polo y el alambre. Esta relación se conoce como la *ley de Biot-Savart* ([3], vol. 2, p. 227 y vol. 18, pp. 202-204; [25], p. 84; [34], vol. XII, p. 129).

Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857; Baviera) repite los trabajos de Oersted. El 16 de septiembre y el 4 de noviembre, ante la *Sociedad*

(continúa 1820)

de *Filosofía Natural de la Haya*, anuncia el diseño de un detector de pequeñas corrientes eléctrica al que llama multiplicador. Es una versión mejorada del indicador galvanomagnético. Formado por un alambre muy largo enrollado en forma de ocho⁶⁴, en el cual se tienen 100 vueltas de alambre. Según él, el efecto magnético producido es 100 veces mayor que el que se logra con una sola vuelta de alambre. En el centro del enbobinado se coloca una aguja magnética que puede girar libremente. Cuando se aplica una corriente al alambre, el mayor número de vueltas provoca que la desviación de la aguja sea mucho más accentuada. Este instrumento puede servir para detectar corrientes más pequeñas o para indicar, a una corriente dada, mayor precisión en la lectura. El grado de sensibilidad para detectar pequeñas corrientes es de unas 100 veces mayor en comparación al de una aguja magnética sola ([16], pp. 300-301; [18], pp. 60-61; [25], p. 84; [51], p. 10). Prefiere la disposición en forma de ocho, al circuito simple, porque quiere demostrar los efectos electromagnéticos iguales y opuestos sobre la aguja. El uso de este dispositivo nunca llega más allá de tales exhibiciones y no trata de investigar el fenómeno con mayor profundidad. Simplemente piensa que la operación de su multiplicador es una vívida prueba de la existencia de una «polaridad magnética doble» perpendicular a la corriente en el alambre conductor. Explica esta polaridad como una sucesión de ejes magnéticos en dirección opuesta a lo largo de la parte superior e inferior del dispositivo, de tal forma que una brújula apuntaría en direcciones contrarias, dependiendo de si se coloca arriba o abajo del mismo ([34], vol. XII, p. 254).

Johann Christian Poggendorf (1796-1877; Alemania), estudiante en la Universidad de Berlín, inventa un *multiplicador* (véase Schweigger, arriba), cuya descripción anunciaría el año siguiente. A su dispositivo se le llamaría también condensador magnético ([25], pp. 84 y 85).

James Cumming (1777-1861; Inglaterra), en Cambridge, Inglaterra, inventa su multiplicador, al parecer independientemente de Schweigger y de Poggendorf, ambos en este mismo año ([25], p. 84).

Charles-Gaspard de La Rive (1770-1834; Suiza) inventa una lámpara incandescente, con una bobina de platino dentro de un tubo al vacío. Es el primer intento de construcción de una lámpara de este tipo. No resulta un dispositivo práctico ya que, en parte, sólo dispone de una batería como fuente de poder y su operación no resulta costeable ([25], p. 84).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), después de siete años, deja de trabajar con Davy. En este lapso, Davy influye de una manera decisiva en el pensamiento de Faraday. El concepto de enlace en la teoría atómica de Davy (la cual fue, a su vez, resultado de la teoría atómica propuesta por Boskovic en 1748, quien sostenía que los átomos eran puntos matemáticos rodeados por campos alternantes de fuerzas repulsivas y atractivas) es uno de los fundamentos en las ideas de Faraday sobre la electricidad ([3], vol. 19, p. 84).

Peter Barlow (1776-1862; Inglaterra) publica *Essay on Magnetic Attractions* (*Ensayo sobre las atracciones magnéticas*), en el cual informa sobre los resultados de sus investigaciones acerca de la acción del hierro en el casco de los barcos sobre las brújulas (véase 1819). Por esta solución, recibe la Medalla Copley de la Royal Society of London ([34], vol. 1, p. 460).

64) La referencia [18] indica que el alambre se enrolla en un arreglo rectangular.

(continúa 1820)

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) inventa un método para una mejor colocación de los pararrayos en los barcos (140), p. 759).

1821

Robert Hare (1781-1858; Estados Unidos) inventa dos tipos de baterías electroquímicas. Su fundamento teórico se basa en la idea de que el flujo galvánico está constituido por una mezcla de fluidos calórico y eléctrico, predominando uno u otro, dependiendo del diseño de la fuente (132).

William Hyde Wollaston (1766-1828; Inglaterra), con base en las ideas sobre la relación electromagnética (véase arriba), sugiere que la corriente eléctrica recorre el conductor en una trayectoria helicoidal, y que en consecuencia un alambre que lleva una corriente tenderá a rotar sobre su propio eje cuando se le acerque un imán. En abril él y Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) intentan probar esta hipótesis pero no logran obtener resultados positivos (151), pp. 13-14).

Todo científico que lee el artículo de Oersted (véase 1820) en el cual describe su descubrimiento de la conexión entre la electricidad y el magnetismo, trata de realizar sus propios experimentos. A partir de los resultados de éstos, surgen dos teorías principales para explicar el fenómeno. Algunos piensan que el alambre que lleva la corriente debe magnetizarse en dirección de su grosor, aunque no pueden explicar el porqué se magnetiza de esta forma. Otros explican todo en términos de corrientes eléctricas y dicen que todo imán permanente debe contener este tipo de corrientes circulando en su interior (151), p. 13). También surgen un gran número de otras teorías para explicar el fenómeno, y crean así un clima de confusión. Además empiezan a surgir algunas dudas sobre si todos los efectos que se anuncian son reales y si todas las teorías concuerdan con los hechos (134), vol. IV, pp. 528-534).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), a petición de R. Phillips, amigo suyo y editor de *Philosophical Magazine*, realiza una investigación sobre los experimentos y teorías surgidas en los últimos meses para así poder separar la verdad de la ficción y la hipótesis de la especulación. De no muy buen agrado, ya que su interés está centrado en el estudio de la química, Faraday acepta llevar a cabo una pequeña revisión histórica. Su disgusto se desvanece cuando empieza a estudiar la naturaleza de la fuerza magnética generada por una corriente eléctrica. Oersted se había referido a *conflictos eléctricos* alrededor del alambre y había señalado que estos conflictos «formaban círculos». Por su parte, Ampère también había observado esta forma circular, como uno de sus múltiples resultados de los experimentos realizados el año pasado. Faraday repite estos experimentos utilizando una pequeña aguja magnética para graficar los patrones de la fuerza magnética y observa que uno de los polos de la aguja forma un círculo mientras se le mueve alrededor del alambre. Faraday es el primero en comprender el significado de tal fenómeno. Piensa que si se pudiera aislar un polo magnético, éste debería moverse constantemente en un círculo alrededor del alambre, siempre y cuando no se interrumpiera la corriente eléctrica. Su gran ingenio y habilidad práctica le permiten construir dos dispositivos que demuestran su hipótesis. En uno de ellos, una imán de barra se fija verticalmente en un recipiente casi totalmente lleno de mercurio. Desde un punto arriba del imán se suspende libremente un alambre con un corcho en su extremo inferior. Cuando se conecta una batería entre el alambre suspendido y otro que se sumerge en el mercurio, el extremo donde está el corcho se mueve en círculos alrededor del imán. En el segundo dispositivo el extremo de un imán de barra se fija dentro del recipiente, dejando libre el otro extremo (un imán de acero flota en el mercurio). El extremo libre del alambre del primer dispositivo es reemplazado

(continúa 1821)

por uno fijo que se sumerge un poco en el centro del mercurio. Cuando la corriente fluye, el extremo libre del imán gira alrededor del conductor fijo (/51/, pp. 14-15). En su artículo "On Some New Electro-Magnetical Motions, and on the Theory of Magnetism" ("Sobre algunos nuevos movimientos electromagnéticos, y sobre la teoría del magnetismo")⁶⁵⁾ señala por primera vez la forma de convertir energía eléctrica en mecánica (principio del motor eléctrico), así como las primeras nociones de línea de fuerza. Dichas líneas tienen forma circular pero, dados los precarios conocimientos matemáticos de Faraday, no tiene dificultad alguna en aceptarlas como un simple hecho de la naturaleza. Sin embargo, para los matemáticos, esta forma de fuerzas es inadmisibles ya que deberían resolverse en sus componentes centrales. En un principio, Faraday se rehúsa a aceptar este hecho, pero finalmente accede para poder explicar las atracciones y repulsiones de los polos magnéticos (/3/, vol. 4, p. 681 y vol. 19, p. 84; [25], p. 85; [34], vol. II, pp. 528-534). La mañana del 25 de diciembre, Faraday le muestra a su cuñado que la rotación no requiere, incluso, de la presencia del imán. Colocando el conductor giratorio en la posición correcta respecto al ángulo de inclinación magnética terrestre, logra obtener una rotación continua debida enteramente al campo magnético de la Tierra. Faraday inventa así el motor eléctrico (/18/, p. 93).

Por otra parte, a finales de este año aparece un libro anónimo sobre la historia del electromagnetismo (tiempo después, se encontraría que el autor es el propio Faraday). Entre los experimentos descritos en este trabajo, se describen dos interesantes. Faraday quiere demostrar dos cosas; por un lado, que la fuerza magnética no tiene polos terminales y que el magnetismo permanente no puede ser el resultado de las corrientes eléctricas moleculares, como propuso Ampère. En el primero de estos experimentos, se enrolla un alambre aislado alrededor de un tubo hueco de vidrio, el cual se sumerge hasta la mitad en un tanque lleno de agua, de tal forma que el eje mayor del tubo quede paralelo a la superficie del agua. Sobre un corcho que flota cerca del tubo se coloca una aguja magnetizada larga y se hace circular una corriente por el alambre enrollado. Faraday argumenta que si los polos terminales existen, deberían estar situados en los extremos del tubo y el corcho debería flotar hacia el tubo hasta que la aguja estuviera justo dentro de la espiral, dado que un polo magnético de ésta (por ejemplo, el positivo) estaría lo más cerca posible del polo opuesto de la espiral (por ejemplo, el negativo). En lugar de que suceda esto, el corcho flota por dentro del tubo hasta que ambos polos de la aguja quedan a igual distancia de los polos similares (no opuestos) de la espira. En el segundo experimento examina el caso de un verdadero imán permanente. Forma un cilindro hueco con una hoja de acero magnetizada y se suspende hasta la mitad, horizontalmente, en un tanque de agua. En esta ocasión el corcho sí se detiene donde se espera, por lo que, según Faraday, se demuestra que un imán permanente y uno galvánico no son idénticos (/36/, p. 78).

Peter Barlow (1776-1862; Inglaterra) inventa un segundo dispositivo que produce movimiento continuo por medios eléctricos (el primero es el de Faraday, véase arriba). La rueda de Barlow, que así se le llegaría a conocer, tiene forma de estrella y está montada sobre un eje horizontal que gira entre los polos de un imán en forma de herradura. Los picos de la estrella giran en un recipiente con mercurio, que forma uno de los contactos de la batería. La rueda comienza a girar cuando se hace pasar una corriente eléctrica entre el eje y el líquido (/51/, p. 42). El dispositivo no tiene mucho valor práctico, ya que sólo puede producir una torca muy pequeña (/25/, p. 86).

⁶⁵⁾ *Quarterly Journal of Science*, octubre.

(continúa 1821)

Los dispositivos inventados por **Faraday** y por **Barlow** (véase arriba) demuestran que es posible producir movimiento continuo a partir de una corriente eléctrica; sin embargo, ambos aparatos comparten la limitante fundamental de que sólo un conductor pasa a través del campo magnético (véase **Pixii**, 1832) (*/51/*, p. 42).

André-Marie Ampère (1775-1836; Francia), durante todo el año, trabaja sobre su hipótesis de que el magnetismo es el resultado de corrientes eléctricas circulares. Esta concepción lo lleva a preguntarse en dónde se encuentran esas corrientes en un imán permanente. Sólo hay dos posibilidades: las corrientes giran alrededor del eje principal del imán o giran en círculos mucho más pequeños, alrededor de cada partícula de las cuales está formada la materia del imán. A sugerencia de su amigo **Fresnel**, **Ampère** se inclina por la segunda posibilidad. Para probar tal hipótesis se basa en el experimento de otro de sus amigos, **Arago**, publicado el año pasado. **Ampère** forma un anillo con un listón de cobre y lo suspende dentro de una bobina cilíndrica de alambre de cobre. El diámetro de la bobina es ligeramente mayor al del anillo y su disposición es tal que quedan concéntricos y sus ejes paralelos. El razonamiento de **Ampère** es el siguiente: si en el experimento de **Arago**, la corriente de la espiral había causado que circulara una corriente alrededor del eje de la aguja, entonces una corriente similar debe provocar que una corriente circular fluya por el anillo de cobre, de tal forma que se forme temporalmente un imán permanente. Trata de detectar la presencia de tal corriente, sosteniendo un imán permanente cerca del anillo, mientras que una corriente fluye por la bobina. Si el anillo había sido magnetizado, debería ocurrir que éste sea desviado por el imán cercano. Como **Ampère** supone, no hay tal desviación. **Ampère** cita este experimento como evidencia de peso que apoya su hipótesis de corrientes moleculares.

Hacia finales de este año, aparece un libro anónimo (véase **Faraday**, arriba), en el cual se describen dos experimentos que refutan estas teorías de **Ampère**. Según el autor (después se averigua que es **Faraday**), los resultados de sus dos experimentos demuestran que el magnetismo de los imanes permanentes es totalmente diferente al de las espirales por las que fluye una corriente eléctrica. **Ampère** da la siguiente explicación para estos experimentos. En el caso de la espiral, la aguja queda encerrada dentro de la corriente circulante, mientras que en el caso del tubo de acero, la aguja queda fuera de todas las corrientes moleculares. De aquí, que uno debe esperar que los efectos sean diferentes en ambos casos⁽⁶⁶⁾ (*/36/*, p. 78).

Augustin Jean Fresnel (1788-1827; Francia) propone que existen corrientes eléctricas alrededor de cada molécula. Postula que si las moléculas pudieran ser alineadas, la resultante de las corrientes moleculares sería precisamente una corriente concéntrica.

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) demuestra que un imán puede desviar el arco eléctrico de luz. Este descubrimiento estimula el desarrollo de los interruptores automáticos (*breakers*), usando campos magnéticos para acelerar la ruptura del arco cuando el circuito es interrumpido (*/25/*, p. 85). Por otro lado, **Davy** escribe "Farther Researches on the Magnetic Phenomena Produced by Electricity, With Some New Experiments on the Properties of Electrified Bodies in their Relations to Conducting Powers and Temperature" ("Investigaciones posteriores sobre los fenómenos magnéticos producidos por la electricidad, con algunos nuevos experimentos sobre las propiedades de los cuerpos electrificados

⁶⁶⁾ Esta explicación es casi correcta

(continúa 1821)

y sus relaciones con los poderes y temperaturas conductores"⁶⁷⁾, en el cual describe sus propios experimentos sobre el descubrimiento de Oersted, respecto a la relación entre electricidad y magnetismo. Entre los experimentos que describe se encuentran (*[18]*, p. 57):

- 1) con su batería de 100 placas de 13 cm², el polo sur de una aguja magnética común, colocada bajo el alambre del circuito (el polo positivo de la batería está situado a la derecha) es atraído fuertemente por el alambre, venciendo el magnetismo terrestre,
- 2) coloca limadura de hierro en un papel y, al acercarlo al alambre conductor, se arremolinan formando una masa alrededor del alambre de unas 10 o 12 veces el grueso del mismo. Al momento de cortar la comunicación, la limadura se dispersa, comprobando que el efecto magnético depende completamente del paso de la electricidad por el alambre,
- 3) en un hilo de plata coloca varias agujas de acero, una a continuación de la otra y cada aguja alineada en diferentes direcciones. Después coloca el alambre alrededor del circuito de la batería. Encuentra que las agujas se magnetizan y se alinean de tal forma que si el polo positivo de la batería se sitúa hacia el este, las agujas que quedan bajo el alambre dirigen su polo norte hacia el polo sur del alambre; aquellas que quedan sobre el alambre, apuntan su polo norte hacia el polo norte del alambre. Al abrir el circuito, sólo las agujas que quedan transversales al alambre, conservan su magnetización,
- 4) se anticipa al surgimiento del concepto de líneas magnéticas de fuerza, al observar que la limadura de hierro, colocada en un plato de vidrio situado sobre el circuito, forma siempre líneas rectas en ángulos rectos al eje del alambre,
- 5) sugiere la aplicación de este fenómeno al magnetismo terrestre.

Además dice que Arago se le anticipó en el descubrimiento de las propiedades atractivas y magnetizantes de los alambres de circuitos voltaicos. Por otro lado, después de haber estudiado cuidadosamente el tratado sobre los fenómenos electromagnéticos de Ampère, hace pasar una descarga a lo largo de un alambre espiral, enrollado alrededor de un tubo de vidrio, el cual contiene una barra de acero y encuentra que la barra queda magnetizada.

Davy informa que los poderes conductivos de los alambres de un mismo metal varían directamente con su masa (por unidad de longitud) e inversamente con su longitud. Determina la conductibilidad relativa de varios metales, resultados que difieren mucho de los que encontraría por A.-C. Becquerel en 1825 (*[34]*, vol. X, p. 188).

Johann Christian Poggendorf (1796-1877; Alemania) publica "Physisch-chemische Untersuchungen zur nähern Kenntniss des Magnetismus der voltaischen Säule" ("Investigación físico-química por medio del conocimiento cercano del magnetismo de la pila voltaica")⁶⁸⁾ en el cual da la descripción de su multiplicador del año pasado y al cual se le nombra condensador magnético (*[25]*, p. 85). Muestra que los efectos magnificadores de este dispositivo alcanzan un límite máximo, aun cuando se incremente el número de vueltas del alambre o, lo que resulta equivalente, aun cuando se aumente la longitud del alambre (*[34]*, vol. X, p. 188).

⁶⁷⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 111, pp. 425-439.

⁶⁸⁾ *Isis von Oken*, 2 (9 en la serie), no. 8, cols. 687-710.

(continúa 1821)

James Cumming (1777-1861; Inglaterra) publica "On the Connection of Galvanism and Magnetism"⁽⁶⁹⁾ y "On the Application of Magnetism as a Measure of Electricity"⁽⁷⁰⁾, en donde aparece la descripción de su multiplicador construido en 1820. Da esta descripción con mucho mayor detalle de la que Poggendorf y Schweigger dieron de sus respectivos inventos ([25], p. 85; [34], vol. III, p. 497). En el primer artículo, Cumming nombra al multiplicador de Schweigger (véase 1820) como galvanómetro (es decir, galvanómetro es el dispositivo compuesto por una bobina de alambre y una aguja magnética colocada sobre un pivote) ([51], p. 10).

Samuel Hunter Christie (1784-1865; Inglaterra), mientras estudia la influencia de una placa de hierro sobre una brújula, observa que «la simple rotación del hierro tiene una influencia considerable sobre sus propiedades magnéticas.» Este descubrimiento no lo haría público sino hasta 1825, aun cuando lo menciona en una publicación de 1824 (véase Arago, 1824) ([34], vol. II, p. 260).

Charles-Gaspard de La Rive (1770-1834; Suiza) diseña un galvanómetro muy simple, llamado *flotteur électrique*, con el cual él cree que puede demostrar la sensatez de las teorías de Ampère. Consiste en una banda de cobre y una de cinc, que pasan a través de un corcho y están sujetas de tal manera que forman un anillo. Cuando hace flotar el anillo en agua acidulada, cerca de un imán, se demuestra la acción electromagnética. De La Rive cree firmemente que algunos experimentos realizados con su anillo hacen que Ampère modifique su teoría, al suponer que las corrientes moleculares de un imán están cada vez más inclinadas, mientras más lejos estén del eje y del centro de dicho imán (sin embargo, no existe evidencia de que la versión final de la teoría de Ampère haya sido influida por las críticas de La Rive). A este respecto, escribe dos artículos: "Notice sur quelques expériences électro-magnétiques" y "Mémoire sur quelques nouvelles expériences électro-magnétiques et en particulier sur celles de Mr. Faraday"⁽⁷¹⁾ ([34], vol. VIII, p. 38; [38], vol. 16, p. 751).

Thomas Seebeck (1770-1831; Estonia) descubre, mientras estudia la influencia del calor sobre diferentes arreglos galvánicos, que cuando forma un círculo con una tira de cobre seguida de otra de bismuto y aplica calor a cualquiera de las uniones de estos metales, una aguja magnética cercana se comporta como si una corriente eléctrica fluyera por el circuito, siempre y cuando se mantenga la diferencia de temperaturas. De esta forma descubre la *termoelectricidad* (véase Desaignes, 1815). El simple hecho de sostener la unión con la mano, basta para que se produzca la corriente. Experimentos subsecuentes con diferentes pares de metales y una variedad de conductores revelarían que es posible ordenarlos en una serie termoelectrónica, situando el bismuto en el extremo negativo de la misma y el telurio, en el extremo positivo. Sin embargo, Seebeck no cree que realmente esté circulando una corriente eléctrica por el circuito, por lo que prefiere describir este fenómeno como termomagnetismo. Describe sus resultados en "Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz"⁽⁷²⁾ ([1], [3], vol. 10, p. 601; [25], p. 85; [34], vol. XII, p. 281).

⁶⁹⁾ Transactions of the Cambridge Philosophical Society, I, p. 269.

⁷⁰⁾ Transactions of the Cambridge Philosophical Society, I.

⁷¹⁾ Bibliothèque universelle des sciences, belles-lettres et arts.

⁷²⁾ Abhandlungen der Preussischen Akademie der Wissenschaften, 1822-1823. Actualmente este efecto se utiliza para medir temperaturas con gran precisión (termopar) y para generar potencia eléctrica en aplicaciones especiales.

ca. 1822

William Hasledine **Pepys** (1775-1856; Inglaterra) perfecciona aún más a la pila voltaica. Construye una celda muy larga, en forma de espiral, a la cual llama calorimotor, debido a que por su uso puede producir una gran cantidad de calor. Consiste de dos placas de cobre y cinc, de 60 cm de ancho por 15 m de largo, separadas con cin de caballo y unas cuerdas enrolladas alrededor de un cilindro de madera. Está suspendida por una polca y se puede sumergir en un tanque de 55 galones de 40 partes de ácido nítrico fuerte y 1 parte de agua (*[18]*, p. 43).

Dominique François Jean **Arago** (1786-1853; Francia) y Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von **Humboldt** (1769-1859; Alemania) suponen una conexión entre el calor central de la Tierra, las erupciones volcánicas y la electricidad atmosférica (*[34]*, vol. XII, p. 49).

1822

Amadeo **Avogadro** (1776-1856; Italia) construye un *voltímetro multiplicador*, de los más sensibles de esta época; escribe "Sur la construction d'un voltimètre multiplicateur"⁷³⁾. Encuentra que, cuando ciertos pares de metales, por ejemplo, Pb/Bi, Pb/Sn, Fe/Bi, Co/Sb, son sumergidos en ácido nítrico concentrado, la dirección de la corriente se invierte momentáneamente (véase **Pfaff**, 1808). **Avogadro** usa una sucesión de pares de metales con un electrólito para establecer el orden Pt, Au, Hg, As, Sb, Co, Ni, Cu, Bi, Fe, Sn y Zn, el que se muestran varias diferencias con el encontrado por **Volta**, quien utilizó un condensador (*[34]*, vol. I, p. 347).

George T. Bowen (1803-1828; Estados Unidos), a partir de los experimentos de **Moll** sobre los efectos de un aparato de espiras voltaicas y limaduras de hierro, repite estas experiencias con el calorimotor de **Hare**, empleando diferentes metales como circuito: hierro, cobre, bronce, acero, cinc, plata y platina; la longitud de estos alambres es tal que, aun cuando se calienta, el metal no se enciende. El resultado siempre es el mismo: las limaduras son fuertemente atraídas mientras el calorimotor está sumergido en la solución ácida; en el momento en que se sacan las placas fuera del líquido, la atracción cesa.

En otra serie de experimentos, **Bowen** coloca una aguja de acero dentro de un tubo de vidrio, alrededor del cual enreda un alambre de bronce, conectándolo al calorimotor. Las diferentes situaciones estudiadas son las siguientes: aguja magnetizada y desmagnetizada; circuito conectado de izquierda a derecha y viceversa; embobinado normal y embobinado en cuyo interior hay un tubo de acero, el cual, a su vez, contiene otro tubo de vidrio. En todos los casos observa la polarización de la magnetización; la aguja adquiere polaridad norte en el extremo más cercano a la placa de cobre del calorimotor y polaridad sur, en el extremo más cercano a la placa de cinc; el tiempo de magnetización es instantáneo.

Bowen concluye que el calorimotor produce los mismos efectos magnéticos que una batería eléctrica, aun cuando **Hare** consideraba que su instrumento sólo producía un gran flujo calórico, casi sin electricidad (*[28]*, pp. 357-360).

André-Marie **Ampère** (1775-1836; Francia), en el verano de este año, repite el experimento de un anillo de cobre colocado dentro de una bobina (véase 1820). En esta ocasión, en lugar de usar una barra de imán permanente, utiliza un poderoso imán en forma de herradura. Encuentra que el anillo sí sufre un desviación, efecto que va en contra de su hipótesis. La reacción de **Ampère** es un tanto incomprensible, ya que en lugar de realizar más experimentos, se limita a pasar una mención de este fenómeno en su informe a la Academia, con la observación de que este efecto no tiene significado teórico. Sin saberlo, **Ampère** ha observado la inducción electromagnética de una corriente sobre otra (véase

⁷³⁾ *Memorie della Reale Accademia delle scienze*, 27, pp. 43-82.

(continúa 1822)

Faraday, 1831) (36/, p. 78). Por otro lado, publica "Experiments on the New Electrodynamical Phenomena" ("Experimentos sobre los nuevos fenómenos electrodinámicos"), en el cual hace la distinción de dos tipos de acción eléctrica: la tensión eléctrica y la corriente eléctrica. Determina que la fuerza desarrollada sobre un polo magnético por un alambre conductor, forma ángulos rectos con el alambre. Se considera que con este trabajo, **Ampère** funda la ciencia de la electrodinámica (25/, p. 86). Además publica "Exposé de nouvelles découvertes sur l'électricité et le magnétisme de M.M. Oersted, Arago, Ampère, Davy, Biot, Erman, Schweitzer, La Rive, etc." ("Exposición de los nuevos descubrimientos sobre la electricidad y el magnetismo de los Sres. Oersted, Arago, Ampère, Davy, Biot, Erman, Schweitzer, La Rive, etc.") (18/, p. 59). También muestra que una corriente eléctrica en un circuito cerrado rectangular, libre para girar sobre su eje vertical que yace sobre el plano del circuito, se alinea perpendicularmente al meridiano magnético, de tal forma que la dirección de la corriente en la porción inferior del rectángulo es de este a oeste. Atribuye que este efecto se debe a la interacción de las corrientes este-oeste sobre la superficie de las Tierra y aquellas de la parte inferior del circuito, de acuerdo con su teoría de atracción entre corrientes de igual dirección (34/, vol. VIII, p. 38).

Charles-Gaspard de La Rive (1770-1834; Suiza) modifica ligeramente el experimento de **Ampère** con un circuito cerrado rectangular, eliminando la porción inferior de éste. Espera que la acción de las corrientes terrestres, si es que realmente existen, provoque que el circuito restante gire 180°; sin embargo, no sucede así y no logra explicar satisfactoriamente las causas de este fenómeno (34/, vol. VIII, p. 38).

Martin (o **Martinus**) van **Marum** (1750-1837; Países Bajos) demuestra, empleando su gran batería eléctrica **Offerhaus**, que el campo de la fuerza que se mueve alrededor de un alambre por el cual pasa la corriente eléctrica es, de hecho, magnético (conclusión opuesta a la deducida por **Ampère** en 1820, quien pensó que el campo era eléctrico) (34/, vol. XIII, p. 183).

Dominique François Jean Arago (1786-1853; Francia) y **Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt** (1769-1859; Alemania) realizan algunas mediciones de la intensidad magnética en una colina de **Greenwich**, Inglaterra; observan el efecto amortiguador que los metales ejercen sobre las oscilaciones de una aguja magnética⁽⁷⁴⁾ (34/, vol. I, p. 203).

Thomas Seebeck (1770-1831; Estonia) escribe un pequeño comentario de su descubrimiento de la termoelectricidad realizado el año pasado⁽⁷⁵⁾ (34/, vol. III, p. 497).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) publica "Historical sketch of electro-magnetism" ("Apunte histórico del electromagnetismo")⁽⁷⁶⁾ (véase 1821) (51/, p. 24).

Georg Wilhelm Muncke (1772-1847; Alemania) publica "Versuche über den Elektromagnetismus zur Begründung einer genügenden Erklärung desselben" ("Experimento sobre el electromagnetismo mediante la argumentación [...]")⁽⁷⁷⁾.

74) Este descubrimiento llevaría a **Arago** a construir su famoso *disco de Arago*, en 1824.

75) *Annals of Philosophy*.

76) *Annals of Philosophy*, 3, pp. 107-121.

77) *Annalen der Physik*, 70 y 71.

(continúa 1822)

Muncke comparte el punto de vista de que la Tierra tiene cuatro polos magnéticos ([34], vol. IX, p. 578).

Comienza la iluminación por gas en Boston, Massachusetts, Estados Unidos ([1]).

1822-28

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra [entonces francesa]) estudia la relación entre la electricidad y el magnetismo; propone la teoría de la doble corriente. Investiga el paso de la electricidad a través de los gases y prueba que la descarga de chispas eléctricas en oxígeno puro genera la formación de ozono. Mide la conductividad de algunas soluciones. Descubre el principio del galvanómetro seno y analiza la relación entre la temperatura y la conductividad eléctrica en un alambre (véase 1828) ([34], vol. VIII, p. 37; [40], p. 1000).

1823

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) muestra que cuando dos alambres se conectan a una batería, se sumergen en una copa con mercurio y se colocan sobre el polo de un imán, el fluido alrededor de cada circuito gira en direcciones opuestas ([25], p. 86).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) construye una versión mejorada del multiplicador de **Schweigger** de 1820 ([16], p. 300).

Peter Barlow (1776-1862; Inglaterra) y **William Sturgeon** (1783-1850; Inglaterra), siguiendo la sugerencia de **Arago** de 1820, enrollan un conductor alrededor de una barra de hierro para producir una potente fuerza electromagnética; construyen así el primer electroimán, capaz de levantar unos cuantos kilogramos de hierro (véase **Sturgeon**, 1825) ([3], vol. 18, p. 310; [57], p. 393).

James Cumming (1777-1861; Inglaterra) publica "On the Development of Electromagnetism by Heat" ("Sobre el desarrollo del electromagnetismo a partir del calor") y "A List of Substances Arranged According to Their Thermoelectric Relations, With a Description of Instruments for Exhibiting Rotation by Thermoelectricity" ("Lista de las sustancias arregladas de acuerdo con sus relaciones termoeléctricas, con una descripción de los instrumentos para exhibir la rotación debida a la termoelectricidad")⁽⁷⁸⁾, en donde describe el fenómeno termoeléctrico, por lo que a veces se le da el crédito por haberlo descubierto, aun cuando **Seebeck** lo describió en 1821. También informa sobre el efecto inversor que ocurre con ciertos pares de metales a altas temperaturas, en "On Some Anomalous Appearances Occurring in the Thermoelectric Series" ("Sobre algunas apariencias anómalas que ocurren en las series termoeléctricas")⁽⁷⁹⁾. Tanto **Seebeck**, como **A.-C. Becquerel**, han llamado ya la atención sobre este último fenómeno, pero es **W. Thomson** quien lo explicaría, basándose en argumentos termodinámicos y en el efecto **Thomson** ([34], vol. III, p. 497).

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830; Francia) y **Hans Christian Oersted** (1777-1851; Dinamarca) publican⁽⁸⁰⁾ un artículo sobre los efectos termoeléctricos ([34], vol. V, p. 98).

⁷⁸⁾ *Annals of Philosophy*, 21 y 22, respectivamente.

⁷⁹⁾ *Annals of Philosophy*, 22.

⁸⁰⁾ *Annales de chimie et de physique*, 12.

(continúa 1823)

Francis Ronalds (1788-1873; Inglaterra) publica *Description of an Electric Telegraph and Some Other Electrical Apparatus* (Descripción de un telégrafo eléctrico y algunos otros aparatos eléctricos), en el cual describe sus trabajos sobre telegrafía que realizó alrededor de 1816. El libro es el primer trabajo sobre el telégrafo publicado en inglés. Anota la posibilidad de retrasos en la transmisión, así como los problemas en líneas muy largas debidos a la capacidad⁸¹⁾ (J23, p. 86).

Samuel Hunter Christie (1784-1865; Inglaterra), se refiere, en varios artículos (uno de este año, otro en 1825 y un tercero de 1827), a un método para separar los efectos de la temperatura en las observaciones de la variación diurna del campo magnético terrestre. Además propone que estas variaciones se deben a las corrientes termoelectricas en la Tierra, causadas por el calentamiento del Sol (J34, vol. II, p. 260).

Félix Savary (1797-1841; Francia) publica *Mémoire sur l'application du calcul aux phénomènes électrodynamiques* (Memoria sobre la aplicación del cálculo a los fenómenos electromagnéticos), en el que analiza la refracción de los fenómenos electrodinámicos (J35, vol. IX, p. 543; J40, p. 1481).

1823-26

André-Marie Ampère (1775-1836; Francia) se dedica a determinar experimentalmente la intensidad de las fuerzas electromagnéticas. Se basa en la idea de que la interacción fundamental en la electrodinámica es la fuerza que actúa entre dos alambres por los cuales circula una corriente eléctrica. A diferencia de la fuerza de gravedad, que puede ser tratada matemáticamente como la fuerza entre dos puntos geométricos simples, la fuerza debida a la corriente a lo largo de un alambre no puede ser tratada como un simple fenómeno local. La idea básica en su tratamiento matemático es la de considerar segmentos infinitesimales de alambre y suponer que las fuerzas que actúan entre tales segmentos obedecen la ley del inverso de los cuadrados. Después encuentra la fuerza total entre dos alambres, mediante el proceso de integración matemática de todas las unidades infinitesimales de fuerza, tomando en cuenta las direcciones en las cuales pueden actuar dichas fuerzas, dependiendo de la forma geométrica de los alambres. Ampère va encontrando, poco a poco, la fuerza total de diferentes configuraciones espaciales de alambres, hasta llegar a la forma final de su famosa y compacta fórmula (J36, p. 78).

1824

Siméon-Denis Poisson (1781-1842; Francia) presenta a la *Académie française des sciences* un artículo⁸²⁾ en el que establece una teoría completa del magnetismo. Su punto de partida es la doctrina de Coulomb de los dos fluidos magnéticos imponderables, que surgen de una descomposición de un fluido neutral y sus movimientos están confinados a los elementos individuales del cuerpo magnético, de tal manera que son incapaces de pasar de un elemento al siguiente (véase Coulomb, 1789). Poisson deriva una fórmula que muestra que la intensidad magnética (o fuerza ejercida sobre una unidad de polo magnético) producida por el cuerpo en el espacio externo es la misma que la que produciría una distribución ficticia de fluido magnético, consistente en una capa sobre su superficie con carga superficial ($I \cdot dS$) por elemento dS , junto con una distribución volumétrica de densidad $-\text{div } I$ a través de su sustancia, donde I representa el momento magnético por unidad de volumen o magnetización. A estas magnetizaciones se les llegaría a conocer como *distribuciones superficiales*

⁸¹⁾ Este es uno de los problemas más serios que se presentarían durante la instalación del cable transatlántico, unos cincuenta años después.

⁸²⁾ *Mémoires de l'Académie des sciences*, v, p. 247.

(continúa 1824)

y volumétricas del magnetismo equivalentes de Poisson, respectivamente. La suma de las integrales de superficie y de volumen de estas distribuciones se llamaría *potencial magnético*.

Poisson discute también el magnetismo inducido temporalmente en el hierro dulce y en otros metales magnetizables por el acercamiento de un imán permanente. Llega a la *ley de Poisson* del magnetismo inducido; sin embargo, el significado físico que le atribuye no es válido ([49], vol. I, pp. 62-65).

Dominique François Jean Arago (1786-1853; Francia) realiza varios experimentos basados en su descubrimiento de 1822 hecho en las colinas de Greenwich, Inglaterra. Desconcertado por el movimiento amortiguado de una brújula nueva (véase 1822), encuentra que éste está asociado con la base de cobre de la brújula. Siguiendo en esta línea de investigación, Arago monta un plato circular de cobre sobre un eje vertical. El plato se hace girar mediante un sistema de una polea y una banda. Sobre el disco, en un pivote, se coloca una aguja magnética. Cuando hace girar el disco, se produce una rotación en la aguja. Cuando se invierte la dirección de rotación del disco, la aguja disminuye su velocidad, se detiene y empieza a girar en el mismo sentido que el disco. Además, el efecto se ve reducido si se cortan algunas ranuras en el cobre, lo cual sugiere que el fenómeno puede estar asociado con las corrientes eléctricas del disco. Arago no logra comprender la causa del efecto; J. F. W. Herschel y Babbage intentan, sin éxito, dar una explicación, dado que se basan en las teorías de Ampère⁸³⁾. Al dispositivo se le llegaría a conocer como *disco de Arago* y al movimiento giratorio como *rotación de Arago* ([3], vol. I, p. 511; [18], p. 60; [25], p. 87; [34], vol. I, p. 203; [31], pp. 15-16).

Samuel Hunter Christie (1784-1865; Inglaterra) anuncia el descubrimiento realizado en 1821, sobre los efectos magnéticos debidos a la rotación de una placa de hierro. Su trabajo es independiente y anterior al informe de Arago (véase arriba). De sus experimentos concluye que dado que la dirección de la polaridad magnética adquirida por el hierro mediante la rotación sobre un eje, siempre se alinea en la dirección de las fuerzas magnéticas terrestres, la Tierra comunica su magnetismo al hierro. El Sol, a su vez, le comunica su magnetismo a la Tierra ([34], vol. II, p. 260).

Henri-Prudence Gambey (1787-1847; Francia) nota que el movimiento de un imán en balanceo se amortigua rápidamente cuando se coloca una placa de cobre bajo el imán ([25], p. 87).

En septiembre, André-Marie Ampère (1775-1836; Francia) y Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) publican "Note sur une expérience relative à la nature du courant électrique, faite par MM. Ampère et Becquerel" ("Nota sobre una experiencia relativa a la naturaleza de la corriente eléctrica, realizada por los Sres. Ampère y Becquerel")⁸⁴⁾ ([34], vol. X, p. 193).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) describe el principio de protección catódica (véase 1929) ([54], p. 15).

Aparece un artículo titulado "Mechanical effects of electricity" ("Efectos mecánicos de la electricidad")⁸⁵⁾ en el que se describe un dispositivo que muestra

83) En 1831, Faraday daría la explicación correcta de este fenómeno.

84) *Annales de chimie et de physique*, 27, pp. 29-31

85) *Mechanics Magazine*, 3, pp. 249-250.

(continúa 1824)

los efectos mecánicos de la electricidad. Una rueda ligera con aspas de papel se monta en un eje debajo de dos electrodos de punta, de tal forma que las aspas puedan moverse en el espacio entre los electrodos. Cuando se descarga de una máquina friccional o de una botella de Leyden entre los electrodos, la rueda gira, con las aspas moviéndose entre el electrodo positivo y el negativo ([31], pp. 42-43).

En Port Bowen, al norte del Círculo Polar Ártico, Henry Foster (1797-1831; Inglaterra) pasa el invierno como astrónomo de una expedición dirigida por Parry. Entre otras investigaciones, Foster estudia el geomagnetismo. A petición de Chrintie, repite algunos experimentos sobre las propiedades magnéticas impartidas a una placa de hierro por rotación (véase 1826) ([34], vol. V, pp. 78-79).

Se funda el *Franklin Institute*, en la ciudad de Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos ([3], vol. 4, p. 942).

1825

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) da a conocer, en una sesión de la *Royal Society of Arts*, en Londres, Inglaterra, dos electroimanes construidos por él, uno en forma de herradura y otro recto. El primero de ellos está formado por una barra de hierro dulce de unos 30 cm de largo y 1.25 cm de diámetro, doblada en forma de herradura, con una capa de barniz aislante y enrollada con 16 vueltas de alambre de cobre desnudo (teniendo cuidado de que cada vuelta esté separada de las demás). Empleando una pila de celda única (cuyas placas tienen un área de 8.4 m²) logra levantar un peso de hasta 4.5 kg (véanse Barlow y Sturgeon, 1823). Sturgeon describe su electroimán en "Account of an Electromagnetic Apparatus" ("Recuento de un aparato electromagnético")⁸⁶⁾. Recibe la Medalla de Plata de la *Royal Society of Arts* ([16], p. 60; [18], pp. 61-62; [25], p. 87; [34], vol. XIII, p. 126).

En enero, Peter Barlow (1776-1862; Inglaterra) publica "On the Laws of Electro-Magnetic Action, as Depending on the Length and Dimensions of the Conducting Wire, and on the Question, Whether Electrical Phenomena Are Due to the Transmission of a Single or of a Compound Fluid?" ("Sobre las leyes de la acción electromagnética, en tanto que son dependientes de la longitud y dimensiones del alambre conductor, y sobre la cuestión de si los fenómenos eléctricos son debidos a la transmisión de un solo fluido o de uno compuesto")⁸⁷⁾. Informa sobre su búsqueda de una relación directa entre la intensidad de una corriente, medida por la desviación de una aguja magnética, y la longitud y diámetro del alambre conductor. Encuentra que la intensidad es aproximadamente proporcional al inverso de la raíz cuadrada de la longitud del alambre y que, para alambres de igual longitud, la intensidad se incrementa con el diámetro sólo hasta cierto valor, más allá del cual cualquier incremento en el diámetro no tiene ningún efecto en la intensidad. Barlow esperaba encontrar una disminución constante del efecto en la dirección del polo positivo al negativo, o en la de los polos hacia el centro del circuito, para así decidirse por la teoría de un fluido o por la de dos. Sin embargo, lo inesperado de sus resultados lo deja muy intrigado ([34], vol. X, p. 188). Describe un experimento en el cual aplica el electroimán de Sturgeon (véase arriba) a la telegrafía. Los resultados no son del todo alentadores debido a que el sistema de Barlow presenta varias fallas cuando trata de operarlo con alambres largos ([25], p. 88).

⁸⁶⁾ *Annals of Philosophy*.

(continúa 1825)

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) se ha preguntado si, dado que una corriente eléctrica produce efectos magnéticos, el magnetismo producirá una corriente eléctrica. Se inclina a aceptar la idea de Ampère de que los efectos magnéticos se deben a pequeñas corrientes eléctricas circulando dentro del imán; supone que si se colocan dos alambres, uno al lado del otro, entonces una corriente que fluya por una de ellos debería producir algún efecto eléctrico en el otro alambre. Así, coloca dos alambres de 1.5 m de largo separados sólo por una hoja de papel; conecta una batería a uno de los alambres y un galvanómetro al otro; sin embargo no observa ningún efecto (véase 1831) ([51], p. 15).

Antoine-César Becquerel (1788-1878, Francia) publica "Du conducteur de l'électricité dans le métaux et de l'intensité de la force électro-dynamique en un point quelconque d'un fil métallique qui joint les deux extrémités d'une pile lu á l'Académie royale des sciences, le 31 janvier 1825" ("Del poder conductor de la electricidad en los metales y de la intensidad de la fuerza electrodinámica en un punto cualquiera de un alambre metálico que une los dos extremos de una pila, que tuvo lugar en la Academia real de ciencias, el 31 de enero de 1825")⁽⁸⁸⁾. Al igual que Davy, encuentra que para obtener la misma conductibilidad con alambres del mismo metal, la razón de sus longitudes debe ser la misma que la de sus secciones transversales. Ambos determinan la conductibilidad relativa de diferentes metales; sin embargo, sus resultados difieren considerablemente. Ninguno de los dos mide la corriente eléctrica ni los efectos electromagnéticos; ambos prefieren llevar a cabo experimentos con efectos de equilibrio o efectos nulos. Utilizando los mismos resultados de Barlow y sus propios hallazgos, Becquerel propone que la electricidad es una corriente doble, donde cada una de las componentes viaja en dirección opuesta (una a la otra) y tiene signo contrario, de tal forma que la intensidad o cantidad de cada una (Becquerel no precisa este punto) disminuye aritméticamente a partir de su polo de origen, resultando una corriente neta constante en todo punto de su trayectoria. Observa, asimismo, que los efectos electromagnéticos no varían a lo largo del alambre conductor ([34], vol. X, p. 188).

Georg Simon Ohm (1789-1854; Baviera) publica "Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektricität leiten" ("Notificación preliminar de los estatutos, según los cuales los metales conducen la electricidad por contacto"), en el cual formula una relación funcional entre el decremento en la fuerza electromagnética ejercida por un alambre conductor y la longitud del mismo. Sus conclusiones se basan estrictamente en la información obtenida a partir de observaciones experimentales. Es interesante notar que su intención no es medir la corriente eléctrica. Menciona que su fórmula se puede aplicar a la serie de experimentos realizados por Poggendorf, en los cuales había mostrado los efectos magnificadores de su multiplicador, hacia 1821 ([34], vol. X, p. 187).

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) inventa el proceso electrolítico para producir aluminio metálico, y lo anuncia en febrero de este año a la Royal Society of London⁽⁸⁹⁾ ([3], vol. 8, p. 1014; [25], p. 87).

Thomas Seebeck (1770-1831; Estonia) analiza con mayor detalle el descubrimiento de Arago (véase 1824) y encuentra que casi cualquier material amortigua las oscilaciones de la aguja de hierro magnetizada alrededor del meridiano magnético. Luego experimentaría sobre la magnetizabilidad de varios

⁸⁷⁾ *Edinburgh Philosophical Journal*, 12, no. 23, p. 110-114.

⁸⁸⁾ *Annales de chimie et de physique*, 32.

⁸⁹⁾ Generalmente se le da el crédito a Wöhler por este invento, quien publicaría su artículo en 1827.

(continúa 1825)

metales y encuentra que se presenta una reacción anómala en el hierro al rojo vivo magnetizado, fenómeno que lo llevaría al descubrimiento de la *histéresis* ([34], vol. XII, p. 281).

Charles Babbage (1792-1871; Inglaterra) y John Frederick William Herschel (1792-1871; Inglaterra) repiten los experimentos de Arago sobre la magnetización de las placas metálicas en rotación (véase Arago, 1824) ([40], p. 81).

Dominique François Jean Arago (1786-1853; Francia) descubre que ciertos materiales que no contienen hierro, presentan algunas propiedades magnéticas ([25], p. 64).

Pavel L. Schilling (1786-1837; Rusia), en Rusia, inventa el telégrafo electromagnético, muy poco tiempo después de que Sturgeon anuncia su electroimán de 1825. Sin embargo, el Zar considera que tal invento resulta subversivo y prohíbe que se haga cualquier mención en la prensa sobre los trabajos de Schilling ([25], pp. 87-88).

En junio se escribe un artículo⁹⁰⁾ en el que se propone el uso del cuerpo humano como receptor de un sistema telegráfico: «Por medio de una serie de graduaciones en la fuerza y número de las descargas, así como por los intervalos entre las mismas, todo tipo de señal puede llegar a ser totalmente inteligible.» ([25], p. 87).

Goldsworthy Gurney (1798-1875; Inglaterra) inventa la luz de calcio (*limelight*) de llama oxihídrica ([1]).

1825-31

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) realizaría diversos intentos -todos infructuosos- para convertir el magnetismo en electricidad ([17], vol. V, p. 179).

ca. 1826

Augustin Jean Fresnel (1788-1827; Francia) contribuye al modelo molecular electrodinámico de Ampère, en una de sus aportaciones más notables fuera del campo de la óptica. Podría pensarse que de no haber muerto poco después, Fresnel habría seguido investigando en la misma línea de pensamiento de su juventud (véase 1814), en el sentido de concebir al calor, la luz y a la electricidad como una base común en los movimientos de un éter universal ([34], vol. V, p. 171).

1826

André-Marie Ampère (1775-1836; Francia) vuelve a trabajar sobre sus artículos de años anteriores, hasta conformar y publicar *Mémoires sur la théorie mathématique du phénomènes électrodinamiques uniquement déduit de l'expérience* (Memorias sobre la teoría matemática de los fenómenos electrodinámicos únicamente deducida a partir de la experiencia) ([1]; [36], p. 79). Este trabajo, que marca el inicio de la electrodinámica, es resultado de sus investigaciones realizadas entre 1821 y 1825. Ampère describe en él las leyes de acción de las corrientes eléctricas, que ha descubierto en cuatro experimentos extremadamente ingeniosos. En el primero, Ampère «demuestra la igualdad del valor absoluto de la atracción y repulsión producidas cuando una corriente fluye primero en una dirección opuesta en un conductor fijo al que no se le cambia ni la orientación ni la distancia al cuerpo sobre el cual actúa.» En el segundo

⁹⁰⁾ *Mechanics Magazine*, 11 de junio.

(continúa 1826)

«demuestra la igualdad de las acciones ejercidas sobre un conductor rectilíneo y el otro doblado de alguna forma.» En el tercero «demuestra que un circuito cerrado, de cualquier forma, no puede mover alguna porción de un alambre conductor que forma un arco de un círculo, cuyo centro yace sobre un eje fijo alrededor del que puede girar libremente y que es perpendicular al plano del círculo, del cual el arco es una parte.» El cuarto experimento, que de hecho **Ampère** no ha realizado aún, está destinado a determinar ciertas constantes necesarias para la solución de su ecuación matemática, midiendo la acción de un imán y la de un alambre transportador de corriente sobre otro. Con los resultados de sus experimentos aplica las matemáticas al fenómeno, ideando una teoría de la cual puede deducir las relaciones buscadas. Establece una fórmula que reduce los fenómenos eléctricos y magnéticos conocidos, a una fuerza del inverso del cuadrado a lo largo de la línea que une dos elementos de corriente separados una distancia dada (véase 1823-26) (34), vol. IX, p. 204).

Johann Christian Poggendorf (1796-1877; Alemania) utiliza un pequeño espejo sobre un sistema de suspensión (que refleja los haces de luz en una escala) en el movimiento de su galvanómetro para obtener una mayor precisión en el registro de pequeñas desviaciones⁹¹⁾ (18), p. 76; (25), p. 88; (34), vol. XI, p. 50; (40), p. 1357).

Leopoldo Nobili (1784-1835; Italia) inventa el galvanómetro astático, consistente en una combinación de dos agujas magnéticas paralelas, pero de polarización opuesta. De esta forma, se neutralizan los efectos del campo magnético de la Tierra, y es así capaz de medir pequeñas corrientes eléctricas. Algunos autores acreditan a **Ampère** o a **Babbage** de haberlo inventado (25), pp. 63, 68 y 87; (57), p. 399).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) conoce bien los trabajos de **Davy**, **Faraday**, **Ampère** y **Biot** y ha estudiado el magnetismo terrestre. Observa la variación de la aguja de una brújula causada por la presencia de las auroras boreales. Realiza dichos experimentos con una brújula de **Hansteen** que **Sabine** le había mandado al Profesor **J. Renwick**. Cuando presencia una demostración del descubrimiento de **Oersted**, inmediatamente lo ve como una forma de explicar la variación de la aguja magnética (34), vol. VI, pp. 277-278).

En una visita a la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, **Henry** tiene la oportunidad de estudiar un electroimán, supuestamente construido por **Sturgeon** y que forma parte del equipo de **Dana**, quien dicta una conferencia en el Colegio de Médicos y Cirujanos. Este estudio lo motiva para construir una versión mejorada del electroimán (25), pp. 88-89).

Georg Simon Ohm (1789-1854; Baviera) aclara, con precisión matemática, exactamente qué es lo que permanece constante (la corriente) y lo que disminuye gradualmente (la tensión o fuerza electroscópica), a lo largo de un alambre conductor. Seguramente, las ideas y descubrimientos de A.-C. **Becquerel** y de **Barlow**, del año anterior influyen en sus propias concepciones. Publica "Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektricität leiten, nebst einem Entwurfe zu einer Theorie des Voltaischen Apparates und des Schweiggerschen Multipliers" ("Determinación de los estatutos, según los cuales los metales conducen la electricidad por contacto, con un esbozo de una teoría de los aparatos voltaicos y de los multiplicadores tipo Schweigger")⁹²⁾, en el cual describe correctamente la ley general que relaciona la corriente en un

⁹¹⁾ **Gauss** utilizaría este sistema en sus estudios del magnetismo terrestre, en 1833.

⁹²⁾ *Journal für Chemie und Physik*, 46.

(continúa 1826)

conductor y el voltaje aplicado. Resume sus resultados diciendo que «los conductores eléctricos de la misma sustancia, pero de diferentes diámetros, tienen los mismos valores para la conductividad en sus longitudes en proporción a sus secciones transversales.»

Con esta ley pone orden al caos surgido a partir de la gran colección de fenómenos relacionados con circuitos cerrados y con la conductibilidad. Por ejemplo, puede explicar la aparente diferencia en el comportamiento de las pilas voltaicas y las termoelectricas. En este artículo, Ohm desarrolla también, una teoría matemática simple del multiplicador, la cual proporciona con exactitud las condiciones bajo las cuales el efecto electromagnético aumenta o disminuye, explica el por qué el incremento alcanza un límite máximo y el por qué parece que el multiplicador debilita el efecto de un circuito termoelectrico, mientras que parece incrementar el de un circuito hidroelectrico o voltaico. Publica, además, un segundo artículo, "Versuch einer Theorie der durch galvanische Kräfte hervorgebrachten elektroskopischen Erscheinungen" ("Intento de una teoría mediante las fuerzas galvánicas generadas en los fenómenos electroscópicos")⁹³, en el cual asocia la tensión eléctrica a circuitos galvánicos tanto abiertos como a cerrados, teoría matemática basada en el hecho de que, según él, el contacto de cuerpos heterogéneos produce y mantiene una tensión eléctrica constante ([25], p. 89; [34], vol. X, pp. 188-189).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia), del estudio del efecto piezoeléctrico realizado a partir de 1819, pasa a investigar el efecto termoelectrico. En particular, lo utiliza para medir temperaturas cuantitativas, habiendo primero, calibrado las termopilas en términos de temperaturas. Sin embargo, la poca confiabilidad en la operación de los galvanómetros no le permite realizar grandes progresos ([16], p. 335). Descubre varias temperaturas de transición, a las cuales las propiedades eléctricas de las sustancias cambian de manera discontinua. Sugiere el uso de este efecto para medir altas temperaturas ([25], p. 89; [34], vol. I, p. 557). Inventa un termómetro eléctrico, que usa para medir la temperatura del suelo, de la atmósfera y la temperatura interna del cuerpo humano. Establece que esta temperatura es de 37° ([40], p. 141).

En agosto, Becquerel publica "Du pouvoir conducteur de l'électricité dans les métaux, et de l'intensité de la force électro-dynamique en un point quelconque d'un fil métallique qui joint les deux extrémités d'une pile lu à l'Académie royale des sciences le 31 Janvier 1825" ("Del poder conductor de la electricidad dentro de los metales, y de la intensidad de la fuerza electrodinámica en un punto cualquiera de un hilo metálico que une los dos extremos de una pila, realizados ante la Academia real de ciencias el 31 de enero de 1825")⁹⁴ ([34], vol. X, p. 193).

Humphry Davy (1778-1829; Inglaterra) publica una conferencia titulada "On the Relation of Electrical and Chemical Changes" ("Sobre la relación de los cambios eléctricos y químicos") ([3], vol. I, p. 523).

Mary Fairfax Samuerville (1780-1872; Escocia) publica "On the Magnetizing Power of the More Refrangible Solar Rays" ("Sobre el poder magnetizador de los rayos solares más refrangibles")⁹⁵ ([34], vol. XII, p. 525).

Henry Foster (1797-1831; Inglaterra) publica "Account of the Repetition of Mr. Christie's Experiments on the Magnetic Properties Imparted to an Iron Plate

⁹³) *Annales der Physik und Chemie*, 6.

⁹⁴) *Annales de chimie et de physique*, 32, p. 420-430.

⁹⁵) *Transactions of the Philosophical Society of London*, 116, p. 132.

(continúa 1826)

by Rotation [...] ("Recuento de la repetición de los experimentos del Sr. Christie sobre las propiedades magnéticas impartidas a una placa de acero mediante la rotación [...]")⁹⁶⁾ (véase 1824-25) y "Observations on the Diurnal Change in the Position of the Horizontal Needle [...]" ("Observaciones sobre el cambio diario en la posición de la aguja horizontal [...]")⁹⁷⁾ (134), vol. V, p. 79).

Harrison Gray Dyar construye un telégrafo en el cual utiliza una chispa para producir la descomposición química. Es el primer telégrafo cuya salida queda registrada (125), p. 89).

Christopher Hansteen (1784-1873; Noruega), como resultado de sus expediciones a diferentes regiones de la Tierra (con el propósito de tener más información de la intensidad del campo magnético terrestre), publica un mapa magnético bastante confiable (134), vol. VI, p. 107).

Edward Sabine (1788-1883; Irlanda), seguidor de Hansteen, cree en la existencia de dos polos magnéticos en cada hemisferio terrestre y que el magnetismo de la Tierra es el mismo que, o está estrechamente relacionado con, los fenómenos atmosféricos. Junto con Babbage, realiza varias mediciones magnéticas en las Islas Británicas (134), vol. XII, p. 49).

Henry Foster (1797-1831; Inglaterra) y William Edward Parry (1790-1855; Inglaterra) publican "Magnetical observations at Port Bowen" ("Observaciones magnéticas en Port Bowen")⁹⁸⁾ (véase 1824-25) (134), vol. V, p. 79).

Thomas Drummond (1797-1840; Escocia) inventa una lámpara basada en una esfera de cal calentada con una llama oxhídrica, de gran intensidad calorífica, hasta que se pone incandescente (véase Gurney, 1925) (155), p. 926).

1827

Georg Simon Ohm (1789-1854; Baviera) publica un estudio matemático sobre las leyes de la electricidad, *Die Galvanische Kette, mathematisch bearbeitet* (La cadena galvánica, transcripción matemática), siendo el primero en realizar un análisis claro de la relación entre corriente, voltaje y resistencia.

Ohm concibe su teoría como un sistema estrictamente deductivo, basado en tres leyes fundamentales y, sin embargo, en ningún lugar indica con precisión cuál, de las diversas expresiones verbales y matemáticas, se debe tomar como la forma canónica. Ohm define operacionalmente la fuerza electroscópica como la fuerza cuya presencia se puede detectar con un electroscopio; además, define la cantidad de electricidad de un cuerpo como el producto de la magnitud de su fuerza electroscópica por su volumen. La primera ley fundamental asume explícitamente que la cantidad de electricidad transmitida de un objeto a otro, es proporcional a la diferencia en las fuerzas electroscópicas de los cuerpos. La segunda ley se refiere a la pérdida de electricidad de un cuerpo hacia sus alrededores; mientras que la tercera ley es la que propone que el contacto entre cuerpos heterogéneos produce y mantiene una diferencia de fuerzas electroscópicas (tensión) a través de su superficie común. Muestra que la corriente producida en un circuito es directamente proporcional a la fuerza electromotriz aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del circuito. A esta relación se le conoce como *ley de Ohm*.

⁹⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 26, pt. 4.

⁹⁷⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 26, pt. 4.

⁹⁸⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 26, pt. 4.

(continúa 1827)

La originalidad conceptual más importante de **Ohm** yace en la explicación de la relación intrínseca entre la tensión y la corriente, y en la asociación de una tensión eléctrica variable (o fuerza electroscópica) a cada punto del alambre conductor. Los investigadores anteriores supusieron vagamente tales relaciones; por ejemplo, **Ritter**, **P. Erman** y **Jäger**, hacia principios de siglo, demostraron no sólo la presencia de una fuerza electroscópica en los polos de una pila, la cual se cerraba por medio de un conductor pobre (tal como el agua), sino que también mostraron el decrecimiento progresivo de esta fuerza, a partir de los polos y en dirección hacia el centro del circuito. En otras palabras, **Ohm** identifica conceptualmente la fuerza electromotriz (pila cerrada) con la fuerza electroscópica (pila abierta).

Su teoría se basa en una hipotética analogía entre el flujo y distribución de la corriente en un conductor de forma arbitraria al cual se le aplica una tensión, y el flujo de calor en un cuerpo, en cuyos bordes se establece una diferencia de temperatura. Estructura conscientemente su teoría de forma idéntica a la teoría analítica del calor de **Fourier** de 1822. Aparentemente, ni **Ohm** ni los demás científicos, se dan cuenta de que tal analogía lleva a resultados erróneos. **Ohm** piensa que una distribución uniforme de la electricidad puede subsistir en reposo en un conductor.

Sin embargo, como no todos los científicos de otros países entienden el alemán, el trabajo de **Ohm** permanecería en la oscuridad, hasta que se publicaría una traducción al inglés en 1841 ([1]: [25], p. 89; [34], vol. VII, p. 380 y vol. X, pp. 190-192; [51], p. 62).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) realiza una exhibición ante la *Academy of Albany*, donde demuestra que con una barra en forma de herradura de 25.5 cm de largo, a la cual enrolla 9.15 m de alambre delgado de cobre, puede levantar 6.35 kg, utilizando una batería de 16.125 cm² por placa. Añadiendo un segundo enrollado de 9.15 m de alambre, logra levantar 12.7 kg ([1]: [3], vol. 5, p. 854; [18], pp. 62-64; [25], p. 90; [51], pp. 62-63; [57], p. 400).

Félix Savary (1797-1841; Francia) estudia la magnetización de las agujas de acero situadas a diferentes distancias de un alambre por el que pasa la descarga de una botella de Leyden ([25], p. 89; [40], p. 1481).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) y **Alexander-Claude-Martin Le Baillif** (1764-1831; Francia) redescubren el diamagnetismo en el bismuto y en el antimonio ([25], p. 90).

Friedrich Wöhler (1800-1882; Alemania) publica un artículo sobre la producción de aluminio utilizando una corriente eléctrica. Este descubrimiento lo realizó **Oersted** en 1825 y el propio **Wöhler** le da el crédito correspondiente; sin embargo, dada la claridad del artículo de su, algunos autores consideran a **Wöhler** como el descubridor del aluminio electrolítico ([25], p. 89; [34], vol. XII, p. 475).

James Cumming (1777-1861; Inglaterra) publica *A Manual of Electrodynamics* (*Manual de electrodinámica*) ([40], p. 394).

Jacob Green (1790-1841; Estados Unidos) escribe *Electro-Magnetism* (*Electromagnetismo*) ([34], vol. I, p. 518).

(continúa 1827)

Leopoldo Nobili (1784-1835; Italia) publica "Sur une nouvelle classe de phénomènes électrochimiques" (Sobre una nueva clase de fenómenos electroquímicos)⁹⁹⁾ (134), vol. 10, p. 136).

Jean-Claude-Eugène Peclet (1793-1857; Francia) publica *Traité de l'éclairage* (Tratado del alumbrado) (140), p. 1323).

DEPRESIÓN (1828-1842)

1828

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) empieza a buscar la manera de mejorar los electroimanes. Luego de investigaciones tanto prácticas como teóricas llega, entre otras, a las siguientes conclusiones:

- 1) En los arreglos de Arago de 1820 y de Sturgeon de 1825, cada giro del alambre enrollado no forma un ángulo recto con el eje de la barra, sino que queda ligeramente oblicuo y, por lo tanto, cada uno tiende a desarrollar un magnetismo por separado. Por este motivo decide juntar lo más posible los giros, para que cada uno forme casi una circunferencia, dado que, según el análisis realizado por Ampère, esta disposición se acerca más a las condiciones requeridas por la teoría,
- 2) Para que cada vuelta quede separada eléctricamente de sus vecinas utiliza, por primera vez, un alambre conductor aislado. El aislante que emplea es seda y el diámetro del alambre es de 0.085 cm.

En experimentos posteriores Henry añade más vueltas a la bobina, hasta que se le presenta un problema nuevo. Encuentra que a partir de un cierto punto, cuando aumenta el número de giros, el incremento en la potencia para levantar pesos es menos efectivo¹⁰⁰⁾. Llega a dos soluciones alternativas: a) añadir una segunda bobina al mismo núcleo, conectada a la misma batería, o b) añadir una fuerza propulsora de la corriente, aumentando el número de elementos en la batería, para que la corriente de salida pueda recorrer el alambre en su totalidad (11; 13), vol. 5, p. 854; 118), pp. 62-64; 125), p. 90; 151), pp. 62-63; 157), p. 400).

Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857; Baviera) construye el primer galvanómetro de bobina móvil (152), p. 44).

Leopoldo Nobili (1784-1835; Italia) construye un galvanómetro estático muy sensible, versión mejorada del galvanómetro de bobina móvil de Schweigger (véase arriba) y compara la sensibilidad de ambos dispositivos. Publica "Comparison entre les deux galvanomètres les plus sensibles, la grenouille et le multiplicateur à deux aiguilles, suivie de quelques résultats nouveaux" ("Comparación entre los dos galvanómetros más sensibles, la grenouille y el multiplicador de dos agujas, seguida de algunos resultados nuevos")¹⁰¹⁾ (152), p. 44).

George Green (1793-1841; Inglaterra) publica *Essay on the Application of Mathematical Analysis to the Theories of Electricity and Magnetism* (Ensayo sobre la aplicación del análisis matemático a las teorías de la electricidad y el magnetismo), donde generaliza las investigaciones de Poisson de 1812 y 1824.

⁹⁹⁾ *Annales de chimie et de physique*, 34.

¹⁰⁰⁾ Se puede explicar este hecho mediante la ley de Ohm: el número extra de vueltas del alambre incrementa la resistencia del circuito y reduce la corriente.

¹⁰¹⁾ *Annales de chimie et de physique*, 43, p. 256-258.

(continúa 1828)

Su tratamiento está basado en las propiedades de la función utilizada por Lagrange y el propio Poisson, que representa la suma de todas las cargas eléctricas o magnéticas, dividida por sus respectivas distancias a un punto dado. Green designa a esta función como *potencial*, es así el primero en introducir dicho concepto en las teorías eléctricas y magnéticas. Más tarde publicaría *On the Laws of the Equilibrium of Fluids Analogous to the Electric Fluid* (Sobre las leyes del equilibrio de los fluidos análogos al fluido eléctrico) ([16], p. 79; [38], vol. 13, p. 422; [49], vol. 1, pp. 63-66).

Leopoldo Nobili (1784-1835, Italia), cuyos fundamentos filosóficos están en la escuela de Ampère (la cual se basa en la suposición de que los efectos electromagnéticos son resultado de una fuerza central, de acción a distancia, que no necesita de ningún campo para interactuar), rechaza la idea de que la electricidad estática (la de Coulomb y Poisson) sea la misma que la dinámica (la de Volta), así como las explicaciones voltaicas de los procesos involucrados en la descomposición electroquímica del agua. Ampère había mostrado que los elementos adyacentes en una corriente eléctrica se repelen mutuamente. Nobili asegura que la corriente en el circuito de la pila voltaica, al tratar de incrementar su longitud (dada la autorrepulsión de las partes que la conforman), ejerce una poderosa fuerza entre las terminales de la barra de cinc y cobre sumergida en agua. Dicha fuerza provoca que las partículas del agua se disocien. Esta conclusión sería esencial para la aceptación de la electrodinámica de Maxwell y para que Weber centre sus estudios en las fuerzas eléctricas necesarias para explicar los fenómenos descubiertos por Faraday. Nobili cree firmemente en la identidad del flujo calórico y el flujo eléctrico. Publica "Sur la nature des courants électriques" ("Sobre la naturaleza de las corrientes eléctricas")¹⁰² ([34], vol. X, pp. 135-136).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) ha utilizado mucho las baterías de Cruikshank (véase 1800). En *Chemical manipulation* (Manipulación química), publicado, Faraday recomienda que el electrolito debe estar formado por un volumen de ácido nítrico y tres volúmenes de ácido sulfúrico, diluidos en 100 volúmenes de agua, con lo que se alcanza la fuerza óptima ([51], p. 9).

Harrison Gray Dyar usa varios kilómetros de alambre alrededor de una pista de carreras, en Long Island, Estados Unidos, para construir un telégrafo (por supuesto, muy burdo). Para registrar los pumos y los guiones, utiliza papel tornasol ([25], p. 90). Tiene que interrumpir sus experimentos por problemas legales (véanse 1826 y 1848) ([25], p. 110).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) y Kemp estudian el fenómeno conocido como *acción local* (véase 1805), en el que una pila voltaica reduce su capacidad debido al deterioro de las celdas -por la desintegración de las placas de cinc-, incluso cuando está fuera de uso. Sturgeon y Kemp notan que la acción local es originada por impurezas en las placas de cinc, que ocasionan corrientes locales que pasan en el electrolito de una parte de la superficie a otra. Dichas corrientes, que consumen energía, no son utilizables en el circuito exterior. Para evitar este efecto proponen amalgamar la placa de cinc con mercurio. Frotan el mercurio sobre las placas de cinc con un trapo impregnado de ácido, para producir una superficie brillante y limpia que no es atacada por el electrolito, aun cuando ésta tenga partículas de impureza ([18], pp. 44-45).

¹⁰²) *Bibliothèque universelle*, 37.

(continúa 1828)

Leopoldo Nobili (1784-1835; Italia) es el primero en mostrar la presencia de una corriente eléctrica propia en el tronco intacto de una rana sin piel. Con su galvanómetro astático mide la corriente bioeléctrica y observa que, al igual que la corriente galvánica, presenta una dirección y una intensidad. Conecta varias ancas de rana en serie, obteniendo efectos eléctricos incrementados⁽¹⁰³⁾ ([25], p. 90; [34], vol. IV, p. 200).

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra [entonces francesa]) publica "Recherches sur la cause de l'électricité voltaïque" ("Investigaciones sobre la causa de la electricidad voltaica")⁽¹⁰⁴⁾ (véanse 1822-28, 1833 y 1836) ([34], vol. VIII, p. 37; [40], p. 1000).

1828-30

Joseph Liouville (1809-1882; Francia) presenta a la *Académie française des sciences*, de París, Francia, dos memorias (de un total de siete) sobre la teoría de la electricidad ([34], vol. VIII, p. 382).

Gerard Moll (1785-1838; Países Bajos), después de observar algunos experimentos de Sturgeon, consigue un electroimán y realiza sus propios experimentos tendientes a relacionar el peso sostenido por el imán y el área activa del cinc de la batería que proporciona la corriente; además, trata de medir la velocidad a la que se puede crear y destruir el magnetismo cuando se abre y se cierra un circuito, y la rapidez a la cual se puede invertir la polaridad (véase 1830) ([51], p. 43).

1828-31

Henry Foster (1797-1831; Inglaterra) es comandante de una expedición geofísica a los mares del sur, sugerida por la *Royal Society of London*, Inglaterra, para estudiar el geomagnetismo, la gravedad terrestre, meteorología y oceanografía (véase 1834) ([34], vol. V, pp. 78-79).

1829

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) cree que existe una relación muy cercana entre la electricidad, por un lado y el calor, la luz y las reacciones químicas, por el otro. En una serie de experimentos muy cuidadosos, establece sin lugar a dudas que sólo puede generarse electricidad por el contacto de dos cuerpos diferentes cuando éstos reaccionan químicamente, difieren en sus temperaturas o se frotan uno con otro. Inversamente, toda reacción química puede producir electricidad.

Emplea el descubrimiento de Davy (una pila puede construirse con dos líquidos separados por una barrera sólida) en la construcción de la primera pila que, no siendo polarizada -en la que utiliza por primera vez sulfato o nitrato de cobre como depolarizador-, puede proporcionar una fuerza electromotriz (fem) razonablemente constante. Con la pila lleva a cabo experimentos a pequeña escala sobre la síntesis de sustancias minerales. Como puede controlar la fem a través de una electrólisis secundaria, obtiene cristales de varias sustancias (en particular sulfuros) que con anterioridad sólo habrían sido producidos en una condición amorfa. Sugiere que la presencia de sustancias cristalinas en venas minerales puede explicarse mediante la hipótesis de que fueron depositadas por corrientes eléctricas que operaron por un período muy largo de tiempo ([18], p. 45; [34], vol. I, p. 557).

⁽¹⁰³⁾ *Annals of Chemistry and Physics*, 38.

⁽¹⁰⁴⁾ *Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, 4, pt. 3, pp. 285-334. Este mismo artículo aparece antes y ligeramente diferente, en *Annales de chimie et de physique*, 2^e ser., 39, este año; las dos siguientes partes se encuentran en *ibid.*, 6, pt. 1 (1833), pp. 149-208, e *ibid.* 7, pt. 2 (1836), pp. 457-517.

X. OCTAVO CICLO ECONÓMICO LARGO (1787-1842)

(continúa 1829)

Leopoldo **Nobili** (1784-1835; Italia) desarrolla un método para incrementar la sensibilidad del efecto termoelectrico, en el cual coloca varias junturas de metales en forma de cascada, para formar una termopila ([16], p. 335).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von **Humboldt** (1769-1859; Alemania), durante su viaje a Rusia, sugiere la instalación de un sistema mundial de observatorios geomagnéticos, con la finalidad de reforzar sus propias observaciones con investigaciones sistemáticas que cubran áreas cada vez más extensas ([34], vol. XII, p. 50 y vol. VI, p. 551).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) **Lenz** (1804-1865; Rusia) participa en una expedición científica por el sur de Rusia. En Nikolayev realiza algunas observaciones magnéticas, de acuerdo con el programa de **Humboldt**, de tomar mediciones simultáneas para la red mundial de observatorios magnéticos ([34], vol. VIII, p. 187).

Gustav Theodor **Fechner** (1801-1887; Alemania) en *Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie* (Libro de texto del galvanismo y la electroquímica) le otorga un lugar prominente a las teorías de **Ohm** ([34], vol. X, p. 192).

ca. 1830

John Fries **Frazer** (1812-1872; Estados Unidos) y Alexander Dallas **Bache** (1806-1867; Estados Unidos) experimentan sobre la determinación de la variación diaria de la aguja magnética. Investigan la interacción de la aurora boreal y las fuerzas magnéticas ([40], p. 601).

Charles **Babbage** (1792-1871; Inglaterra) y John Frederick William **Herschell** (1792-1871; Inglaterra) asumen que la electricidad atmosférica surge de la interacción termoelectrica del cielo y la Tierra, interacción que, a su vez, produce el magnetismo terrestre mediante algún tipo de inducción ([34], vol. XII, p. 49).

Poco tiempo después de la muerte de Augustin-Jean **Fresnel** (1788-1827; Francia), la opinión científica favorece totalmente la teoría ondulatoria de la luz, con lo que se abre el camino que llevaría a **Maxwell** a una visión más profunda del fenómeno electromagnético ([34], vol. V, p. 171).

1830

Joseph **Henry** (1797-1878; Estados Unidos), al construir un instrumento similar a la brújula utilizada en 1826, realiza nuevos experimentos sobre el magnetismo terrestre ([29]).

A diferencia de **Faraday**, quien diseña sus experimentos para detectar pequeños efectos, **Henry** diseña sus procedimientos para que los pequeños efectos sean tangibles a gran escala ([34], vol. VI, p. 278).

Por otro lado, apreciando la naturaleza del electromagnetismo y dándose cuenta de los efectos causados por las pérdidas en las líneas, **Henry** realiza una demostración ante la *Academy of Albany* de un telégrafo electromagnético, el cual opera a lo largo de 300 m de alambre ([25], p. 91).

Además, continuando con los experimentos sobre electroimanes, **Henry** forma una herradura con una barra de hierro dulce de 50 cm de largo y 13 cm², pule perfectamente una de las caras de una placa del mismo acero, la cual pesa 3.175 kg, para que actúe como armadura y coloca los extremos planos de la herradura sobre la placa. Alrededor de la herradura enrolla 165 m de alambre de cobre, formando nueve bobinas de 18.3 m de alambre cada una, con la salvedad

(continúa 1830)

de que las bobinas no están conectadas entre sí. Deja libres los extremos de cada bobina y los numera. Con diferentes combinaciones en las conexiones de las bobinas logra obtener potencias de levantamiento que varían entre 27 y 295 kg. La batería que utiliza está formada con placas de cinc de 371.6 cm^2 ([18], pp. 63-64).

Salvatore Dal Negro (Italia), de la Universidad de Padua, Italia, obtiene movimiento giratorio a partir de una fuente de corriente eléctrica directa, proporcionada por una pila voltaica. En su primer experimento, monta un imán permanente sobre un pivote; cerca de él, conecta un electroimán a una pila voltaica adyacente. Cuando cierra el circuito de la bobina el imán permanente comienza a moverse hacia ella, en este momento abre el circuito y el imán permanente tiende a detenerse. En la posición de reposo, se repite el ciclo. De este modo, el imán permanente realiza movimientos oscilatorios. En un segundo experimento, Dal Negro añade un trinquete a uno de los extremos del imán, que engrana en una rueda dentada en un eje que tiene un volante. Cuando el extremo del imán sube, el trinquete hace que el volante empiece a girar; así, las oscilaciones del imán permanente son convertidas en movimiento giratorio ([18], p. 178; [25], pp. 91-92; [51], p. 43).

Robert Wrec Fox (1789-1877; Inglaterra) es el primero en descubrir las corrientes y voltajes eléctricos asociados con ciertos depósitos minerales en Cornwall, Inglaterra. Sin embargo, los electrodos que emplea están polarizados y no son prácticos ([54], p. 17).

Gerard Moll (1785-1838; Países Bajos) y A. van Beck publican *Electromagnetische Proeven*, trabajo en el cual describen que con una batería de cinc, cuyas placas miden aproximadamente 30 cm^2 , lograron levantar una carga de 75 kg. Describen además sus observaciones de los efectos electromagnéticos de los circuitos (véase 1828-30) ([18], p. 64; [34], vol. IX, p. 459).

Gerard Moll (1785-1838; Países Bajos) publica "Electromagnetic experiments" ("Experimentos electromagnéticos")¹⁰⁵⁾ (véase arriba) ([51], p. 43).

Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845; Francia), en su primer artículo científico, muestra que se pueden obtener los efectos químicos de una pila seca si la superficie del área de las placas es suficientemente grande. Este trabajo demuestra que Peltier conoce la diferencia conceptual entre corriente y voltaje ([34], vol. X, p. 500).

William Ritchie (1790-1837), trabajando en la *Royal Institution*, desarrolla un sistema telegráfico con base en las ideas de Ampère y de Fechner. El 12 de febrero realiza una demostración de un modelo de su sistema, el cual consiste en 26 alambres y 26 agujas magnéticas ([25], p. 91).

Para este año existe en Europa y Asia un raquítico sistema de observatorios magnéticos, instalado entre Alemania y Pekín ([34], vol. XII, p. 50).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) publica *Experimental Researches in Electromagnetism* (Investigaciones experimentales en electromagnetismo) ([34], vol. XIII, p. 126).

¹⁰⁵⁾ *Edinburgh Journal of Science*, 3, pp. 209-218 y *American Journal of Science*, 19, pp. 329-337.

(continúa 1830)

Thomas Thomson (1773-1852; Escocia) publica *An Outline of the Sciences of Heat and Electricity* (*Perfil de las ciencias del calor y la electricidad*) ([40], p. 1670).

ca. 1831

Macedonio Melloni (1798-1854; Italia) es una de las primeras personas en lograr que el termopar se convierta en un sistema práctico. Lo usa para sus investigaciones sobre el calor radiante. Puede detectar diferencias de temperatura del orden de 0.00005 °C ([6], p. 222; [16], p. 336).

James Bowman Lindsay (1799-1862; Escocia) realiza una transmisión telegráfica mediante circuitos terrestres y acuáticos ([16], p. 60; [40], p. 1048).

1831

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) y Philip Ten Eyck (1802-1829; Estados Unidos) desarrollan un electroimán para el *Yale College*, el cual pesa 27 kg y puede sostener un peso de 936.23 kg ([18], p. 64).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) construye otro electroimán de 45.36 kg que puede levantar pesos de 1,500 kg (véase arriba) ([18], p. 64). Durante los experimentos para la construcción de estos electroimanes, observa, por primera vez, el principio de la autoinductancia, es decir, que se puede generar electricidad a partir de campos magnéticos variables, anticipándose a Faraday en su descubrimiento de la inducción magnética, en este mismo año ([3], vol. 5, p. 854). Henry es el primero en darse cuenta de que el electromagnetismo puede ser usado para proveer de potencia mecánica. En su artículo "On a reciprocating motion produced by magnetic attraction and repulsion" ("Sobre un movimiento recíprocante producido por la atracción y la repulsión magnéticas")¹⁰⁶, Henry escribe «Recientemente logré producir movimiento en una pequeña máquina mediante un poder que, creo, nunca se ha aplicado a la mecánica -mediante la atracción y la repulsión magnéticas. Sin embargo, el invento no tiene gran importancia, ya que, en su estado presente, sólo puede considerarse como un juguete filosófico; no obstante, en el progreso del descubrimiento y la invención, no es imposible que el mismo principio, o una modificación de él a mayor escala, pueda en el futuro aplicarse con algún propósito útil.» La máquina consiste en un electroimán recto montado horizontalmente y sostenido sobre un filo en su centro. Se colocan barras de imán permanente bajo cada extremo del electroimán con los polos norte orientados en la misma dirección. Se conecta la bobina del electroimán entre dos pares de alambres rígidos, un par en cada extremo; los alambres se sumergen en copas con mercurio cuando el extremo correspondiente está en su posición inferior. Una batería es conectada a cada par de copas. Cuando un extremo de la barra es presionado, el electroimán se energiza de tal forma que las reacciones magnéticas entre los polos del electroimán y los de los dos imanes permanentes provocan una atracción en un extremo de la barra y una repulsión en el otro, y así la barra se mece en la otra dirección. Este movimiento cambia las conexiones de la bobina de una batería a la otra y la dirección de la corriente en la bobina se invierte; entonces, las fuerzas que actúan sobre la barra se revierten y ésta regresa a su posición original. De esta forma se establece un movimiento recíprocante. El electroimán horizontal mide 18 cm de largo y está enrollado con tres cables de alambres de cobre de 7.6 m de largo. Como Henry no publica sus resultados inmediatamente, el crédito del descubrimiento se le otorga a Faraday ([3], vol. 5, p. 854; [51], pp. 43-44).

Henry logra que suene una campana al ser golpeada por una pieza de hierro cuando ésta es atraída por un electroimán cercano, cada vez que se hace pasar

¹⁰⁶ American Journal of Science, 20, pp. 340-343

(continúa 1831)

corriente por la bobina del electroimán, el cual está conectado, mediante largos alambres y a través de un interruptor, a una batería eléctrica distante 1.6 km (110, p. 9).

Describe su método de creación de imanes de cantidad e imanes de intensidad. Utiliza alambres aislados en lugar de núcleos aislados, además de un mayor número de vueltas de alambre (véase 1828)⁽¹⁰⁷⁾. El primer tipo de imanes, los de cantidad, tienen una bobina pequeña de baja resistencia, mientras que los imanes de intensidad tienen una bobina grande y de alta resistencia. Encuentra que un imán de cantidad da mejores resultados si se conecta a una batería de cantidad, es decir, una batería con una única celda y que un imán de intensidad funciona mejor con una batería de intensidad, es decir, una batería con muchas celdas conectadas en serie. No se da cuenta de que la situación de la bobina está controlada, casi totalmente, por la caída de potencial en la propia batería (118, p. 64).

Esto le posibilita la construcción de un telégrafo de una distancia de 1.6 km, realizando una demostración de su operación ante los alumnos de su clase (13, vol. 5, p. 854; 125, pp. 92-93). Establece que usando relés, puede extender su telégrafo a cualquier distancia (125, p. 93).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) empieza a trabajar con Wheatstone en la teoría del sonido y otros fenómenos vibracionales. En particular queda muy impresionado con los patrones (conocidos como figuras de Chladni) formados con pólvora muy fina esparcida en platos de hierro y puestos a vibrar por un arco de violín. Queda aún más impresionado por el hecho de que tales patrones se pueden inducir en un plato al hacer vibrar otro plato cercano. Con este efecto se pone de manifiesto la característica de que una acción dinámica crea un efecto estático. Faraday está convencido de que este efecto también sucede en un alambre por el cual circula una corriente.

El 29 de agosto, Faraday enrolla dos bobinas en los lados opuestos de un anillo de hierro dulce de unos 2 cm de grueso y 15 cm de diámetro. Aísla cada vuelta con una pieza de calicó o percal bajo cada capa de alambre y una pieza de cuerda entre vueltas adyacentes. Cada bobina está formada por diferentes partes, de tal forma que el número de vueltas se puede ajustar a voluntad. Conecta los extremos del alambre de una de las bobinas con alambre de cobre justo arriba de una aguja magnética situada a 60 cm del anillo. Espera que cuando conecte los extremos del alambre de la otra bobina a una batería, se produzca una onda que provoque una desviación del galvanómetro. En efecto, cuando cierra el primer circuito se produce un movimiento inmediato de la aguja, la cual queda oscilando por un tiempo y vuelve a su posición original, detectando una corriente en el segundo circuito. Faraday encuentra que cuando cambia el número de vueltas de alambre de la bobina, la desviación de la aguja varía. Descubre también que no es necesario el anillo de acero y que puede producir los mismos efectos utilizando dos bobinas enrolladas en un tubo de cartón. Se pregunta entonces, el por qué falló su experimento de 1825, si ambos son muy parecidos. En ese año había esperado que la sola presencia de una corriente eléctrica en un alambre produjera un efecto en el otro alambre. En este año, posiblemente influenciado por el descubrimiento de Arago de 1825, esperaba encontrar un movimiento, o el cambio de algo, y dado que lo estaba buscando, lo encontró. Faraday registra el descubrimiento de la inducción electromagnética en su diario bajo el título de "Experimentos sobre la producción de electricidad a partir del magnetismo, etc", pero todavía no ha logrado generar esa electricidad. En el experimento del anillo, Faraday queda atónito cuando, al abrir el circuito de la batería, la aguja sufre una desviación en sentido opuesto y de igual intensidad -principio del

⁽¹⁰⁷⁾ Silliman's Journal.

(continúa 1831)

transformador electromagnético¹⁰⁸⁾. Este último fenómeno lo lleva a proponer lo que él llama *estado electrotónico* de las partículas del alambre, al cual considera un estado de tensión. Así, una corriente parece ser la causa de que se establezca o cese tal estado. A pesar de que no puede encontrar evidencia experimental de su hipótesis, nunca abandonaría por completo tal concepción. Después de esto intenta determinar cómo se genera una corriente inducida. El primer circuito de su experimento es equivalente a un poderoso electroimán, por lo que durante las siguientes semanas experimenta con diferentes tipos de bobinas, imanes permanentes y piezas de hierro.

El 24 de septiembre logra su cometido con dos imanes de barra y una pieza de hierro dulce colocados en triángulo. La pieza de hierro está enrollada con alambre conectado a un galvanómetro. Cuando retira esta pieza del arreglo, observa la desviación de la aguja y cuando la vuelve a colocar, observa una nueva desviación leve en la dirección opuesta. Faraday concluye que esta es la demostración de la conversión de magnetismo en electricidad.

El 17 de octubre, Faraday produce una corriente eléctrica al deslizar un imán cilíndrico dentro de una bobina de alambre enrollado alrededor de un cilindro de papel de unos 20 mm de diámetro y unos 20 cm de longitud. La bobina tiene ocho alambres de unos 10 m de largo y están conectados en paralelo a un galvanómetro. Dándose cuenta de que sus imanes tienen poca fuerza, Faraday se las arregla para usar un poderoso imán en forma de herradura que pertenece a la *Royal Society of London*. Sabe que los imanes están circundados por fuerzas que pueden hacerse visibles esparciendo limadura de hierro en una superficie plana colocada sobre el imán. Faraday identifica estas líneas de fuerza como las líneas de tensión del medio, es decir, del aire alrededor del imán. Pronto descubre la ley que gobierna la producción de corrientes eléctricas originadas por un imán: la magnitud de la corriente depende del número de líneas de fuerza intersectadas por el conductor por unidad de tiempo. Inmediatamente se da cuenta de que se puede generar una corriente continua al hacer girar un disco de cobre colocado entre los polos de un imán.

El 28 de octubre hace girar un disco de cobre entre los polos del imán de la *Royal Society*. Conecta un galvanómetro entre dos escobillas metálicas que presionan diferentes partes del disco y encuentra que la aguja del galvanómetro se desvía conforme el disco da vueltas.

Para el 4 de noviembre ya ha encontrado que la parte exterior del disco intersecta más líneas de fuerza que la parte interior (lo que genera una corriente en el circuito de las escobetas). De esta forma, una de las escobetas la tiene que colocar en el centro del disco y la otra en el borde.

Este dispositivo es el primer dinamo eléctrico y su funcionamiento demuestra el inverso del *efecto Oersted*¹⁰⁹⁾. También es el antecesor del motor eléctrico, ya que sólo es necesario invertir la situación para generar movimiento circular, es decir, al alimentar una corriente en el circuito, el disco empieza a girar. En resumen, descubre que una corriente variable en un conductor, puede inducir un cambio similar en otro conductor, si los campos magnéticos de ambos se traslapan. Y, a su vez, los campos magnéticos variables aplicados a un alambre generan un voltaje en el conductor, o una corriente si el circuito está cerrado.

Basándose en esta teoría de la inducción, Faraday es el primero en explicar el fenómeno de la rotación de Arago (véase 1824).

El 24 de noviembre, Faraday informa a la *Royal Society* sobre sus descubrimientos y sobre la teoría asociada a estos fenómenos ([3], vol. 19, p. 85; [16], p. 301; [25], p. 93; [34], vol. I, p. 203 y vol. IV, p. 534; [52], pp. 44-45).

108) El término se utilizaría por primera vez en el sentido eléctrico en 1883, tanto para transformadores estáticos como para máquinas rotatorias (motores eléctricos).

109) Pixii utilizaría este principio para desarrollar sus máquinas eléctricas en 1832.

(continúa 1831)

André-Marie Ampère (1775-1836; Francia) se da cuenta de lo cerca que estuvo, en 1822, de descubrir la inducción electromagnética ([36], p. 78).

Joseph Liouville (1809-1882; Francia) publica "Note sur l'électro-dynamique" ("Nota sobre la electrodinámica")¹¹⁰¹ ([34], vol. VIII, p. 386).

Gustav Theodor Fechner (1801-1887; Alemania) publica *Massbestimmungen über die galvanische Kette* (Determinación de la masa de la pila galvánica), artículo de gran importancia sobre las mediciones cuantitativas de la batería galvánica. En el mismo trabajo informa que sometió a rigurosas pruebas experimentales las proposiciones de Ohm (véase 1827), y concluye que los resultados son enteramente positivos ([3], vol. 4, p. 710; [34], vol. IV, p. 536 y vol. X, p. 192).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) realiza varios experimentos con electroimanes ([40], p. 413).

Samuel Hunter Christie (1784-1865; Inglaterra) observa una influencia directa de las auroras sobre la inclinación y la intensidad horizontal del campo magnético terrestre ([34], vol. II, p. 260).

En una expedición al Ártico, James Clark Ross (1800-1862; Inglaterra) localiza el 1º de junio el Polo Norte Magnético, verificando la idea de Gilbert de 1600, de que en el polo, una aguja magnética se para de punta, verticalmente. Las coordenadas del polo son 70°5'17" de latitud norte y 96°45'48" de longitud oeste, mostrando que el polo magnético y el polo norte geográfico están muy distanciados ([25], p. 94; [34], vol. XI, p. 554).

1832

La situación en el área de los generadores mecánicos de electricidad puede resumirse de la siguiente manera. Se sabe que el paso de una corriente eléctrica a través de un conductor establece un campo magnético alrededor de él, y que si se enrolla una pieza de hierro dulce alrededor del conductor el acero se magnetiza temporalmente durante el flujo de la corriente; análogamente, si se golpea con un martillo una pieza de acero éste queda magnetizado más o menos permanentemente. Se ha establecido ya el concepto de líneas de fuerza y se sabe que la rotación de una bobina de alambre en el campo de un imán permanente provoca una corriente en el alambre. Faraday ha demostrado la acción de un transformador (véase 1831); sin embargo ésta no se entiende todavía en su totalidad ([17], vol. V, p. 179).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) propone la representación gráfica de las líneas de fuerza electromagnética ([17]). En enero publica el primero de una serie de artículos, titulado "Experimental Researches in Electricity. On the Induction of Electric Currents" ("Investigaciones experimentales en electricidad. Sobre la inducción de corrientes eléctricas"). En febrero describe dos partes de sus experimentos a la Royal Institution: la inducción de la electricidad voltaica e inducción magnetoeléctrica. En marzo registra en su diario la relación entre corriente eléctrica, campo magnético y dirección de movimiento ([25], p. 94).

Para este año existen muchas dudas sobre la equivalencia o igualdad de las diferentes manifestaciones de la electricidad. A la electricidad de las máquinas de fricción se le conoce como *electricidad común*; a la de las celdas químicas, como

¹¹⁰¹ *Bulletin des sciences mathématiques, astronomiques, physiques et chimiques*, 15 (enero)

(continúa 1832)

electricidad galvánica o *galvanismo*, a la de los termopares, *termoelectricidad*, y a la de los peces eléctricos, *electricidad animal*. Faraday lleva a cabo una serie de experimentos para demostrar su hipótesis sobre la identidad de todas las *electricidades*. Esta creencia lo hace desafiar a John Davy (hermano de Humphry Davy), quien insiste en que los efectos eléctricos no son producidos por un solo agente, sino que son el resultado complejo de ciertas combinaciones de los poderes naturales. En el curso de esta investigación, Faraday desarrollaría las leyes de la electrólisis y, más importante, cuestionaría el concepto de acción a distancia.

Buscando en la literatura, Faraday encuentra algunos informes sobre los efectos similares de las distintas formas de electricidad. Le resulta fácil demostrar que la electricidad de su generador de disco de (véase 1831) y la termoelectricidad son esencialmente las mismas: ambas producen calor en un alambre fino, desvían una aguja de brújula y producen efectos químicos como la descomposición del agua. Es más difícil mostrar que la electricidad común y la descarga de un pez eléctrico son similares a un voltaje bajo del generador y la termopila. Faraday cree que la diferencia es un asunto de *tensión*, o voltaje. Según los informes mencionados, las descargas electrostáticas producen efectos tanto magnéticos como electroquímicos, pero cuando repite estos experimentos en su laboratorio, encuentra que no son del todo precisos. Por ejemplo, la descarga electrostática puede magnetizar una aguja; sin embargo, resulta imposible producir un imán en un campo electrostático. Además, Wollaston había escrito en 1801 sobre la descomposición electroquímica producida por una chispa dentro del agua; Faraday argumenta que este fenómeno se puede explicar mediante el choque mecánico, el calor generado por la descarga o por ambos argumentos. Para disipar toda duda, realiza una investigación de estos dos efectos.

En uno de los experimentos, conecta una máquina de electricidad friccional a un galvanómetro mediante un hilo húmedo (el cual, él cree, atenuará la tensión) y observa la desviación de la aguja. Muestra que esta máquina produce efectos electroquímicos al conectarla a dos alambres de plata sumergidos en una solución de sulfato de cobre. Después de operar la máquina por algún tiempo encuentra un depósito de cobre en uno de los alambres de plata. Faraday comprueba su hipótesis y podría terminar su investigación en este punto; pero ve la oportunidad de comparar cuantitativamente la electricidad estática y la voltaica. Un electrómetro le da una lectura relativa de la carga estática, mientras que la desviación del galvanómetro le permite correlacionar la carga con la descarga, en donde el galvanómetro actúa como uno balístico. Faraday concluye que «si la misma cantidad absoluta de electricidad pasa por el galvanómetro, no importando su intensidad, entonces la fuerza de desviación que actúa sobre la aguja magnética es la misma.» A partir de este resultado, diseña un dispositivo que le permite realizar mediciones cuantitativas de las corrientes producidas por las descargas estática y voltaica. De esta forma, Faraday demuestra la identidad de las electricidades estática y voltaica y, además, diseña un instrumento para medir las cantidades relativas de electricidad. Publica "Electro-magnetic Researches" ("Investigaciones electromagnéticas")⁽¹¹¹⁾ ([3], vol. 19, p. 85; [25], p. 96; [34], vol. IV, pp. 535-536; [51], p. 20 y 24).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) descubre, como resultado de una de sus investigaciones, las leyes que gobiernan un transformador (véase Faraday, 1831). También encuentra que las corrientes eléctricas pueden ser inducidas a distancia. En una ocasión, magnetiza una aguja colocada a 13 km de distancia, utilizando una luz intermitente -dicho experimento es probablemente el primero en hacer uso de las ondas de radio. A partir de la disertación sobre la inducción

¹¹¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, pp. 125-162.

(continúa 1832)

magnética de **Faraday** ante la *Royal Institution* (véase arriba), **Henry** se deprime, ya que él realizó el mismo descubrimiento el año anterior y no informó de él inmediatamente.

Por otro lado, empleando un termogalvanómetro (detector de calor), demuestra que las manchas solares radian menos calor que el resto de la superficie del Sol ([3], vol. 5, p. 854).

Salvatore Dal Negro (Italia), basado en los descubrimientos de **Faraday** (véase 1831), construye un dispositivo que produce movimiento oscilatorio (mas no de rotación, en sí). Coloca cuatro bobinas sobre una mesa y cuatro imanes chicos en un carro móvil, el cual avanza y regresa mecánicamente sobre las bobinas. El generador produce una fracción de Watt ([18], p. 99).

Antoine Hippolyte Pixii (1808-1835; Francia), en París, Francia, construye el primer dinamo magnetoeléctrico exhibido en público. El dispositivo consta de un imán en forma de herradura que gira (manualmente) bajo dos bobinas de alambre. Este generador produce corriente alterna o una rápida sucesión de chispas. **Pixii** da a conocer su máquina en la sesión del 3 de septiembre de la *Académie française des sciences*. El generador tiene una curiosa característica curiosa. Apparently **Pixii** desea obtener más de lo que el cambio del flujo magnético puede darle a través de las bobinas y deliberadamente añade un interruptor para incrementar el voltaje de salida y producir más chispas. El interruptor consiste en un alambre cuyo extremo roza la superficie de mercurio contenido en un recipiente, de tal forma que la vibración de la máquina, producida por la rotación del imán, causa que el extremo del alambre haga un contacto intermitente con el mercurio. Se considera que la corriente alterna no sirve para nada, por lo que, siguiendo la sugerencia de **Ampère**, le añade un conmutador para convertir la corriente alterna en directa ([16], p. 79; [18], pp. 100-101; [25], pp. 93-94; [51], p. 42). El dispositivo es manual y poco más que un modelo de trabajo. No obstante, es el primer generador práctico construido bajo el principio de **Faraday** ([17], vol. V, p. 179).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) construye el primer motor electromagnético que realiza trabajo útil: hace girar un asador ([51], p. 44).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia) estudia los aspectos teóricos y prácticos del método balístico para medir cantidades eléctricas y magnéticas, con base en sus concepciones del efecto instantáneo y de choque de la corriente de inducción ([34], vol. VIII, p. 188). En su artículo "Über die Gesetze nach welchem der Magnet auf eine Spirale einwirkt wenn er ihr plötzlich genähert oder von ihr entfernt wird una über die vortheilhafteste Construction der Spiralen zu magnetoelectrischem Behufe"^[12], leído el 7 de noviembre, utiliza ampliamente la teoría de **Ohm** ([34], vol. X, p. 192).

Charles Thomas Jackson (1805-1888; Estados Unidos) realiza en Europa algunos experimentos sobre electroimanes y sobre la velocidad de la electricidad en los conductores ([16], p. 79). Regresa a Estados Unidos en el mismo barco que **Morse** ([40], p. 864).

[12] Mémoires de l'Académie impériale des sciences de St.-Petersbourg, 6^e ser. Sciences mathématiques, physiques et naturelles, 2 (1833), p. 427-457.

(continúa 1832)

Pavel L. Schilling (1786-1837; Rusia) construye un sistema telegráfico consistente en el multiplicador de Schweigger de 1820 y una aguja magnética, siguiendo las ideas propuestas por Ampère y por algunos otros investigadores, pero con la innovación de emplear una sola aguja y un código constituido por varias combinaciones de movimientos. La aguja está suspendida en posición horizontal por un hilo de seda y bajo ella se coloca un disco de papel. Una de las caras del disco se divide en dos partes, una se pinta de negro y la otra de blanco. El código tiene la siguiente forma: negro seguido de blanco, equivale a la letra A; negro, negro, negro equivale a B, negro, blanco, blanco es C, etc. Para reducir el tiempo requerido para completar los giros de la aguja y para prevenir oscilaciones innecesarias, Schilling propone el principio de amortiguamiento. Sumerge el extremo inferior de la aguja en un baño de mercurio. La señal de llamada es un disparador que libera la campana de un reloj despertador ([18], p. 75).

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania), alemán residente en San Petersburgo, Rusia, obtiene una subvención del Zar para realizar investigaciones sobre la potencia eléctrica. Se convierte así en el primero en recibir una subvención gubernamental para investigación en ingeniería eléctrica ([51], p. 48). Como resultado de sus estudios, Jacobi construye de un telégrafo eléctrico ([25], p. 73).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) escriben *Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata*, en la cual aparece el primer uso sistemático de unidades absolutas (distancia, masa, tiempo) para medir una cantidad no mecánica; en este caso, el magnetismo. Como generalmente lo hace, Gauss no incluye a Weber como autor, pero sí agradece su colaboración. Descubren que un magnetómetro se puede utilizar como galvanómetro, lo cual les sugiere la idea de usarlo para inducir una corriente que pueda llevar un mensaje ([16], p. 79; [34], vol. V, p. 305).

La *British Association for the Advancement of Science* propone que se realice una serie de observaciones de la intensidad del campo magnético terrestre, en diferentes partes del Reino Unido. Por lo que, para este fin, se forma un comité ([34], vol. VIII, p. 426).

Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) es miembro del comité formado por la *British Association for the Advancement of Science* para estudiar la intensidad del campo magnético terrestre. Durante el curso del proyecto, Lloyd realiza mediciones en 24 áreas en Irlanda. Inventa una nueva técnica para medir simultáneamente la inclinación magnética y la intensidad del campo ([34], vol. VIII, p. 426).

Joseph Saxton (1799-1873; Estados Unidos) publica "Notice on Electro-Magnetic Experiments" ("Noticia sobre experimentos electromagnéticos")¹¹³ ([34], vol. XII, p. 132).

Nicholas Callan (1799-1864; Irlanda) publica *Electricity and Galvanism* (*Electricidad y galvanismo*) ([34], vol. III, p. 18).

¹¹³ *Journal of the Franklin Institute*, 14.

1832-37

Después de una estadia de tres años en Europa, Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos), pintor y escultor de profesión, regresa a Estados Unidos. En el mismo barco viene el Dr. Jackson (véase arriba). En el curso de varias conversaciones sostenidas con él, Morse concibe la idea de un telégrafo eléctrico, basado en la idea de transmisión de señales mediante una corriente intermitente, empleando un código. Gradualmente abandona el arte para dedicarse al telégrafo; por fortuna es nombrado primer Profesor de las Artes del Diseño en la Universidad de Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, lo cual le da un ingreso económico regular. El 19 de octubre asiste a una conferencia dada por Jackson, en Boston, Massachusetts, sobre diversos temas de la electricidad. Estas demostraciones lo motivan a usar un lápiz en el badajo del imán para copiar las señales recibidas. Morse busca la ayuda de otras dos personas. El profesor Gale, químico, lo asiste con la batería y el equipo instrumental. Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos), un hombre con mente mecánica, lo ayuda con la manufactura del equipo y también diseña el código de señales cortas y largas, conocido desde entonces como *código Morse*. El receptor original de sus sistema trabaja haciendo indentaciones en una tira de papel; después construye una máquina que produce un trazo de tinta. Algunos de sus operadores descubrirían que, con experiencia, podían leer las señales Morse, con sólo escuchar los sonidos del instrumento, sin mirar la cinta; sin embargo, Morse se opondría a tal práctica ([16], p. 79; [25], p. 94; [51], p. 34).

1833

Joseph Saxton (1799-1873; Estados Unidos) construye un generador electromagnético. Emplea un electroimán horizontal de 12 placas en forma de herradura. La armadura, que gira sobre un eje horizontal, está opuesta a los extremos del imán, y consiste en una cruz de cuatro brazos de hierro dulce, que sirven de núcleo a cuatro bobinas. Devana un par de bobinas opuestas con alambre doble (de 4 mm de diámetro y 36 m de largo) para dar choques, y el otro para de bobinas opuestas con 22 alambres (cada uno de 22 m de largo y 0.8 mm de diámetro) para generar chispas. El eje que sostiene a la armadura corre a lo largo del centro del imán de herradura y es movido mediante un cinturón desde una polea vertical y una manivela ([18], p. 100).

A diferencia del generador de Pixii (véase 1832), en el dispositivo de Saxton son las bobinas las que se mueven alrededor de un imán fijo ([17], vol. I, p. 179).

Su dispositivo, presentado en la sesión de junio de la *British Association for the Advancement of Science*, permite demostrar la relación entre el voltaje desarrollado y el número de vueltas del alambre y contribuye al desarrollo del concepto de vueltas de Ampère ([16], p. 79; [25], p. 95).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) sugiere utilizar el electromagnetismo para producir movimiento (véase 1837) ([51], p. 45).

En Francia se realiza una demostración de un generador eléctrico de mano ([3], vol. 18, pp. 202-204).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) diseña un electrodinamómetro, en el cual utiliza el método de espejos y escalas para medir la desviación de la aguja de su instrumento ([25], p. 95).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania), estimulados por los trabajos de Faraday de 1831, realizan una investigación profunda de los fenómenos eléctricos, llegan a las ecuaciones que después se conocerían como leyes de Kirchhoff y anticipan varios descubrimientos en electricidad estática, térmica y friccional, pero no publican

(continúa 1833)

sus resultados, seguramente porque su interés está centrado en el magnetismo terrestre, cuyas concepciones se basan en las teorías de **Ohm** (véase abajo) ([34], vol. I, p. 305 y vol. X, p. 192).

Michael **Faraday** (1791-1867; Inglaterra) se pregunta, dado que ambas electricidades, la estática y la voltaica, producen la descomposición del agua y dado que con un instrumento puede medir las cantidades eléctricas (véase 1832), si se puede correlacionar la cantidad de electricidad con la cantidad de los productos resultantes de la descomposición electroquímica. Al responder esta cuestión, postula las leyes de la electrólisis:

- 1) La cantidad de sustancias depositadas en cada electrodo de una celda electrolítica es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por la celda.
- 2) La cantidad de elementos diferentes depositados, o disueltos por una cantidad dada de electricidad está en razón de sus pesos químicos equivalentes.

Así, **Faraday** demuestra, además, que la electricidad no sólo está involucrada en la afinidad química, como lo había mostrado la invención de la celda voltaica, sino que es la fuerza que causa esta afinidad.

Al variar las condiciones bajo las cuales la descarga electrostática produce la descomposición electroquímica, **Faraday** encuentra que no se necesita de ningún polo. Desde la invención de la celda voltaica, los electroquímicos han supuesto que las terminales positiva y negativa de los circuitos juegan el papel de centros de fuerza, la cual, al actuar a distancia sobre las moléculas de la solución, literalmente las rompe. De aquí el término «polo». En uno de estos experimentos, **Faraday** hace pasar una descarga electrostática a través de un papel secante empapado en yoduro de potasio, hacia el aire y encuentra que el yoduro se descompone. Este resultado le sugiere que no se necesitan los polos para la descomposición y que ésta no se efectúa por acción a distancia. En una serie de experimentos posteriores, **Faraday** muestra que las moléculas de una solución no son destruidas. Por ejemplo, las dos componentes de una sal binaria parecen migrar en direcciones opuestas a través de la solución, sin llegar a convertirse en agentes químicos libres, hasta que alcanzan las terminales sobre las cuales se depositan. Explica que este comportamiento se debe a que la corriente eléctrica *exalta* las afinidades de las componentes de la sal, permitiendo que cada una pase a su vecino más próximo, en direcciones contrarias. Esta exaltación empieza con las moléculas más cercanas a las terminales y va pasando de molécula en molécula, hasta la terminal opuesta. Por lo tanto, el concepto de acción a distancia no es necesario y sólo existen fuerzas intermoleculares creadas por la tensión, impuesta a su vez, por la fuerza eléctrica.

Dado que no existe una terminología científica común, **Faraday** consulta a William **Whewell**, del *Trinity College*, en Cambridge, Inglaterra, quien le propone los sustantivos siguientes: «cátodo» y «ánodo» (derivados del griego para hacia arriba y hacia abajo); «electrólito» para el líquido que se descompone; «electrólisis» al proceso de descomposición; «ión» (que significa viajero); «catión» y «anión»; además, en lugar de utilizar el sustantivo polo, **Faraday** usa el término «electrodo», el cual carece de toda implicación. Todos estos términos son meramente descriptivos. **Faraday** adopta estos términos en la publicación de sus descubrimientos electroquímicos en enero de 1834 ([3], vol. 4, p. 681 y vol. 19, p. 85; [16], pp. 79 y 304; [25], p. 95; [34], vol. IV, pp. 536-537; [51], p. 20).

Samuel Hunter **Christie** (1784-1865; Inglaterra) publica "Experimental Determination of the Laws of Magneto-electric Induction [...]" ("Determinación

(continúa 1831)

experimental de las leyes de la inducción magnetoeléctrica [...]»¹¹⁴, informe escrito de su conferencia bakeriana de este año. Establece que «la potencia conducida varía directamente con el cuadrado de los diámetros [de los alambres] e inversamente con sus longitudes.»

Concluye, además, que la voltaelectricidad, la termoelectricidad y la magnetoelectricidad obedecen la misma ley. Esta proposición serviría para establecer que todas estas electricidades son idénticas.

En el mismo artículo, **Christie** describe un dispositivo diferencial que es básicamente el puente de **Wheatstone** de 1843 ([1]; [25], p. 95; [34], vol. II, p. 260).

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra) publica la segunda parte de "Recherches sur la cause de l'électricité voltaïque" ("Investigaciones sobre la causa de la electricidad voltaica")¹¹⁵ (véase 1828 y 1836). También publica "Esquisse histoire des principales découvertes faites dans l'électricité depuis quelques années" ("Esbozo histórico de los principales descubrimientos realizados en electricidad desde hace varios años")¹¹⁶ ([34], vol. VIII, p. 37).

Gerard Moll (1785-1838, Países Bajos) publica "Ueber die Bildung Künstlicher Magnete mittelst der Voltaschen Kette" ("Sobre la formación de imanes artificiales mediante la cadena voltaica")¹¹⁷ ([34], vol. IX, p. 459).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) instala un observatorio, libre de todo metal que pueda afectar las mediciones, para el estudio del magnetismo terrestre. Dicho observatorio forma parte de una red, con la cual **Humboldt** espera se realicen mediciones coordinadas de las variaciones geográficas y climáticas. El observatorio estaría en operación durante cinco años ([25], p. 59; [34], vol. I, pp. 305-306). Anuncia, además, el primer método para obtener una medida absoluta de la intensidad magnética, lo cual le vale el reconocimiento entre los investigadores británicos del magnetismo ([34], vol. XII, p. 50).

Por su parte, **Wilhelm Eduard Weber** (1804-1891; Alemania), en la Universidad de Göttingen, Alemania, conecta el observatorio astronómico con el laboratorio de física mediante un par de alambres que dan vueltas por casas y torres, con el propósito de facilitar las observaciones magnéticas simultáneas ([34], vol. XIV, p. 204). En un principio se logra enviar algunas palabras a través de su incipiente telégrafo, pero poco después puede transmitir frases completas. Funciona a una distancia de 2.5 km, utilizando una línea de comunicación de dos alambres. Probablemente, esta es la primera vez que se utiliza el código binario en la telegrafía. Las señales recibidas se detectan por el movimiento de una aguja magnética y se utiliza el sistema de espejos de **Poggendorf** de 1826. Se opera con una batería ordinaria y estaría en operación durante cinco años¹¹⁸. **Weber** escribe: «Cuando la Tierra se cubra por una red de ferrocarriles y de alambres telegráficos, esta red prestará un servicio comparable a aquél del sistema nervioso del cuerpo humano.» Parece ser que este descubrimiento no es difundido ampliamente entre los investigadores y caería en el olvido para dar paso a otros métodos independientes más eficientes ([34], vol. V, p. 305).

¹¹⁴) *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 123.

¹¹⁵) *Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, 4, pt. 3, pp. 285-334. Este mismo artículo aparece antes y ligeramente diferente, en *Annales de chimie et de physique*, 2^a ser., 39, de este año; las dos siguientes partes se encuentran en *ibid.*, 6, pt. 1 (1833), pp. 149-208, e *ibid.* 7, pt. 2 (1836), pp. 457-517.

¹¹⁶) *Bibliothèque universelle des sciences, belles lettres et arts*, 52 y 53.

¹¹⁷) *Annalen der Physik und Chemie*, 2^a ser., 29.

¹¹⁸) Los alambres se reemplazarían sólo dos veces por unos de mejor calidad y se mejorarían las terminales; en 1834 se sustituiría la batería por corrientes inducidas; en 1845 un relámpago destruiría el alambre.

(continúa 1833)

A pesar de que el telégrafo de **Weber** no se difunde suficientemente, **Gauss** se da cuenta de su potencial militar y económico y trata, en vano, de que el gobierno o los industriales lo utilicen ([1]; [18], pp. 75-76; [25], p. 95; [34], vol. V, p. 305).

Samuel Hunter Christie (1784-1865; Inglaterra) prepara el "Report on the State of Our Knowledge Respecting the Magnetism of the Earth" ("Informe sobre el estado de nuestro conocimiento respecto al magnetismo de la Tierra"), para la *British Association for the Advancement of Science*, en el cual escribe sobre las observaciones realizadas por los oficiales navales durante sus viajes polares. También es reportero mayor (*senior reporter*) para la proposición de **Humboldt**, en el sentido de que la red de observatorios magnéticos se localice en dominios británicos ([1]; [25], p. 95; [34], vol. II, p. 260).

1834

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) inventa el electrómetro de discos atractivos ([18], p. 292).

Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845; Francia), motivado por los trabajos de **Nolili**, construye un galvanómetro muy sensible para medir las conductividades del antimonio y del bismuto, para corrientes muy débiles. Utiliza pequeñas muestras de estos materiales no conductivos y de comportamiento anómalo, por lo que puede construir un termoscopio termoelectrico y logra medir la distribución de temperatura a lo largo de una serie de termopares. Descubre que cuando una corriente fluye a través de la juntura de los metales, la temperatura de la unión, o bien se eleva o bien disminuye, dependiendo de la dirección de la corriente. El fenómeno, descrito en "Nouvelles expériences sur la calorité des courants électriques" ("Nuevos experimentos sobre el poder calorífico de las corrientes eléctricas")¹¹⁹⁾, se llegaría a conocer como el *efecto Peltier* ([16], p. 335; [25], p. 97).

Peltier descubre también que se alcanza un efecto enfriador en una de las junturas, mientras que en la otra, surge un efecto de calentamiento excesivo ([34], vol. X, p. 500).

Edward M. Clarke es el primero en construir generadores de electricidad a escala comercial. Su diseño difiere del de sus predecesores en que se hace girar a las bobinas en un plano paralelo a una de las caras del imán en forma de herradura -el imán es colocado verticalmente y las bobinas horizontalmente. Es en esta forma que dicho tipo de máquinas sería difundido en todos los laboratorios de física, donde se requieren voltajes más altos que los obtenidos con baterías químicas. Además, las máquinas de **Clarke** serían empleadas en medicina ([17], vol. V, p. 180; [56], p. 74).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) construye su primer motor eléctrico, el cual opera a 30 rpm y, para que su operación sea suave, utiliza un volante de 2.15 m ([25], p. 96; [40], p. 413).

Thomas Edmundson construye una versión mejorada del motor oscilatorio de **Henry** y produce movimiento de rotación ([25], p. 97).

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania) construye uno de los primeros motores eléctricos, el cual puede levantar unos 6 kg a razón de 30 cm/s.

¹¹⁹⁾ *Annales de chimie et de physique*, 56.

(continúa 1834)

Determina su rendimiento al medir la cantidad de zinc consumido por la batería ([25], p. 96; [34], vol. VII, p. 56). Publica *Mémoire sur l'application de l'électro-Magnétisme au Mouvement des Machines* (Memoria sobre la aplicación del electromagnetismo al movimiento de la máquinas), el cual se basa en las concepciones y teorías de Ohm ([34], vol. X, p. 192).

Joseph Saxton (1799-1873; Estados Unidos) publica "Description of a Revolving Keeper Magnet for Producing Electrical Currents" ("Descripción de una armadura recíproca de imán para producir corrientes eléctricas")¹²⁰⁾ (véase 1833) ([34], vol. XII, pp. 131-132).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) mide, en uno de sus primeros trabajos eléctricos, la velocidad de la descarga eléctrica a través de un alambre. Al fracasar en su intento de *mantener* una chispa producida por una descarga, utiliza la técnica del espejo giratorio para observar los intervalos entre las chispas generadas por una única descarga a través de tres entrehierros, colocadas una al lado de la otra y conectadas entre sí por un alambre de cobre de 400 m de largo. A partir del desplazamiento de la chispa de en medio, relativo a las otras dos chispas, estima que la electricidad viaja a más de 400,000 km/seg. El dispositivo eléctrico que utiliza lo construyó Joseph Saxton (1799-1873; Estados Unidos).

Wheatstone publica sus conclusiones en "An Account of Some Experiments to Measure the Velocity of Electricity and the Duration of Electric Light" ("Recuento de algunos experimentos para medir la velocidad de la electricidad y la duración de la luz eléctrica")¹²¹⁾ ([1]; [3], vol. 12, p. 618; [34], vol. XII, pp. 131-132 y vol. XIV, p. 290).

Se realiza en Boston, Massachusetts, Estados Unidos, una exhibición de luz eléctrica. Se presenta un arco de más de 13 cm de diámetro producido por la inmersión simultánea de 900 parejas de gran tamaño de pila de Hare («deflagador») ([18], p. 123).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia), independientemente de Jacobi (véase abajo) y con base en su método balístico de 1832, descubre que el voltaje inducido en una bobina es proporcional al número de vueltas de alambre, hecho que se convierte en la primera investigación cuantitativa de los fenómenos de inducción. Encuentra que la fuerza electromotriz no depende del diámetro de las vueltas, ni del grosor del alambre, ni del metal del cual está construida la bobina. También descubre que la dirección de la corriente inducida en una bobina, como resultado del movimiento en un campo magnético, siempre se opone al movimiento que la produce, resultado conocido como la *ley de Lenz*. En otras palabras, esta ley relaciona los fenómenos de inducción con los de la interacción ponderomotriz de las corrientes e imanes, descubiertos por Oersted y Ampère ([16], p. 80; [25], p. 96; [34], vol. VIII, pp. 187-188).

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania), descubre, independientemente de Lenz (véase arriba), que el voltaje inducido en una bobina es proporcional al número de vueltas ([34], vol. X, p. 192).

¹²⁰⁾ *Journal of the Franklin Institute*, 17.

¹²¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124.

(continúa 1834)

Antoine-Philibert Masson (1806-1860; Francia), de manera independiente a Henry y a W. Jenkins, observa el fenómeno de autoinductancia en un circuito voltaico (J34, vol. IX, p. 166).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) anuncia la formulación de las leyes de la electrólisis (véase 1833) (J52, p. 46).

Como resultado de las investigaciones de Faraday de los últimos años, se ha llegado a aceptar que la electricidad que fluye por una celda electrolítica es transportada por el movimiento de iones cargados producidos por la descomposición de los compuestos que forman al electrolito (véase Daniell, 1839) (J34, vol. VI, p. 439).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) recibe permiso de la B&O Railroad para instalar cuatro alambres a lo largo de las vías entre Washington, DC, y Baltimore, Estados Unidos. Las terminales deberán colocarse en la Cámara de la Suprema Corte del Capitolio y en el almacén Pratt Street en Baltimore (J25, p. 97).

Dominique François Jean Arago (1786-1853; Francia), aparentemente sin conocer los trabajos de Gauss, sugiere un trabajo global, por parte del gobierno británico, para realizar observaciones magnéticas (J34, vol. VII, p. 50).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) empieza su trabajo regular de observaciones en el observatorio magnético de Göttingen, inaugurado en 1833 (J25, p. 96).

Para este año existen 23 observatorios en todo el continente europeo. La comparación de los datos recabados revela la existencia de tormentas magnéticas (J34, vol. VI, p. 306).

James Clark Ross (1800-1862; Inglaterra), Henry Foster (1797-1831; Inglaterra) y William Edward Parry (1790-1855; Inglaterra) publican "On the Position of the North Magnetic Pole" ("Sobre la posición del Polo Norte Magnético")¹²²⁾, en el cual describen los resultados de la expedición de Ross de 1831 (J34, vol. XI, p. 555).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) publica el primer volumen de su obra *Traité expérimental de l'électricité et du magnétisme, et de leur rapports avec les phénomènes naturels* (Tratado experimental de electricidad y magnetismo, y de sus relaciones con los fenómenos naturales). La obra tendría 7 volúmenes, el último de los cuales se publicaría en 1870 (J34, vol. I, p. 557).

1834-37

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia) compara cuantitativamente la resistividad de los alambres de los circuitos. Empleando ocho diferentes materiales, establece que la relación entre la temperatura y la resistividad es de forma cuadrática. Deriva además la ley cuadrática entre la fuerza atractiva de los electroimanes y la corriente de magnetización (bajo las condiciones del experimento, el campo magnético es proporcional a la inducción magnética) (J34, vol. VIII, p. 188).

¹²²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124.

ca. 1835 Giovanni **Plana** (1781-1864; Italia) estudia la inducción electrostática (*[34]*, vol. XI, p. 6). Analiza también la distribución de la electricidad en una esfera metálica (*[6]*, p. 224).

1835 William **Sturgeon** (1783-1850; Inglaterra) construye el primer conmutador metálico, de dos partes (*[18]*, p. 103).

Se empiezan a realizar los primeros esfuerzos para impulsar vehículos sobre vías por medio de baterías eléctricas (*[1]*).

Thomas **Davenport** (1802-1851; Estados Unidos) construye un pequeño modelo de tren eléctrico circular (*[40]*, p. 413). Construye además un motor eléctrico que muestra a **Henry**, quien atestigua la importancia y la originalidad de su dispositivo. Sin embargo, a pesar de que **Davenport** obtiene una patente, su motor no tiene gran éxito comercial (*[3]*, vol. 18, p. 310).

En marzo, Edward M. **Clarke** publica un artículo en el que señala que al sostener con las manos los alambres terminales de una máquina magnetoeléctrica siente una ligera sensación de cosquilleo; pero que después de unir los cables y separarlos, recibe instantáneamente una intensa descarga eléctrica. Esta es la primera referencia del fenómeno de la autoinductancia⁽¹²³⁾ (*[25]*, p. 97; *[18]*, p. 102).

El instrumentista londinense Francis **Watkins** (Inglaterra) construye un modelo de un motor eléctrico basado, según él, en el generador de **Saxton**. Consiste en unas bobinas estacionarias (para crear el campo) conectadas a una batería mediante un interruptor giratorio, y un imán de barra (como armadura) montado sobre un eje. Cuando el eje hace contacto, se envía una corriente a través de las bobinas de tal forma que el imán se mantiene en rotación (*[25]*, p. 98). De esta forma, **Watkins** es, probablemente, el primero en darse cuenta de que los motores y los generadores funcionan bajo el mismo principio (véase **Pacinotti**, 1863) (*[51]*, p. 247). Cuando informa sobre sus diseños ante la *Royal Society of London*, utiliza su motor para hacer funcionar modelos de martillos y de bombas (*[51]*, p. 46).

Sibrandus **Stratingh** (1785-1841; Países Bajos) y el instrumentista Christopher **Becker** construyen un modelo de mesa de un coche eléctrico. Al parecer, el motor tiene un rotor horizontal recto, pivotado sobre un eje vertical en su centro y un estator semicircular; ambos están embobinados; hay un conmutador simple. El eje del rotor se acopia a una de las tres ruedas de una vagoneta que lleva tanto el motor como una celda voltaica. **Stratingh** y **Becker** publican "Electromagnetische bewegingskracht en aanwending daarvan tot een electromagnetischen wagen"⁽¹²⁴⁾ (*[51]*, p. 45).

Joseph **Henry** (1797-1878; Estados Unidos) describe⁽¹²⁵⁾ la forma de producir bobinas que no sean inductivas. Combina sus propias ideas con las de **Faraday**, sobre inducción y autoinducción, para mostrar cómo estas bobinas producen un patrón de repulsiones, mismo que incrementa los efectos de las espirales. En particular, **Henry** relaciona dichos resultados a los principios de inducción

⁽¹²³⁾ Que luego llegaría a ser de gran utilidad en los imanes utilizados con fines de ignición.

⁽¹²⁴⁾ *Algemeene Konst- en Letterhede*, pp. 402-422.

⁽¹²⁵⁾ *Journal of the Franklin Institute*, 15.

(continúa 1835)

estática, desarrollados por Cavendish y Poisson. Estas explicaciones son aplicadas a los resultados, publicados en 1827 por Savary, sobre los cambios de polaridad. Parece ser que Henry ve estos fenómenos variables análogos a los del magnetismo terrestre (f34, vol. VI, p. 278).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), independientemente de Henry, inventa las bobinas no inductivas (f25, p. 98).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), interesado en la naturaleza y localización de la carga eléctrica, encuentra que cada vez que se produce una carga positiva, también se produce una carga negativa. Muestra que cuando un cuerpo está cargado, toda su carga reside en la superficie externa. En una demostración pública Faraday se sienta dentro de un cubo hueco; se recubre la superficie externa del cubo con un material conductor y se aísla del piso. Un asistente electrifica el cubo, tanto que se producen largas chispas. Faraday muestra que ni con su equipo más sensible es capaz de detectar cualquier acción eléctrica dentro del cubo (f51, p. 21).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) utiliza, en Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos, un regreso por tierra en su sistema telegráfico⁽¹²⁶⁾ (f25, pp. 97 y 98).

Pavel L. Schilling (1786-1837; Rusia), como miembro del equipo de trabajo de la embajada rusa en Bonn, Alemania, realiza una demostración de un telégrafo de cinco agujas y seis alambres (véase 1832) (f25, p. 98).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) exhibe una primera versión de su sistema telegráfico, en Nueva York, Estados Unidos (f38, vol. 19, p. 483).

James Clark Ross (1800-1862; Inglaterra), Edward Sabine (1788-1883; Irlanda) y Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) publican "Observations on the Directions and Intensity of the Terrestrial Magnetic Force in Ireland" ("Observaciones sobre las direcciones e intensidad de la fuerza magnética terrestre en Irlanda")⁽¹²⁷⁾ (f34, vol. XI, p. 555).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) han establecido ya contacto con Airy, Lloyd y Sabine (f34, vol. XII, p. 50).

1836

John Frederic Daniell (1790-1845; Inglaterra) empezó a interesarse, el año pasado, en nuevas áreas para él, siendo la electroquímica una de éstas. En particular investiga las causas de la polarización en las pilas voltaicas (véanse 1805 y A.-C. Becquerel, 1829). Como resultado de estos análisis desarrolla una versión mejorada de las baterías, que llegaría a conocerse como *pila de Daniell*. Para su desarrollo, utiliza el principio de dos fluidos. La pila consiste en un recipiente que contiene ácido sulfúrico diluido, en el cual están sumergidos tanto el electrodo de zinc, de forma cilíndrica, como una vasija de un material poroso. Esta vasija está llena de una solución de sulfato cuproso, en la cual se sumerge el electrodo de cobre. Debido a su larga duración y a su salida constante, se pueden

⁽¹²⁶⁾ Anticipándose al descubrimiento de Steinhell de 1836.

⁽¹²⁷⁾ *Report of the British Association for the Advancement of Science*.

(continúa 1816)

realizar los experimentos eléctricos con mayor facilidad¹²⁸⁾. Por este invento, **Daniell** recibe la Medalla Copeley de la *Royal Society of London* ([1]; [18], p. 45; [25], p. 95). Entre las aplicaciones comerciales que se ven fuertemente estimuladas, se encuentran las del dorado de objetos, la galvanoplastia y la glifografía. **Daniell** publica una serie de artículos sobre diversos aspectos teóricos de la electroquímica e investiga la aplicabilidad de gran amplitud de la *ley de Ohm*. Muestra que el ión del metal, más que el de su óxido, es el portador de la carga eléctrica, cuando se electroliza una solución salina de metal ([34], vol. III, p. 557). Muestra que las sales están compuestas no por anhídridos ácidos y óxidos metálicos, sino por cationes metálicos y aniones ácidos simples o compuestos ([34], vol. VI, p. 439).

Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845; Francia) publica *Observations sur les multiplicateurs et sur les piles thermo-électriques* (*Observaciones sobre los multiplicadores y sobre las pilas termoeléctricas*) ([40], p. 1326).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y **Wilhelm Eduard Weber** (1804-1891; Alemania) inventan un galvanómetro reflector para usarse en los telégrafos, siendo el antecesor de los galvanómetros empleados en las primeras transmisiones por cable submarino ([25], p. 99).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) establece los principios del transformador; es decir, de la bobina de **Rühmkorff** ([16], p. 80).

Nicholas Callan (1799-1864; Irlanda) inventa la primera bobina de inducción ([34], vol. III, p. 18).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) diseña un relé simple (véase 1837) ([18], p. 80).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) diseña un modelo de un motor para utilizarlo en un tren eléctrico ([40], p. 413).

Edward M. Clarke es el primero en experimentar con diferentes tipos de embobinado y encuentra que puede variar la salida a su gusto ([17], vol. V, p. 180). Describe¹²⁹⁾ con gran detalle la construcción de un electroimán en el cual utiliza pares alternos de bobinas, a una de las cuales llama *armadura de cantidad* (consistente en 36.6 m de alambre grueso de cobre sin aislar) y a la otra *armadura de intensidad* (en la que usa 1,372 m de alambre delgado de cobre y aislado). Resume su operación de la siguiente manera ([18], p. 103):

Con bobina de cantidad:

- * chispas grandes y brillantes,
- * induce magnetismo,
- * puede encender pólvora,
- * produce centelleo de una lima de acero,
- * produce movimiento de rotación en marcos de alambres suspendidos alrededor de los polos de un imán en forma de herradura.

Con bobina de intensidad:

¹²⁸⁾ Esta celda sería el estándar hasta la década de los años 1870.

¹²⁹⁾ *Philosophical Magazine*, octubre.

(continúa 1836)

- * ni una persona, de los cientos que han intentado, podría aguantar la intensa agonía que es capaz de producir,
- * produce desviación en el electroscoipo de hojas de oro,
- * carga una botella de Leyden.

Joseph Saxton (1799-1873; Estados Unidos) entra en polémica con E. M. Clarke, debido al artículo que este último publica (véase arriba). Cada uno argumenta la prioridad del invento de la máquina (*[18]*, p. 103).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) publica "Description of an electromagnetic engine for turning machinery" ("Descripción de un motor electromagnético para maquinaria reciproante")⁽¹³⁰⁾ (véase 1832) (*[51]*, p. 44).

En marzo Georg Wilhelm Muncke (1772-1847; Alemania) da una demostración de su sistema telegráfico electromagnético en la Universidad de Heidelberg, Alemania. A esta exhibición asiste W. F. Cooke (*[51]*, p. 27).

William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) asiste a una demostración sobre telegrafía eléctrica, dada por el profesor Muncke, en la Universidad de Heidelberg, Alemania. Uno de los telégrafos que ve es el de P. L. Schilling de 1835 y, dándose cuenta de su potencial comercial, se dedica a desarrollar sus propios sistemas (*[25]*, pp. 77 y 98). En su primer sistema experimental usa seis alambre que forman tres circuitos que influyen sobre tres agujas, lo cual permite 27 posiciones diferentes (cada aguja puede desviarse hacia la izquierda, a la derecha o permanecer en reposo). Después construye lo que él llama *telégrafo mecánico* que tiene la ventaja de requerir sólo un circuito. El circuito incluye un electroimán que hace funcionar un sistema de reloj. Al igual que el telégrafo de Ronalds (véase 1816), el sistema mecánico de Cooke necesita que los mecanismos independientes de reloj en cada extremo de la línea telegráfica estén sincronizados. El problema que Cooke no puede resolver no es el de la sincronía, sino el hecho de que el mecanismo electromagnético no funciona a grandes distancias. En un experimento registra que no puede enviar señales a 1.6 km de distancia, aunque sus instrumentos funcionan bien con un alambre corto (*[51]*, p. 27).

Edward Davy (1806-1885; Inglaterra) concibe y describe un sistema de telegrafía, el cual mejoraría durante los tres siguientes años, hasta el punto de poder llevarlo a la práctica. También concibe la idea del renovador, es decir, un relé mediante el cual el sistema se puede extender a cualquier distancia (véase Henry, 1831). Davy tiene que mudar su residencia a Australia, por lo que se ve obligado a interrumpir la promoción de su sistema (seguramente es el que se hubiera adoptado en lugar del de Wheatstone y Cooke de 1837) (*[25]*, p. 98). Escribe *Outline of a New Plan of Telegraphic Communications* (Perfil de un nuevo plan para las comunicaciones telegráficas) (*[40]*, p. 421).

Para finales de este año, a petición de Gauss, Karl August Steinheil (1801-1870; Alsacia) perfecciona el telégrafo del propio Gauss y de Weber. El sistema requiere sólo dos alambres que comunican las dos estaciones remotas. También indica que uno de estos alambres se puede eliminar y utilizar, en su lugar, el retorno terrestre (método que fue utilizado por Henry en 1835) (*[25]*, pp. 98-99; *[34]*, vol. XIII, p. 22).

¹³⁰⁾ *Annals of Electricity*, 1 (1816-37), pp. 75-78 y lámina 1.

(continúa 1816)

David Alter (1807-1881; Estados Unidos) inventa un telégrafo eléctrico (*J40*, p. 39).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) es el primero en aplicar la electrólisis a escala práctica para la recuperación de metales en los minerales metálicos (véase 1829) (*J40*, p. 141).

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra) publica la tercera parte de "Recherches sur la cause de l'électricité voltaïque" ("Investigaciones sobre la causa de la electricidad voltaica")¹³¹¹ (véase 1828 y 1833) (*J34*, vol. VIII, p. 37). También publica *Théorie de la Pile Voltaïque* (*Teoría de la pila voltaica*), en 5 volúmenes (*J40*, p. 1000).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) propone al presidente de la *Royal Society of London* la instalación de una red mundial de observatorios geomagnéticos (*J34*, vol. VI, p. 552).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) han organizado el *Magnetische Verein* (*Congregación Magnética*) para unir la red mundial de observatorios magnéticos. Presentarían los resultados de sus investigaciones entre 1836 y 1841 en *Resultate aus den Beobachtungen des magnetische Verein* (*Resultados de la observaciones de la congregación Magnética*), en seis volúmenes, los cuales incluyen 15 artículos de Gauss y 23 de Weber.

Estas publicaciones, junto con algunas otras, tratan de los problemas de instrumentación asociados a las mediciones magnéticas e incluyen varias invenciones, tales como el magnetómetro bifilar. Informan también sobre las observaciones de las componentes horizontales y verticales de la fuerza magnética y tratan de explicarlas en términos matemáticos (*J3*, vol. 12, p. 547; *J34*, vol. V, p. 306).

Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) se dedica al estudio de las descargas eléctricas de los peces y confirma la existencia de la corriente propia, descrita por Nohbi en 1828 (*J34*, vol. IV, p. 201). Trabajando con peces torpedo, Matteucci encuentra que las descargas del órgano eléctrico del animal se deben a los impulsos que se generan en el cuarto lóbulo de la médula, al que llama lóbulo eléctrico. La estimulación mecánica o galvánica produce constantemente las descargas eléctricas, el signo de las cuales no varía aun cuando se invierta la dirección de la corriente de estímulo. Este descarga se puede generar, también, presionando los ojos del pez o estimulando su cuerpo. Tanto la descarga espontánea como la inducida, ocurren después de la ablación de los hemisferios cerebrales, de los lóbulos ópticos y del cerebelo; sin embargo, no logra observarlas después de la ablación del lóbulo eléctrico (*J34*, vol. IX, p. 177).

ca. 1837

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) diseña un interruptor automático. Probablemente es el primero en aplicarlo a la producción externa de las alteraciones necesarias en las máquinas de inducción (*J40*, p. 1298).

¹³¹¹ *Memoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève*, 4, pt. 3, pp. 285-334. Este mismo artículo aparece antes y ligeramente diferente, en *Annales de chimie et de physique*, 2^e sér., 39, de este año; las dos siguientes partes se encuentran en *ibid.*, 6, pt. 1 (1833), pp. 149-208, e *ibid.*, 7, pt. 2 (1836), pp. 457-517.

1837

Aparece⁽¹³²⁾ un informe anónimo sobre el uso del retorno por tierra, método que Henry propuso en 1835 y Steinheil en 1836 ([16], p. 60).

Claude-Servais-Mathias Pouillet (1790-1868; Francia) inventa el *galvanómetro de tangente*, primer instrumento para medir con precisión corrientes eléctricas débiles. Sustituye la bobina plana y pequeña de los galvanómetros estándar por una bobina circular grande y reduce la longitud del imán oscilatorio. En lugar de emplear una suspensión de fibra de torsión, utiliza una de pivote con control por el campo magnético terrestre sobre el imán mismo. Dada la geometría del instrumento, la corriente es precisamente proporcional a la tangente del ángulo de desviación; el ángulo es medido con un apuntador largo y ligero que se mueve sobre una escala circular plana. Desarrolla también el *galvanómetro de seno* ([25], p. 99).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) construye, en Brandon, Vermont, Estados Unidos, un motor electromagnético capaz de producir una potencia razonablemente buena. Uno de los modelos de motor opera a 1,000 rpm y puede levantar 90 kg a razón de 30 cm/min. Utiliza dicho motor en máquinas herramientas tales como taladros y tornos ([25], p. 100).

El 25 de febrero obtiene la patente estadounidense (no. 132) titulada "Improvements in Propelling Machinery by Magnetism and Electro-magnetism" ("Mejoras en la maquinaria de propulsión mediante el magnetismo y el electromagnetismo"). El motor, según las especificaciones de la patente, está operado por una batería galvánica, construido basándose en principios electromagnéticos totalmente fundamentados ([52], p. 46). Obtiene también la patente británica (no. 7,386).

En otro modelo de motor, el rotor consiste en cuatro bobinas montadas en un marco en forma de cruz fijo a una flecha vertical. Las bobinas opuestas se conectan en serie y los extremos se sacan bajo las bobinas en forma de escobetas rudimentarias, las cuales giran con el rotor. La parte fija del conmutador está construida con dos piezas semicirculares de cobre, conectadas a la batería. El estator está formado por dos imanes permanentes semicirculares, con sus polos iguales adyacentes. Con este motor, que pesa 23 kg y gira a 450 rpm, perfora agujeros de 6 mm de diámetro en hierro y en acero.

Davenport, que tiene grandes esperanzas en los desarrollos eléctricos futuros, escribe «¡Espero no ser considerado como un entusiasta, cuando me aventuro a predecir que pronto se producirán motores capaces de hacer funcionar grandes maquinarias mediante la simple acción de imanes galvánicos, y trabajen con mucho menor gasto que los de vapor!» ([51], pp. 45-46).

Davenport obtiene además la patente del modelo de un tren eléctrico del año pasado, y de una versión mejorada, pero no puede continuar sus investigaciones para comercializarlos debido a problemas económicos ([40], p. 413).

Robert Davidson (Escocia) construye un coche eléctrico que utiliza un motor de solenoide. Puede alcanzar hasta 6.4 km/hr (véase Forbes, 1840) ([25], p. 103; [51], p. 48).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) desarrolla un motor eléctrico en el que, copiando de los motores de vapor, sustituye el cilindro de vapor por un solenoide y el pistón por un núcleo de hierro. Construye además un motor eléctrico de doble acción con volante; conectándole barras de tracción, produce una salida de un caballo de fuerza ([18], 179).

¹³²⁾ *The Mechanical Magazine*.

(continúa 1837)

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra), influido por el interés de Sturgeon en el desarrollo de electroimanes y máquinas electromagnéticas, empieza a diseñar algunos dispositivos de este tipo. Se propone medir la eficiencia de los mismos, pero ello resulta una tarea extremadamente difícil, dado que implica contar con ciertas unidades estándar, de las cuales se carece casi por completo para la electricidad y el magnetismo ([34], vol. VII, p. 180).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia) es comisionado para que investigue las posibilidades prácticas del motor eléctrico de Jacobi, por lo que, entre sus experimentos, grafica una serie de curvas que muestran la disminución de intensidad de la magnetización a lo largo de un núcleo de hierro de una bobina de longitud finita (véase 1834-37) ([34], vol. VIII, p. 188).

Antoine-Philibert Maxson (1806-1860; Francia) describe sus trabajos sobre el fenómeno de autoinductancia en los circuitos voltaicos (véase 1834). Además, empleando un engrane como interruptor, demuestra el efecto tetánico de una serie rápidamente repetida de corrientes autoinducidas. Utilizando un engrane similar, para interrumpir un circuito primario independiente, construye algunas de las primeras bobinas de inducción (véase Callan, 1836) ([34], vol. IX, p. 166).

Johannes Andreas Jakob Von Ettingshausen (1796-1878; Alemania) construye una máquina magnetoeléctrica, considerablemente mejor que la de Pixii (véase 1832) ([40], p. 1732).

Jobart intenta crear una lámpara incandescente mediante el calentamiento de una barra delgada de carbón dentro de un recipiente al vacío. El dispositivo no resulta práctico ([25], p. 99).

William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) piensa que a las compañías ferroviarias les podría interesar el sistema telegráfico para enviar señales entre las estaciones. En enero muestra sus instrumentos (véase 1836) a los directores de la *Liverpool and Manchester Railway*. Para tratar de resolver el problema de enviar señales a grandes distancias, pide el consejo de Faraday, quien le sugiere incrementar el número de placas de la batería proporcionalmente a la longitud del alambre. Esto resulta de alguna ayuda; sin embargo, ya que Faraday no tiene conocimientos matemáticos sobre los circuitos eléctricos, no tomó en cuenta que la resistencia del electroimán en los receptores y la resistencia del alambre que sirve de conexión son factores importantes. Cooke también consulta al secretario de la *Royal Society of London* quien lo refiere a Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) ([51], pp. 27, 28 y 62). El 12 de junio, reciben la patente británica (no. 7,390) por el telégrafo eléctrico de cinco agujas (véase 1838), siendo la primera patente que cubre un medio de comunicación eléctrica. También es la primera patente concedida a un telégrafo eléctrico en Inglaterra. Este sistema lo ponen en operación inmediatamente en la *Great Western Railway*. Cada letra se indica por la desviación de dos agujas magnéticas ([3], vol. 12, p. 618; [10], p. 5; [16], p. 60; [25], p. 100; [34], vol. XIV, p. 290). En la patente describen que empleando un relé electromagnético de su invención pueden hacer que la acción de una batería local en una estación lejana suene una alarma en el lugar donde ellos están ([52], p. 46; [16], p. 328).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) termina de construir su primer sistema telegráfico operativo y lo exhibe en Washington, DC,

(continúa 1837)

Estados Unidos. Realiza una petición ante el Congreso de ese país para obtener tanto una patente como el permiso para construir una línea experimental entre Washington y Baltimore. La sesión del Congreso se clausura antes de que se vote la petición ([25], p. 100).

Su sistema eléctrico, aun cuando es simple, tiene la particularidad de poder registrar gráficamente las señales recibidas. Este sistema es mucho más práctico que el de **Dyar** de 1826. Para este fin, utiliza un péndulo que se mueve transversalmente a una banda de papel. Incluye los elementos esenciales de un código binario. Este código queda registrado como una gráfica en forma de sierra. Por ejemplo, el número 1 está determinado por un pico; el número 2, se define como dos picos, etc. Los espacios se codifican con una línea horizontal, etc. ([1]; [16], pp. 353-354; [52], p. 46).

El 3 de octubre, **Morse** obtiene la patente estadounidense por este telégrafo ([51], p. 34).

Además, informa sobre el diseño de un relé (véase 1836) ([16], p. 60).

Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos) inventa el código **Morse**, en el cual se representa cada letra del alfabeto mediante una combinación de puntos y rayas. Además, desarrolla el sistema de impresión para el telégrafo de **Morse**. Su impresora escribe claramente puntos y rayas ([18], p. 81). Accede a manufacturar el juego completo de instrumentos telegráficos para **Morse** y financiar las patentes estadounidenses y extranjeras ([40], p. 1704).

Debido al interés demostrado por el zar **Nicolás** y a las recomendaciones de la Comisión Rusa de Investigación, se decreta que se debe tender una línea telegráfica a lo largo del Golfo de Finlandia, que conecte Cronstadt con San Petersburgo ([18], p. 75; [25], p. 100).

A **Pavel L. Schilling** (1786-1837; Rusia) se le comisiona el proyecto para tender una línea telegráfica en el Golfo de Finlandia (véase arriba), el cual no puede concluir dado que muere poco tiempo después del encargo ([18], p. 75; [25], p. 100).

A **Moritz Hermann von Jacobi** (1801-1874; Alemania) se le comisiona para que continúe el trabajo inconcluso de **P. L. Schilling**, respecto al telégrafo electromagnético en el Golfo de Finlandia (véase arriba) ([34], vol. VII, p. 56).

William Alexander exhibe un sistema telegráfico, en el cual se utilizan 30 alambres; una aguja movable destapa la letra correspondiente ([25], p. 100).

Alexander Bain (1810-1877; Escocia) inventa un telégrafo registrador (véase **Morse**, 1837). La técnica empleada es particularmente interesante para la historia de los registradores, dado que utiliza principios electroquímicos para generar las letras recibidas. Es el antecesor del facsímil de medio tono. La palabra a ser enviada se ensambla primero con letras de metal y sobre éstas se pasan cinco sensores. En el extremo receptor, se reconstruye la palabra moviendo cinco contactos sobre un papel tratado con yodo potásico en almidón ([16], p. 354).

Edward Davy (1806-1885; Inglaterra) inventa un telégrafo de aguja ([40], p. 421).

(continúa 1837)

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) encuentra que cuando se le aplica potencia a un imán, en una rápida sucesión de magnetización y desmagnetización, se puede escuchar un sonido (véase *efecto Joule*, 1847) ([25], p. 99).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) piensa que la fuerza electrostática, al igual que la electroquímica, tampoco es una fuerza a distancia (véase 1833). Para tal efecto, son necesarias dos hipótesis: 1) si la fuerza electrostática depende de la capacidad de las moléculas del medio para transmitirla, esta fuerza debe variar de sustancia a sustancia; y 2) dado que las moléculas transmisoras ocupan un volumen en el espacio, en lugar de líneas rectas de acción a distancia asumidas por los físicos, la fuerza electrostática debe transmitirse en líneas curvas. Faraday demuestra experimentalmente ambas hipótesis y deduce que el dieléctrico (la sustancia entre las placas conductoras) tiene mucho que ver en el comportamiento de los condensadores, construye varios de estos dispositivos con esferas concéntricas. Muestra que las capacidades son diferentes para diferentes materiales y que hay una propiedad física de los materiales aislantes a la que nombra *capacidad inductiva específica*, ahora llamada normalmente constante dieléctrica. Esta propiedad ya había sido investigada por Cavendish, hacia 1775 pero, dado que no se conoció su trabajo, se le da el crédito a Faraday y se nombraría *farad* a la unidad de capacitancia ([3], vol. 19, p. 85; [25], pp. 99-100; [34], vol. IV, p. 537; [51], p. 21).

Edward Sabine (1788-1883; Irlanda) publica un compendio de todas las observaciones magnéticas mundiales registradas hasta este año, lo cual le permite a Gauss realizar los cálculos necesarios para su *Allgemeine Theorie* (Teoría general) de 1839 ([34], vol. XII, p. 50).

Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) publica "An Attempt to Facilitate Observations of Terrestrial Magnetism" ("Intento para facilitar las observaciones sobre el magnetismo terrestre")^[133] ([34], vol. VIII, p. 426).

Robert Were Fox (1789-1877; Inglaterra) construye la brújula de inclinación, *Russ* que emplearía en su viaje por el Océano Antártico de 1838 ([40], p. 595).

1837-49

Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879; Prusia) edita *Repertorium der Physik* (Repertorio de física), en el cual él mismo escribe varios de los artículos sobre los progresos alcanzados en los campos de la física, la meteorología, la teoría del calor, el magnetismo y la electricidad. Sus contribuciones a la física se centran en sus observaciones sobre el magnetismo terrestre, los fenómenos de polarización (en particular las propiedades ópticas del cristal de roca) y sobre la electricidad inducida ([34], vol. IV, p. 174).

1838

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania) presenta a la *Academia de San Petersburgo*, Rusia, su investigación sobre la potencia de un electroimán en función de varios parámetros, tales como la corriente eléctrica, grosor del alambre, grosor del núcleo de hierro, número de vueltas en la bobina, diámetro de la misma, etc. Este trabajo es de gran valor práctico en el diseño de motores y generadores^[134] ([34], vol. VII, p. 56).

^[133] *Transactions of the Royal Irish Academy*, 17

^[134] Estos estudios los continuarían con mayor detalle Rowland y Hopkinson, casi 50 años después.

(continúa 1838)

Moigno y Raillard establecen⁽¹³⁵⁾ las bases para reemplazar los imanes permanentes de las máquinas electromagnéticas por electroimanes. Realizan varios experimentos basados en el hecho de que, al comunicarle energía a un imán (que puede levantar sólo pequeños pesos) por medio de una corriente de una máquina electromagnética, este imán adquiere un gran poder y, así, logra levantar cuerpos mucho más pesados (*[18]*, p. 107).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) introduce imanes de campo excitados por separado, para reemplazar a los imanes permanentes en los dinamos (*[25]*, p. 101).

Daniel Davis incorpora los inventos de **Page** en una máquina de bobinas (véase arriba) (*[40]*, p. 1298).

Nicholas Callan (1799-1864; Irlanda) descubre el principio de la autoexcitación en las máquinas dinamoeléctricas (*[34]*, vol. III, p. 18).

El 2 de noviembre **Joseph Henry** (1797-1878; Estados Unidos) envía un artículo a la *Philosophical Society*, en el cual describe la acción de los transformadores y cómo aumentar o disminuir el voltaje. Sus resultados son producto de investigaciones realizadas en 1835 (*[25]*, p. 101; *[34]*, vol. VI, p. 278).

Karl August Steinheil (1801-1870; Alsacia) trabaja con las vías de tren como cables, proponiendo (una vez más) el uso de la tierra como conductor (*[16]*, p. 60; *[34]*, vol. XIII, p. 22).

William Robert Grove (1811-1896; Gales) construye una versión mejorada de la celda de **Daniell** de 1836, que sería llamada celda de **Grove**. La característica principal de esta pila es el empleo de un electrodo de platino inmerso en ácido nítrico fuerte, mismo que está contenido en un recipiente poroso. El otro electrodo es de cinc y está sumergido en ácido sulfúrico débil. Cuando por polarización se forma el hidrógeno (véase polarización, 1805), éste es oxidado inmediatamente por la solución de ácido nítrico (*[18]*, p. 45). Esta pila puede desarrollar 1.9 V y una resistencia interna muy baja.

Por otro lado, **Grove** demuestra la que probablemente es la primera pila de combustible o batería de gas. El principio de la celda de combustible es la conversión de energía química en energía eléctrica a lo largo de una trayectoria que evita la limitante termodinámica sobre la eficiencia impuesta por la relación de **Carnot**. El dispositivo de **Grove** consiste en un tubo con hidrógeno y otro tubo con oxígeno, colocados por separado sobre dos bandas de platino. Parte de estas bandas se introduce, sellándolo, en un recipiente con ácido sulfúrico diluido, de tal forma que la mitad de cada placa está en contacto con el ácido, mientras que la otra mitad queda expuesta al gas. Cuando se conectan los extremos de las bandas que están dentro del recipiente mediante un alambre, se genera una corriente. Presenta una resistencia interna muy alta, provocando que el voltaje caiga y se incremente la corriente de carga; sin embargo, uno de los problemas de esta celda es que su voltaje cae bruscamente cuando se le añade una corriente consumida (*current drain*) (*[25]*, pp. 100-101; *[34]*, vol. V, p. 559).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) y **William Fothergill Cooke** (1806-1879; Inglaterra) aplican las ideas de **Gauss** y **Weber** (véase 1836) a su

¹³⁵⁾ *Telegraphie électrique*.

(continúa 1838)

sistema telegráfico. Instalan el primer telégrafo de aguja práctico en Inglaterra, sobre la *London and Blackwall Railway* ([25], p. 101).

Instalan además otro sistema en las vías férreas de la *Great Western Railway*. El diseño es totalmente de **Wheatstone**; **Cooke** es quien negocia los acuerdos con la compañía y supervisa la instalación. El telégrafo opera entre Paddington y West Drayton, Inglaterra (véase 1842) ([51], p. 28 y 30).

En junio, Samuel Findley Breese **Morse** (1791-1872; Estados Unidos) llega a Inglaterra con la idea de solicitar una patente inglesa para su telégrafo eléctrico (véase 1837), pero varias gentes se oponen a la solicitud, entre ellas W. F. **Cooke** y C. **Wheatstone**, argumentando que el trabajo de **Morse** ya ha sido publicado previamente en Inglaterra en *Mechanics Magazine* del 10 de febrero de 1838. **Morse** no sabe que una publicación anterior de un invento hace imposible obtener una patente en Inglaterra, por lo que le parece totalmente injusto cuando el Fiscal General rechaza su solicitud. Aunque no logra su objetivo principal, **Morse** encuentra útil el conocer a otras personas interesadas en el desarrollo de los telégrafos (véase 1843) ([51], p. 34).

En la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, Alfred Lewis **Vail** (1807-1859; Estados Unidos) exhibe públicamente, por primera vez, el telégrafo de **Morse** (véase 1837). Lo muestra también ante el *Franklin Institute*, en Filadelfia, Pensilvania, y ante el Congreso de Estados Unidos, en Washington, DC ([40], p. 1704).

Edward **Davy** (1806-1885; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 7,719) por su relé (véase 1836). Reclama para sí la invención del «modo de hacer que las señales de telégrafo o las comunicaciones de un lugar distante a otro entren en operación mediante corrientes eléctricas empleando relés de circuitos metálicos.» ([52], p. 46).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) **Lenz** (1804-1865; Rusia), con base en la ley de **Lenz**, establecida en 1834, propone el principio de reversibilidad de los motores y generadores electromagnéticos y lo demuestra con una de las máquinas de **Pixii**. Además, da una prueba visual y contundente del descubrimiento de **Peltier** de 1834, al congelar agua mediante una corriente eléctrica sobre una capa de bismuto y antimonio. Publica "Ueber einige Versuche im Gebiete der Galvanismus" ("Sobre algunas investigaciones en el campo del magnetismo")⁽¹³⁶⁾ ([34], vol. VIII, pp. 188-189).

Michael **Faraday** (1791-1867; Inglaterra) busca los efectos de la tensión (*strain*) eléctrica en los materiales dieléctricos (véase 1837) análogos a los de las líneas de fuerza de un imán. Investiga las descargas disruptivas de dichos materiales. Este efecto se logra mejor cuando el medio es el aire, de preferencia a bajas presiones, entre dos conductores encerrados en un recipiente de vidrio. Estudia y describe las descargas eléctricas en tubos parcialmente al vacío. No logra explicar el fenómeno, pero sí observa una región que, bajo ciertas condiciones, se produce cerca del cátodo (*espacio oscuro de Faraday*) ([3], vol. 18, pp. 202-204; [25], pp. 100-101; [51], p. 21).

Dominique François Jean **Arago** (1786-1853; Francia) adopta y amplía las ideas e instrumentos de los experimentos de **Wheatstone** (véase 1834) para

⁽¹³⁶⁾ Bulletin scientifique de l'Académie impériale des sciences de St.-Petersbourg, 3, no. 21, cols. 321-326 y *Annals of Electricity, Magnetism and Chemistry*, 3, pp. 380-385.

(continúa 1838)

medir la velocidad de la electricidad. Sugiere el *experimento crucial* para decidir entre la teoría ondulatoria de la luz (la luz debe retardarse al pasar de un medio más ligero a uno más denso) o por la teoría corpuscular. El experimento resulta demasiado complicado y se realizaría hasta 1850 ([3], vol. I, p. 511; [34], vol. I, p. 203).

Como coronación a muchos años de esfuerzos por parte de varios científicos y, en particular, de Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania), se establecen oficialmente las cruzadas magnéticas ([34], vol. XII, p. 50).

A partir del descubrimiento de las variaciones temporales del campo magnético terrestre, surge la necesidad de establecer observatorios permanentes ([34], vol. VIII, p. 426).

A Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) se le asigna la tarea de planear las actividades de los observatorios geomagnéticos permanentes, así como la de instruir a los oficiales a cargo de los observatorios. El propio observatorio de Lloyd, en el *Trinity College*, sirve como modelo para otras estaciones ([34], vol. VIII, p. 426).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) tienen una red de 16 estaciones magnéticas entre Dublín y San Petersburgo (este-oeste) y Uppsala y Catania (norte-sur). Weber habla con J. F. W. Herschel sobre la necesidad de extender esta red ([34], vol. XII, p. 50 y vol. XII, p. 205).

Edward Sabine (1788-1883; Irlanda), al igual que J. F. W. Herschel, opina que es necesario se tomen mediciones tanto de la temperatura como de la presión atmosféricas, ya que algunas veces éstas son responsables de mayores efectos sobre la aguja magnética, que los provocados por el magnetismo terrestre ([34], vol. XII, p. 50).

James Clark Ross (1800-1862; Inglaterra) es contratado por el Almirantazgo inglés, gracias a su gran experiencia acumulada en observaciones magnéticas, para que realice una investigación de las declinaciones e inclinaciones magnéticas en todo el Reino Unido ([34], vol. XI, p. 554).

George Biddell Airy (1801-1892; Inglaterra) analiza la desviación de las brújulas por los efectos de los cascos de hierro de las embarcaciones y diseña un sistema de corrección para la Marina Real británica ([3], vol. I, p. 180, [6], p. 212).

Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) descubre que el potencial de reposo de una rana (diferencia de potencial entre el interior y el exterior de una fibra muscular en reposo) desaparece como consecuencia de la estricnina tetánica⁽¹³⁷⁾ (véase Du Bois-Reymond, 1849) ([34], vol. IX, p. 177).

Antoine-Philibert Masson (1806-1860; Francia) publica *Théorie physique et mathématique des phénomènes électromagnétiques et du magnétisme* (Teoría

137) En inglés *strychnine tetanus*

(continúa 1838) *física y matemática de los fenómenos electromagnéticos y del magnetismo*) (*J34*, vol. IX, p. 166).

1838-45 Louis-François-Clement Bréguet (1804-1883; Francia) y Antoine-Philibert Maxson (1806-1860; Francia) construyen un telégrafo eléctrico de dos agujas (véase 1846) (*J40*, p. 1125).

ca. 1839 Jean-Claude-Eugène Péclet (1793-1857; Francia) construye un condensador y un galvanómetro (*J40*, p. 1323).

Se acepta prácticamente de manera universal la identidad entre la electricidad voltaica y la estática. Bajo esta hipótesis, se realizan diversos experimentos para ver si con la electricidad voltaica se pueden producir chispas eléctricas antes de cerrar el circuito de una batería (véase *Cassiot*, 1839) (*J34*, vol. V, p. 292).

1839 William Robert Grove (1811-1896; Gales) presenta al público su pila, creada en 1838 (*J18*, p. 45). Publica "On the Voltaic Series and the Combination of Gases by Platinum" ("Sobre la serie voltaica y la combinación de gases debida al platino")⁽¹³⁸⁾, "On a New Voltaic Combination" ("Sobre la nueva combinación voltaica") y "On a Small Voltaic Battery of Great Energy, Some Observations on Voltaic Combinations and Forms of Arrangement; and On the Inactivity of a Copper Positive Electrode in Nitro-Sulphuric Acid" ("Sobre una pequeña batería voltaica de gran energía, algunas observaciones sobre combinaciones voltaicas y formas de arreglos, y sobre la inactividad de un electrodo positivo de cobre en ácido nitrosulfúrico")⁽¹³⁹⁾ (*J34*, vol. V, p. 560).

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania) hace marchar sobre el río Neva, en San Petersburgo, Rusia, una pequeña embarcación con ruedas de paletas, de 10 m de largo, con una docena de personas a bordo, accionada por un motor eléctrico de su invención, de tres cuartos de caballo de fuerza (describe su trabajo en una carta dirigida a Faraday). El motor consiste en dos marcos de madera, cada uno de los cuales sostiene una serie de electroimanes en forma de herradura, con sus polos uno frente al otro a poca distancia; En el espacio que queda, un cepo de inducido gira alrededor de un eje horizontal que sostiene imanes permanentes rectos, horizontales. La corriente de la pila, que abastece a los electroimanes, para por un conmutador simple que invierte periódicamente las conexiones entre la batería y las bobinas de tal forma que el rotor siempre gira en la misma dirección. Con una pila de Grove, de 128 celdas, el bote alcanza una velocidad de 4.5 km/h.

Jacobi señala que el motor puede suministrar «una fuerza de un caballo» con una batería de 1.9 m² de platina. Así, la embarcación alcanza los 5 km/hr. Sin embargo, se demuestra que el equipo no es económicamente conveniente.

Otro motor de Jacobi tiene electroimanes tanto en el estator como en el rotor⁽¹⁴⁰⁾.

Por otra parte, ha construido ya un receptor telegráfico muy similar (y anterior) al de Morse. No obstante, aun cuando se tienden mejores líneas, dicho sistema no resulta práctico.

Presenta su proceso de galvanoplastia (reproducción de formas por electrodeposición).

¹³⁸⁾ *Philosophical Magazine*, 14.

¹³⁹⁾ *Philosophical Magazine*, 15.

¹⁴⁰⁾ *Philosophical Magazine*, 15, p. 164.

(continúa 1839)

Jacobi estudia además la relación entre la corriente eléctrica y el magnetismo resultante, por lo que descubre el *efecto de contrainducción* (véanse **Lenz** y **Joule** abajo)⁽¹⁴¹⁾ ([1], [10], p. 6; [25], pp. 101-102; [34], vol. VII, p. 56; [51], p. 48).

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) espera que los electroimanes podrán llegar a ser una fuente infinita de potencia mecánica. Ha encontrado que la atracción mutua entre los electroimanes es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente eléctrica, mientras que la potencia química necesaria para producir la corriente en la batería es directamente proporcional a la intensidad.

Sin embargo, se entera del efecto de contrainducción descubierto por **Jacobi** (véase arriba) y lo analiza. Dicho efecto pone un límite a la eficiencia de las máquinas electromagnéticas, por lo que tiene que modificar su concepción de fuentes infinitas de potencia ([25], p. 102; [34], vol. VII, p. 181).

Heinrich Friedrich Emil (**Emil Kristianovich**) **Lenz** (1804-1865; Rusia) publica algunas de sus conclusiones referentes a la relación entre corriente eléctrica y el magnetismo resultante (*efecto de contrainducción*) (véanse **Jacobi** y **Joule**, este mismo año)⁽¹⁴²⁾ ([25], p. 102).

Thomas Davenport (1802-1851; Estados Unidos) utiliza, por primera vez, un motor eléctrico para operar maquinaria de imprenta; inventa así la primera imprenta eléctrica ([10], p. 6; [40], p. 413).

Karl August Steinheil (1801-1870; Alsacia) construye el primer reloj eléctrico ([1]).

Claude-Servais-Mathias Pouillet (1790-1868; Francia) comprueba, con su galvanómetro de tangente de 1837, la *ley de Ohm* de la resistencia (véase 1827), con un alto grado de precisión.

Los estudios de **Pouillet** contribuyen de manera importante a la difusión de dicha ley ([34], vol. XI, p. 111).

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) obtiene su doctorado con la disertación "De thermo-electricitate crystallorum" ("De la termoelectricidad en los cristales"), donde discute las propiedades eléctricas de los cristales, esclareciendo las peculiaridades de éstas en cristales con o sin centro de inversión. Descubre la relación entre la piroelectricidad y la rotación del plano de polarización de la luz en los cristales ([34], vol. VI, p. 96).

John Peter Gassiot (1797-1877; Inglaterra) muestra que con una pila formada por 1,024 celdas de **Danell** no se logra producir chispas antes de cerrar el circuito, pero si utiliza dichas celdas puede cargar un arreglo de nueve botellas de Leyden, o si las emplea junto con un transformador y un interruptor de circuito, puede producir chispas justo antes del contacto ([34], vol. V, p. 292).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) ha desarrollado ya una nueva teoría eléctrica, basada en los resultados electroquímicos obtenidos durante el los últimos seis años.

¹⁴¹⁾ *Annals of Electricity*.

¹⁴²⁾ *Annals of Electricity*.

(continúa 1879)

Según **Faraday**, las partículas de la materia están compuestas por fuerzas que forman patrones complejos que les dan su individualidad. Dichos patrones se pueden distorsionar si las partículas se someten a una tensión. La fuerza eléctrica, argumenta él, provoca tales tensiones; situación en que las moléculas de la solución pasan a un estado de tensión (*estado electrotónico*). En electrostática las moléculas son capaces de resistir grandes fuerzas; cuando la vena de una tensión (*strain*) particular cede, lo hace con una chispa eléctrica. Los relámpagos son el resultado de un proceso similar, pero a gran escala. En electroquímica la fuerza de tensión en ruptura es la que provoca la descomposición química. La migración de las partículas de los elementos hacia los electrodos relaja momentáneamente la tensión, pero ésta se regenera inmediatamente debido a la constante aplicación de la fuerza eléctrica en los electrodos sobre las partículas del electrolito más cercanas. La ruptura y regeneración de la tensión interparticular que recorre el electrolito, constituye la corriente eléctrica. Es una transferencia de energía que no conlleva intercambio de materia. Durante los procesos electroquímicos, la velocidad de transmisión de esta *onda* es proporcional a las afinidades de las sustancias involucradas; pero, **Faraday** insiste, la electricidad no es un fluido material sino un patrón ondulatorio de tensiones y distensiones. Los aislantes son simplemente materiales cuyas partículas requieren de una cantidad extraordinaria de tensión antes de recuperarse. La carga electrostática en un aislante es la medida de la tensión acumulada. Por el contrario, las moléculas de un buen conductor no aguantan dicha tensión, por lo que el proceso de ruptura y regeneración es excepcionalmente rápido. Así, toda acción eléctrica es el resultado de tensiones forzadas en los cuerpos. Los contemporáneos de **Faraday** no están preparados para aceptar su teoría y nadie la toma con la suficiente seriedad (*[3]*, vol. 4, p. 681 y vol. 19, p. 85; *[34]*, vol. IV, p. 537).

Publica el primer volumen de *Experimental Researches in Electricity* (*Investigaciones experimentales en electricidad*) (el segundo volumen aparecerá en 1844 y el tercero en 1855) (*[40]*, p. 545).

Faraday propone la idea de generar electricidad a partir del movimiento de un fluido, procedimiento que forma la base de la generación magnetohidrodinámica (MHD) de electricidad. Se pasa un fluido conductor entre los polos de un imán y así se genera una fuerza electromotriz perpendicular al campo electromagnético⁽¹⁴³⁾ (*[52]*, p. 47).

John Frederic Daniell (1790-1845; Inglaterra) extiende las tesis de **Faraday** de los últimos años sobre la acción electrolítica (véanse 1834 y arriba). Muestra que las sales no son compuestos de anhídridos ácidos y óxidos metálicos, como hasta ahora se ha creído, sino de cationes metálicos y aniones ácidos elementales o compuestos. **Daniell** cree que la conductividad eléctrica de las soluciones es debida a dichos iones, por lo que comienza a investigar la transferencia de los mismos (véase **Hittorf**, 1853) (*[34]*, vol. VI, p. 439).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) publica su obra más importante sobre el magnetismo terrestre, *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus* (*Teoría general del magnetismo terrestre*). En este libro rompe con la tradición de especulación teórica de escritorio y basa su teoría en los datos reales, obtenidos en la red de observatorios magnéticos y, en particular, el compendio de **Savine** de 1837. En 1806 **Gauss** había pensado en algunas suposiciones al respecto y en 1822 las había formulado, pero sin fundamentos empíricos. A partir de esto, **Gauss** expresa el potencial magnético sobre cualquier punto de la superficie terrestre como una serie infinita de funciones esféricas y utiliza la información antes mencionada para calcular los primeros 24 coeficientes. Este trabajo es una

⁽¹⁴³⁾ Este principio se usaría también en bombas electromagnéticas y en los medidores de flujo de inducción (*induction flow meters*).

continúa 1839)

buena interpolación y Gauss espera poder explicar estos resultados basándose en una teoría física de la composición magnética terrestre. Sin embargo, nunca lo hace y, aun cuando lo hubiera hecho, no habría contribuido mucho a la explicación efectiva, ofrecida por las fórmulas gaussianas (*J34*, vol. V, p. 306). Con esta teoría, Gauss restringe los orígenes del magnetismo terrestre a la superficie de la Tierra (*J34*, vol. VII, p. 49).

Edward Sabine (1788-1883; Irlanda) obtiene, después de cuatro años de intensos esfuerzos, la autorización para la expedición magnética a los mares del sur, patrocinada por la *British Association for the Advancement of Science* y por la *Royal Society of London*, ambas en Inglaterra. Está comandada por James Clark Ross (1800-1862; Inglaterra), y a Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) se le comisiona el trabajo teórico. El viaje duraría cuatro años (*J34*, vol. VII, p. 50 y vol. XI, p. 554).

Alexander Dallas Bache (1806-1867; Estados Unidos) regresa a Estados Unidos de un viaje a Europa, cuyo objetivo fue, entre otros, el de realizar observaciones de la inclinación y declinación magnéticas para compararlas con los valores obtenidos en su país natal. Intenta establecer un sistema estadounidense que entrará a formar parte del sistema mundial de observatorios magnéticos de Sabine. Sin embargo, todo termina en un solo observatorio en *Girard College*, el primero de su tipo en Estados Unidos. Quizás el trabajo más interesante de Bache en este campo, es el intento infructuoso de determinar las longitudes mediante observaciones magnéticas simultáneas¹⁴⁴. Su compañero de trabajo es Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) (*J34*, vol. I, p. 364).

John Frederic Daniell (1790-1845; Inglaterra) es nombrado para formar parte de una comisión del Almirantazgo inglés, cuyo objetivo es el investigar diferentes formas para proteger los barcos de los efectos de los rayos (*J34*, vol. III, p. 557).

Dancer (Reino Unido) produce fotografías, poco después de que Daguerre inventa el proceso fotográfico, de documentos de un tamaño muy reducido (1:160), de aproximadamente 3 mm por lado. Sienta así las bases de la microfotografía (*J52*, p. 46).

1839-52

William Scoresby (1789-1857; Inglaterra) publica *Magnetical Investigations* (*Investigaciones magnéticas*), en 2 volúmenes (*J40*, p. 1509).

ca. 1840

Hasta ahora, muchos investigadores deben haber fundido un pedazo de alambre al pasar una corriente eléctrica a través de él, y deben haber notado que el alambre se tornaba incandescente por unos instantes antes de romperse. No se sabe quién es el primero en sugerir el uso de tales conductores incandescentes como fuente de luz. Sin embargo, el problema de encontrar un material que pueda ser mantenido al rojo vivo sin que se derrita o quiebre, la forma de sostenerlo adecuadamente y de prevenir que se oxide, tomaría todavía varias décadas de investigaciones (*J51*, p. 64).

Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt (1769-1859; Alemania) es el primero en darse cuenta del decremento significativo en la intensidad del campo magnético terrestre cuando aparecen las auroras boreales (*J34*, vol. I', p. 553).

¹⁴⁴) *Proceedings of the Royal Irish Academy*, I.

1840

Smee construye la primera pila voltaica en la cual se utiliza un sólo líquido, con el objetivo de evitar la polarización (véase 1805). Mediante la aplicación de cierta cantidad de platino finamente dividido a una placa de plata logra obtener que la superficie de la placa sea rugosa, de este modo las burbujas de hidrógeno no se pueden adherir a la superficie. Dada la simplicidad en la fabricación, la pila alcanza gran popularidad y permanecería en uso por muchos años ([18], p. 46).

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811-1899; Alemania) perfecciona la pila de Grove (véase 1838), reemplazando el electrodo de platino por una barra de carbón. El carbón, mezcla de hulla y coque, está tratado con mucho calor para prevenir la acción local (véase 1805). Esto reduce el voltaje, pero se duplica la corriente de salida, por lo que se reduce el costo considerablemente.

Luego construye una batería con ácido crómico en lugar del ácido nítrico, y una batería con placas de cinc y carbón en ácido crómico ([18], p. 46; [25], pp. 102-103; [34], vol. II, p. 588).

El 9 de mayo, W. H. Taylor (Estados Unidos) publica un artículo titulado "Taylor's Electromagnetic Engine" ("El motor electromagnético de Taylor")⁽¹⁴⁵⁾ en el que describe un motor eléctrico. El dispositivo es un arreglo simple de cuatro electroimanes en un marco alrededor de una rueda de madera que tiene siete armaduras de hierro dulce en su periferia. Un conmutador simple sobre el eje cambia secuencialmente los cuatro electroimanes. Taylor asegura que los motores electromagnéticos previos han dependido del cambio de la polaridad de los electroimanes, mientras que su invento se basa en la idea de la conmutación entre ellos de tal forma que son «magnetizados y desmagnetizados alternativamente y (casi) instantáneamente, sin que tenga lugar el cambio de polaridad» ([51], p. 47).

Robert Davidson (Escocia) equipa un carro con un motor eléctrico. Este consiste en ocho bobinas, sobre cilindros de madera, con núcleos deslizantes de hierro dulce, que actúan como pistones, conectados a manivelas sobre los ejes del carro. El carro tiene un peso de 5 t en condiciones de carga y puede alcanzar una velocidad de 6 km/h ([18], p. 179; [25], p. 103).

El profesor P. Forbes, del *King's College Aberdeen*, Escocia, publica un artículo titulado "On the Application of Electro-Magnetism as a Motive Power" ("Sobre la aplicación del electromagnetismo como potencia motriz")⁽¹⁴⁶⁾. El trabajo es una carta dirigida a Faraday, en la que por primera vez se llama la atención pública sobre los trabajos de Robert Davidson (Escocia) realizados en 1837. Forbes no describe con detalle el motor de Davidson, señala que tenía sólo dos electroimanes y podía operar un torno o mover pequeños objetos cuando se le suministraba energía de una batería de cinc de 0.9 m² de superficie. Otra máquina cuya potencia era suministrada por la misma batería podía impulsar un carruaje chico con dos pasajeros por el piso de madera de la habitación ([51], p. 48).

Uriah Clarke exhibe su vagón electromagnético sobre una vía circular en la *Exhibición de Leicester*, Inglaterra⁽¹⁴⁷⁾. El motor tiene un único electroimán que actúa sobre una armadura que está en una palanca pivoteada. La palanca está acoplada, mediante una cadena, a un cigüeñal y el principio operativo es que el

¹⁴⁵⁾ *Mechanics Magazine*, 32 (mayo), pp. 693-696.

¹⁴⁶⁾ *Annals of Electricity*, 5 (septiembre), pp. 329-240.

¹⁴⁷⁾ *Annals of Electricity*, 5, pp. 33-34, lámina I y pp. 304-305.

(continúa 1842)

electroimán sea energizado para dar a la armadura, y por lo tanto a la cadena, un breve y fuerte jalón durante cada revolución del cigüeñal. Cuando se carga la batería, el vagón opera durante dos horas y media. El peso total es de unos 27 kg ([51], p. 57).

Thomas Wright (Inglaterra) describe⁽¹⁴⁸⁾ su idea para incrementar el recorrido de trabajo (*working stroke*) de un motor electromagnético. Básicamente, su proposición es que la armadura debe tener una bisagra en uno de sus bordes, el cual está en contacto con el electroimán. De esta forma, Wright piensa que el recorrido de trabajo debe incrementarse de 6 mm a 30 mm ([51], p. 57).

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) descubre que algunos productos o compuestos químicos, al ser cargados eléctricamente, emiten luz. Y, a la inversa, algunas sustancias suficientemente iluminadas generan una corriente eléctrica. Es la primera vez que se observa el *efecto fotovoltaico*.

Determina que la corriente producida por las celdas no se debe a un diferencial de calor y sugiere que las celdas se pueden utilizar para medir el nivel actínico de la luz⁽¹⁴⁹⁾ ([10], p. 48; [25], p. 102). Con base en dicha hipótesis, construye un dispositivo, llamado *actinómetro*, que mide la intensidad de la luz mediante la determinación de la intensidad de las corrientes eléctricas producidas en las reacciones fotoquímicas ([34], vol. I, p. 556).

Becquerel publica "On electric effects under the influence of solar radiation" ("Sobre los efectos eléctricos bajo la influencia de la radiación solar")⁽¹⁵⁰⁾ (véase W. Smith, 1873) ([52], p. 47).

Frederick de Moleyns inventa la primera lámpara incandescente de platino. Emplea dos bobinas de platino conectadas por carbón vegetal pulverizado que se enciende cuando se le aplica potencia eléctrica ([56], p. 178).

John Peter Cassiot (1797-1877; Inglaterra) obtiene chispas eléctricas con un pila de Zamboni (véase 1812), primero de 10,000 celdas y luego de 1,000. Describe sus resultados en "An Account of Experiments Made with the View of Ascertaining the Possibility of Obtaining a Spark Before the Circuit of the Voltaic Battery is Completed" ("Recuento de los experimentos realizados con el fin de comprobar la posibilidad de obtener una chispa antes de que el circuito de la batería se cierre")⁽¹⁵¹⁾ (véase 1839) ([34], vol. I, p. 292).

William Robert Grove (1811-1896; Gales) dicta sus conferencias en la *Royal Society of London*, Inglaterra, en un auditorio iluminado con lámparas incandescentes hechas con un alambre de platino, encerrado en un vaso de vidrio. Las lámparas resultan imprácticas, ya que se queman muy rápido debido a las bruscas fluctuaciones de la corriente. La fuente de poder es una batería formada por placas de platino y cinc, la cual produce 1.9 volts ([3], vol. 5, p. 520; [25], p. 103).

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811-1899; Alemania) emplea su pila perfeccionada (véase arriba), de 44 celdas y logra generar una luz de gran intensidad ([18], p. 46; [25], pp. 102-103; [34], vol. II, p. 588).

¹⁴⁸⁾ *Annals of Electricity*, 5, pp. 108-110 y lámina 3.

¹⁴⁹⁾ Esta idea se utilizaría después para los medidores de fotoexposición.

¹⁵⁰⁾ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 9, p. 561.

¹⁵¹⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 130.

(continúa 1840)

Cerca de Newcastle, Inglaterra, una de las vías férreas de la compañía ferroviaria *Cramlington Colliery Railway* tiene un motor de vapor estacionario para remolcar los vagones hacia arriba de una rampa. En septiembre, un operador de esta máquina nota una fuga de vapor del calentador y, pensando que la presión debe estar muy elevada, levanta el peso de la válvula de seguridad y siente «una curiosa sensación punzante en la punta de los dedos». En este momento está parado en una nube de vapor y realmente no sabe lo que pasa. Durante los días siguientes tiene la misma experiencia y lo comenta con sus compañeros; todos sienten la misma sensación y surge gran interés local por el fenómeno. William George Armstrong (1810-1900; Inglaterra) se entera del asunto y, después de comprobarlo, le escribe a Faraday una carta en la que describe el efecto. El vapor que se fuga del calentador está electrificado, pero Armstrong quiere saber cómo y dónde llega a electrificarse. Los propietarios del motor quieren saber si algo extraordinario, e incluso peligroso, está sucediendo dentro del calentador. Armstrong construye un aparato experimental consistente en dos tubos largos rectos de vidrio unidos en uno sus extremos por una llave de paso metálica. Un segundo tubo conecta uno de los primeros con el calentador y un tercer tubo se coloca en el extremo libre de los tubos. Midiendo el potencial en cada llave de paso, muestra que el vapor se electrifica sólo cuando pasa a la atmósfera: no está cargado ni en el calentador ni en los tubos (51), pp. 4-5).

Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845; Francia) observa la electrificación de un chorro de vapor que sale de los calentadores (40), p. 1326).

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra) se manifiesta contra la teoría de contacto para las pilas voltaicas (mantendrá esta posición toda su vida). Atribuye la producción de electricidad en la pila a una fuerza electromotriz que surge del contacto de sustancias heterogéneas. Ni sus experimentos, en los que da muy poca importancia a las mediciones cuantitativas (lo que contribuye a que tenga un control muy pobre sobre sus variables experimentales), ni sus argumentos, generalmente *ad hoc*, resultan convincentes. Le da mucho peso a ciertos experimentos supuestamente decisivos y desprecia las consideraciones teóricas o filosóficas. No hay evidencia de que, independientemente de Faraday, critique la irracionalidad de la fuerza de contacto a partir de consideraciones de causalidad. Su trabajo se debe analizar desde una posición muy particular. Las tesis de La Rive tienen su raíz en dos ideas de Ampère. La primera es la distinción absoluta entre la electricidad dinámica (o corriente) y la electricidad estática (o tensión); si hay un flujo de corriente, es imposible que exista una tensión y, por lo tanto, rechaza la idea de una fuerza electromotriz de la teoría de contacto. La Rive asegura incluso que no existe una fuerza electromotriz en una pila abierta, donde no fluye una corriente y sí se puede medir una tensión electrostática (Bequerel y Marlanini, dos de sus mayores críticos, proponen una teoría química modificada la cual reconoce la existencia de una fuerza electromotriz y enfatizan la necesidad de una acción química para mantener la producción continua de electricidad.) La segunda es su descripción de la corriente eléctrica como una serie de composiciones y recomposiciones de un fluido neutral, el mismo éter, a cuyas mayores o menores vibraciones se le da el nombre de luz o calor y cuyos componentes positivos o negativos se asocian a diferentes elementos químicos.

Dichos puntos de vista, que tienden al proyecto de una explicación unificada de la electricidad, la luz, el calor y la acción química, determinan no sólo su teoría sobre la pila voltaica, sino también sus estudios sobre las vibraciones de los cuerpos debidas al paso de la electricidad y sobre la luz producida por el arco eléctrico, estudios que lo llevan a desarrollar su teoría eléctrica de las auroras boreales. Sus investigaciones se basan principalmente de los trabajos de Savary y

(continúa 1842)

Becquerel, ambos seguidores, a su vez, de **Ampère** ([34], vol. VIII, p. 37; [40], p. 1000).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) **Lenz** (1804-1865; Rusia) muestra que la magnetización de los electroimanes y, en consecuencia, la potencia disponible en los motores eléctricos, depende de la cantidad de cinc disuelta en la batería. Se desvanecen así las esperanzas de obtener *trabajo gratuito* mediante las máquinas electromagnéticas (véase 1839) ([34], vol. VIII, p. 188).

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) descubre, en diciembre, que el calor generado es proporcional al producto de la resistencia del circuito por el cuadrado de la corriente en el mismo. El experimento realizado es muy simple: en un recipiente con agua, sumerge parte de un embobinado y registra los ligeros cambios en la temperatura del agua al variar tanto la intensidad de la corriente como la resistencia del circuito ([6], p. 122; [25], p. 104; [34], vol. VII, p. 181).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) publica un artículo en el que intenta determinar la relación entre la electricidad estática y la dinámica ([34], vol. VI, p. 279).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) propone, con base en el desarrollo del galvanómetro de tangente de **Pouillet** (véase 1837), que se extienda la idea de unidades absolutas (introducida al magnetismo por **Gauss**, en 1833), para incluir las mediciones galvánicas. En el volumen de este año, **Weber** define la unidad electromagnética absoluta de un galvanómetro de tangente, al determinar la cantidad de agua descompuesta por el flujo de una corriente por segundo ([25], p. 103; [34], vol. XIV, p. 206).

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) enfatiza la importancia de las unidades físicas. Las que él adopta implican aceptar la transferencia de actividad química en eléctrica, en forma commensurable. Enplea como unidad de electricidad estática la cantidad de energía necesaria para descomponer 9 g de agua y como unidad de electricidad dinámica la misma cantidad de energía mantenida por una hora. Considera que el consumo del metal en la batería eléctrica es una fuente de energía, análoga al carbón que impulsa al motor de vapor ([45], p. 375).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) publica *Allgemeine Lehrsätze in Beziehung auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung Wirkenden Anziehungs- und Abstossungs Kräfte* (Tesis generales respecto a las relaciones inversas del cuadrado de la distancia bajo las que actúan las fuerzas de atracción y repulsión), el cual surge directamente de su trabajo magnético y está ligado a su *Theoria attractionis* de 1813. Es el primer tratamiento sistemático de la teoría del potencial como un tema matemático ([34], vol. V, p. 306).

Carl Friedrich Gauss (1777-1855; Alemania) y **Wilhelm Eduard Weber** (1804-1891; Alemania) publican, como resultado de su *Magnetische Vereins* (Congregación Magnética) de 1836, el *Atlas des Erdmagnetismus* (Atlas del magnetismo terrestre) ([34], vol. V, p. 306).

(continúa 1840)

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) resume en los últimos volúmenes de los *Resultate aus den Beobachtungen des magnetische Verein* (*Resultados de las observaciones de la Congregación Magnética*), publicados entre 1836 y 1841, los resultados obtenidos de las diversas estaciones geomagnéticas y ayuda a crear mapas litográficos, en los cuales se muestra el magnetismo terrestre ([34], vol. XIV, p. 206).

En enero Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) y William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) obtienen una patente que incluye los telégrafos del tipo ABC. En este tipo de instrumentos, las letras colocadas en un disco del aparato receptor son indicadas sucesivamente mediante un mecanismo de rotación que es controlado por un aparato que envía la señal (o comunicador). Para indicar las letras, el movimiento del disco es interrumpido brevemente en el punto adecuado y la persona que recibe el mensaje debe anotar la letra señalada ([51], p. 29).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) diseña un plan para extender un cable telegráfico submarino entre Calais, Francia y Dover, Inglaterra. En este plan, incluye un diseño del propio cable y la maquinaria necesaria para fabricarlo ([25], p. 103).

Charles Thomas Jackson (1805-1888; Estados Unidos) reclama haber construido el primer modelo funcional de un telégrafo. Con esto se suscita una controversia con Morse sobre la prioridad del invento (véase 1832), ([40], p. 864; [34], vol. VII, p. 45).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) describe¹⁵²⁾ un telégrafo electromagnético, en el que utiliza seis alambres y seis teclas y genera una indicación visual de las letras y números ([25], p. 103).

Sammel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 1,647) por su relé (véase 1837). El dispositivo es similar al de E. Davy de 1838 ([52], p. 46).

John Frederic Daniell (1790-1845; Inglaterra) tiene gran responsabilidad en las secciones sobre meteorología del informe asociado de la *Royal Society of London* de este año, respecto al establecimiento y equipamiento de los observatorios meteorológicos y magnéticos en los dominios británicos ([34], vol. III, p. 557).

Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) publica *Essai sur les phénomènes électriques des animaux* (*Ensayo sobre los fenómenos eléctricos de los animales*) ([34], vol. IV, p. 200).

Robert Stirling Newall (1812-1889; Escocia) inventa y patenta diferentes cuerdas de alambre ([40], p. 1249).

George Richard Elkington (1801-1865; Inglaterra) y Henry Elkington (1810-1852; Inglaterra) reciben una patente británica (No. 8,447) por el proceso de platear metales bases con plata y oro mediante la electrodeposición. Proponen

¹⁵²⁾ *Annals of Electricity*.

(continúa 1840)

el uso de electrolitos disueltos en plata y oro, u otros óxidos, en una solución de potasio o cianuro de sodio. Los artículos a ser recubiertos, limpios de grasa y óxido, se sumergen en la solución, se aplica una corriente a través de una barra de cinc metálico u otro metal electropositivo inmerso en un fluido o electrolito separado de la plata o el oro con un diafragma poroso (se añade óxido de plata de vez en cuando para mantener la concentración de la plata. Los hermanos **Elkington** sugieren que el cobre, el latón y la palta alemana son los mejores metales para ser plateados ([17], vol. V, p. 633).

Los procesos de electroplateado comienzan a crear una demanda creciente de generadores de corriente eléctrica directa cuya salida sea más alta que la de las baterías químicas ordinarias. Ello provoca un incentivo significativo para los inventores, quienes no lo han encontrado en el desarrollo del telégrafo ([62], p. 125).

ca. 1841

David Brewster (1781-1868; Escocia) construye un electroimán ([6], p. 213; [40], p. 239).

William Fardely (1810-1869; Inglaterra-Alemania), en Londres, Inglaterra, tiene la oportunidad de observar el telégrafo de **Cooke y Wheatstone** ([40], p. 546).

1841

Se publica¹⁵³⁾ una traducción al inglés de la obra de Georg Simon **Ohm** (1789-1854; Baviera), *Die Galvanische Kette, Mathematisch Bearbeitet* (La cadena galvánica, transcripción matemática) de 1827, en la cual estableció la ley que relaciona la corriente, la fuerza electromotriz y la resistencia de un circuito, llamada *ley de Ohm* ([51], p. 69).

David Brewster (1781-1868; Escocia) publica *Treatise on Magnetism* (Tratado sobre magnetismo) ([6], p. 213; [40], p. 239).

Charles De Haldat du Lys (1770-1852; Francia) publica *Recherches sur la cause du magnétisme par rotation* (Investigación sobre la causa del magnetismo por rotación) ([40], p. 432).

Antoine-Philibert Masson (1806-1860; Francia) y **Louis-François-Clement Bréguet** (1804-1883; Francia) desarrollan una bobina de inducción de alta tensión, del tipo de las de **Rühmkorff** ([34], vol. IX, p. 166).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) inventa el electrodinamómetro de torsión. Consiste en una bobina vertical fija, dentro de la cual está pivotada o suspendida una segunda bobina que puede girar contra una fuerza de control producida por un alambre bifilar o un resorte espiral. El par de torsión se mide sobre una escala de ángulos balanceando la fuerza electromagnética entre la bobina fija y la oscilatoria. El dinamómetro puede utilizarse para medir tanto corriente alterna como directa, así como energía ([18], pp. 295-297). El dispositivo sería utilizado más tarde en la manufactura de un wattímetro mejorado ([25], p. 104).

Por otro lado **Weber**, en sus artículos publicados entre 1836 y 1841 para *Resultate aus den Beobachtungen des magnetische Verein* (Resultados de las observaciones de la Congregación Magnética), se ha referido, entre otros

¹⁵³⁾ Taylor's Scientific Memoirs, 2.

(continúa 1841)

asuntos, a la construcción de instrumentos galvanomagnéticos, incluido un disco de un magnetómetro portátil. Algunos de estos instrumentos operan con base en la inducción electromagnética. Por ello estudia la dependencia de la magnetización con la temperatura e inspira a otros investigadores para que experimenten sobre la inducción unipolar ([34], vol. XIV, p. 205).

Johann Christian Poggendorf (1796-1877; Alemania) desarrolla un potenciómetro. Calibra la caída estática de potencial a lo largo de un alambre conectado a una pila voltaica estándar, y hace pasar por él una corriente controlada. Obtiene así un estándar de fuerza electromotriz (fem) en términos de las dimensiones del alambre ([18], p. 299).

El gran problema que tienen resolver los diseñadores de motores electromagnéticos es el de obtener un recorrido de salida (*output stroke*) útil a partir de la fuente el cual proporcione una gran potencia a lo largo de una distancia corta. Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) trata de resolver el problema haciendo que el recorrido de trabajo (*working stroke*) sea varias veces mayor que la distancia entre la armadura y el electroimán. Logra su propósito al hacer que la armadura se mueva con un ángulo respecto a la línea de la fuerza magnética de atracción. Wheatstone describe dos máquinas que utilizan esta construcción en una especificación de patente británica (no. 9,022) (véase 1842) ([51], p. 53).

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) envía un trabajo a la *Royal Society of London*, Inglaterra, en el que describe los resultados sobre la relación entre calor producido e intensidad de la corriente eléctrica y resistencia. Analiza además cuantitativamente los límites impuestos por el efecto de contrainducción, descubierto por Jacobi en 1839, señala que el efecto mecánico de la corriente siempre es proporcional al gasto necesario para producirla y que la eficiencia de las máquinas electromagnéticas es mucho menor a las máquinas de vapor. Presenta también sus resultados en una conferencia pública en la *Victoria Gallery*, en Manchester ([6], p. 122; [25], p. 104; [34], vol. VII, p. 181).

Frederick de Moleyns recibe la primera patente expedida por el gobierno británico para una lámpara incandescente (véase 1840) ([25], p. 103).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) construye un telégrafo impresor del tipo ABC (véase 1840). El receptor tiene una rueda de tipos¹⁵⁴⁾ de 24 brazos, en cuyos extremos están los tipos de impresión. El mecanismo del ABC hace girar la rueda hasta que la letra deseada se encuentra en la posición adecuada; un circuito separado hace golpear el tipo en el papel (a través de un pedazo de papel carbón) colocado en un tambor que avanza automáticamente después de cada golpe. Este es un dispositivo ingenioso que realmente funciona, aun cuando nunca llegaría al estado comercial ([51], p. 30).

Christopher Hansteen (1784-1873; Noruega) funda un observatorio magnético en Noruega ([34], vol. VI, p. 107).

Alexander Parkes (1813-1890; Inglaterra) recibe la primera patente para el proceso de electrodeposición para obras de arte ([40], p. 1309).

¹⁵⁴⁾ De las que en la actualidad se conocen como margaritas.

(continúa 1841)

En el invierno, la *Royal Scottish Society of Arts*, de Escocia, otorga ayuda financiera a Davidson para continuar sus experimentos (véanse Forbes, 1840 y Davidson, 1842) ([51], p. 48).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) publica *Electrotype Manipulation* (*Manipulación electrotípica*) ([40], p. 1749).

Georg Simon Ohm (1789-1854; Baviera) recibe la Medalla Copley de la *Royal Society of London*, en un reconocimiento del gobierno de Inglaterra a su trabajo. En este premio, se refieren a la ley de Ohm como el descubrimiento más llamativo en el campo de la investigación exacta ([25], p. 103).

1841-45

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra) edita *Archives de l'Électricité* (*Archivos de la electricidad*), en cinco volúmenes ([40], p. 1000).

1842

Julius Robert Mayer (1814-1878; Alemania) publica "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur" ("Nota sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada")¹⁵⁵, en el que elabora las bases conceptuales de su teoría, examinando, según él, el significado preciso del término fuerza. Mayer establece que las fuerzas son causas primeras; por lo tanto, la ley *causa aequat effectum* nos asegura que la fuerza es cuantitativamente indestructible. Al igual que la materia, las fuerzas son objetos capaces de asumir diferentes formas y que son indestructibles. Las fuerzas difieren de la materia sólo porque son imponderables. Mayer argumenta que la entidad fuerza en su sentido newtoniano está ilógica y engañosamente denominado y que debe introducirse un nuevo término para ésta. La palabra fuerza debería reservarse para la entidad sustancial y cuantitativa conservada en las conversiones. Los físicos adoptarían el término *energia* para describir el concepto de fuerza de Mayer. Luego de un análisis de la conversión de movimiento en diferentes tipos de fuerzas o en calor, concluye que en la naturaleza debe existir un valor numérico constante que exprese el equivalente mecánico del calor; establece que éste es 365 kilogrametros por kilocaloría; esto es, la fuerza de caída (*Falkraft*) que experimenta una masa de un kilogramo elevada a 365 metros de altura es igual a la fuerza de calor (*Wärmekraft*) requerida para elevar un grado centígrado la temperatura de un kilogramo de agua (véase 1845) ([34], vol. IX, p. 236).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia) establece con mayor precisión (e independientemente de Joule) la ley de la acción térmica de una corriente eléctrica, observando que la cantidad de calor obtenido está limitada por los procesos químicos de la batería ([34], vol. VIII, p. 188).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos), a partir de los experimentos realizados con una botella de Leyden, descubre el carácter oscilatorio de las descargas eléctricas¹⁵⁶. Por otro lado, descubre que unas agujas localizadas en el sótano del edificio donde trabaja, se magnetizan como resultado de los experimentos eléctricos realizados en el segundo piso. Se da cuenta de que este fenómeno es una radiación similar a la luz y escribe «[...] es casi comparable a la de una chispa que sale del hierro y una piedra, en el caso de la luz.» ([1], [25], p. 104; [34], vol. VI, p. 279).

¹⁵⁵) *Annalen der Chemie* de Liebig.

(continúa 1842)

El 1 de agosto, John Stephen Woolrich (Reino Unido), químico de Birmingham, Inglaterra, recibe una patente británica (no. 9,431) por el empleo de una máquina magnetoeléctrica de su invención en los procesos de electroplateado, en el que la solución activa es el sulfuro doble soluble de plata y potasio (véanse Beaumont, arriba y Woolrich, 1844) (*/17/*, vol. 1, p. 633, */51/*, p. 77).

Elias construye un motor eléctrico con dos anillos concéntricos de hierro enrollado, el exterior fijo y el interior giratorio. Cada devanado está dividido en seis secciones; las secciones alternas están conectadas en dirección inversa y dos puntos diametralmente opuestos del anillo giratorio están conectados a las barras alternas de un conmutador de seis barras (*/18/*, p. 179).

William Robert Grove (1811-1896; Gales), en experimentos con su pila de gas de 1838, logra generar una poderosa corriente al utilizar hidrógeno y cloro. Observa que la energía eléctrica es resultado de la energía química liberada cuando se combinan los gases y podría usarse para descomponer agua. En su artículo "On a Gaseous Voltaic Battery" ("Sobre una batería voltaica gaseosa")¹⁵⁷⁾ escribe: «Esta batería establece que cuando los gases se combinan y toman forma líquida, desarrollan una fuerza suficiente para descomponer un líquido y provocar que éste tome forma gaseosa. Lo cual [...] exhibe una bella instancia de la correlación de las fuerzas naturales.» (*/34/*, vol. 1, p. 560).

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811-1899; Alemania) fabrica cilindros huecos de carbón moldeado para sus pilas de ácido nítrico (véase 1840). Moldea hulla seca pulverizada y aglomerada con engrudo y la cuece. De esta forma obtiene un cilindro de carbón agrietado y poco sólido. Para soldarlo lo remoja en un jarabe de azúcar que llena las grietas y lo cuece nuevamente; así, el azúcar destilada tapa los poros y deja un carbón puro y compacto (*/56/*, pp. 173-174).

En septiembre, Robert Davidson (Escocia) experimenta con un vagón eléctrico sobre las vías de la compañía *Edinburgh and Glasgow Railway*, de Escocia; el carro de cuatro ruedas mide 4.9 m de largo y pesa unas 5 t. Los motores consisten en cilindros de madera en cada eje y tienen tiras de hierro fijas en unos canales practicados sobre la superficie cilíndrica. Imanes permanentes en forma de herradura son energizados de manera alternada mediante conmutadores simples localizados en los ejes. Las baterías, colocadas en los extremos posterior y anterior del carro, tienen un total de 40 celdas, cada una formada por una placa de cinc entre dos de hierro de unos 30 cm². Las placas se pueden sacar fuera de las canaletas que contienen el electrolito mediante un arreglo simple de manivelas. Se demuestra que las baterías son insuficientes, por lo que se tienen que añadir más, prácticamente doblando la potencia, y así el coche alcanza una velocidad de 6.4 km/h. Sin embargo, una característica negativa de este tipo de construcción es que el núcleo de los electroimanes es hueco; la parte central de los núcleos consiste en cuatro placas de hierro que forman una caja. De acuerdo con registros de esta época, este tipo de construcción se adopta para hacer menos pesado el aparato. Davidson no se da cuenta de que la sección recta total del hierro es un aspecto muy importante (*/51/*, p. 48).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) construye tres motores electromagnéticos excéntricos (dos de los cuales fueron descritos en una

¹⁵⁶⁾ La demostración matemática de este hecho la daría W. Thomson, en 1853.

¹⁵⁷⁾ *Philosophical Magazine*, 21.

(continúa 1842)

especificación de patente en 1841), basados en su idea de que la armadura se mueva con cierta inclinación respecto a la línea de la fuerza magnética de atracción. De los tres diseños, el primero es, según el propio **Wheatstone**, el menos útil, pero el que mejor explica el principio de operación. Tiene ocho electroimanes en forma de herradura sostenidos dentro de un anillo de bronce de 25 cm de diámetro. La armadura es un anillo de hierro dulce de 12.5 cm de diámetro montada en una manivela con recorrido de 1 cm. Un conmutador estático de ocho partes está fijo a una chumacera en el eje principal y una única leva gira con la flecha. Cada uno de los ocho segmentos del conmutador está conectado a uno de los imanes de herradura; un polo de la fuente se conecta al terminal común de todos los electroimanes y el otro se conecta a la leva a través de las chumaceras y del marco. El arreglo es tal que cuando la armadura está lo más cercana a uno de los imanes de herradura el conmutador conecta el siguiente imán en secuencia para que la armadura se mueva a lo largo de la superficie interior de los imanes, haciendo girar el cigüeñal. El segundo diseño tiene dos imanes de herradura fijos inclinados 45° uno respecto al otro. El rotor es un disco de madera de unos 12 cm de diámetro, que sostiene cuatro arcos de hierro dulce no concéntricos con el eje. La máquina tiene un conmutador de ocho partes en la flecha, similar al conmutador del primer diseño, pero los segmentos alternos se conectan juntos y a un electroimán de tal forma que cada cuarto sucesivo de revolución, primero un imán, y luego el otro, actúa sobre uno de los cuatro arcos. Este motor no está descrito en la especificación de patente. Al tercer diseño, **Wheatstone** lo nombra «máquina de disco excéntrico». La armadura es un disco de hierro dulce fijo en un eje inclinado respecto al eje principal del motor. Uno de los extremos del eje inclinado se monta sobre un pivote en la línea central de la máquina y el otro extremo se pivotea en el cigüeñal sobre el eje principal. El disco puede girar libremente. Se colocan cuatro electroimanes de herradura en el borde del disco sobre una de sus caras. Conforme cada electroimán es energizado, mediante el conmutador de cuatro partes sobre la flecha principal, el disco realiza movimientos oscilantes y el eje inclinado describe la superficie de un cono, provocando que el cigüeñal y el eje principal giren. Es probable que **Wheatstone** desarrolle este último diseño con la intención de construir una máquina eléctrica análoga a los motores de vapor, cuyo principio de operación no se ha investigado desde el punto de vista eléctrico¹⁵⁸⁾ ([51], pp. 53-54, 57).

Muchos de los primeros motores electromagnéticos están basados conscientemente en diseños de motores de vapor ([51], pp. 55 y 57).

William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) obtiene permiso para extender el telégrafo sobre las vías férreas de la *Great Western Railway* (véase 1838) hasta Slough, Inglaterra, pero usando instrumentos más simples y con sólo dos agujas ([51], p. 30).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) investiga la transmisión de una corriente eléctrica a través de un cable submarino, aislado con cáñamo, brea y alquitrán, recubierto con caucho. El cable se tiende entre Governors Island y Castle Garden, en Nueva York, Estados Unidos.

Por otro lado, **Morse** muestra que las comunicaciones se podrían llevar a cabo con corrientes terrestres. Esto provoca que muchos empiecen a realizar diversos experimentos para comunicarse entre dos estaciones, usando dos varas aterrizadas en cada estación ([16], p. 60; [25], p. 104; [38], vol. 19, pp. 483-484).

¹⁵⁸⁾ En 1830, E. **Dakeyne** y J. **Dakeyne** patentaron un motor de vapor que tiene un cilindro en forma de barril y, en lugar de pistón, un disco fijo a una esfera y a una junta esférica en el centro del barril; el disco realiza movimientos oscilantes y provoca que el cigüeñal gire. El motor de disco sería desarrollado después por muchas otras personas.

(continúa 1842)

Johann von Lamont (1805-1879; Escocia) trata de organizar una red de mediciones meteorológicas en el observatorio astronómico de Bogenhausen, cerca de Munich, Alemania, pero por falta de apoyo económico no lo logra ([34], vol. VII, p. 608).

Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) demuestra la existencia de una corriente muscular, a la cual llama *corriente de demarcación*, o de *herida*, entre la superficie (a la que se le ha practicado una incisión) y la sección transversal del músculo de un anca de rana. Es el primero en observar la desviación en un galvanómetro cuando un músculo se contrae en estricnina tetánica¹⁵⁹⁾.

En una demostración experimental ante la *Académie française des sciences*, de París, Francia, en presencia de Humboldt y otros científicos, Matteucci muestra que cuando el nervio ciático de un anca de rana galvanoscópica se coloca sobre el músculo del anca de otra rana, la contracción de éste último, induce una contracción del músculo de la primera rana.

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) repite y confirma los resultados, y explica que el nervio del anca galvanoscópica es estimulado por las corrientes eléctricas de acción del músculo en contracción de la segunda rana. Matteucci acepta la interpretación de Becquerel, pero no ve la relación entre su descubrimiento y el fenómeno de la fluctuación negativa¹⁶⁰⁾ ([34], vol. IV, p. 201 y vol. IX, p. 177).

William George Armstrong (1810-1900; Inglaterra) continúa sus experimentos de 1840. Construye un calentador de acero de cerca de un metro de largo colocado sobre un soporte de vidrio. Encuentra que el vapor que sale del calentador a través de una boquilla de madera dura está electrificado con carga positiva ([51], p. 5).

William Sturgeon (1783-1850; Inglaterra) publica *Lectures on Electricity Delivered in the Royal Victorian Gallery, Manchester* (Lecciones sobre electricidad, dictadas en la Galería Real Victoriana, Manchester) ([34], vol. XIII, p. 126).

Henry Beaumont, empleado de los hermanos Elkington recibe una patente que cubre unas 430 sales de plata que podrían ser empleadas en los procesos de electroplateado (véanse hermanos Elkington, 1840) ([17], vol. V, p. 633).

1842-44

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) publica *Éléments d'électrochimie appliquée aux sciences naturelles et aux arts* (Elementos de electroquímica aplicados a las ciencias naturales y a las artes) ([34], vol. I, p. 557).

Johann von Lamont (1805-1879; Escocia) publica *Annalen für Meteorologie und Erdmagnetismus* (Anales de meteorología y magnetismo terrestre). Al principio, Lamont realiza sus mediciones con instrumentos manuales y posteriormente empieza a inventar dispositivos automáticos. Estos trabajos atraen la atención de J. F. W. Herschel, Gauss y Arago. También estudia el fenómeno de la electricidad atmosférica ([34], vol. VII, p. 608).

¹⁵⁹⁾ En inglés *strychnine tetanus*.

¹⁶⁰⁾ Esta relación la reportaría Müller, en su *Handbuch der Physiologie des Menschen* de 1844 y Du Bois-Reymond en 1849.

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843 - 1897)

AÑO

ACONTECIMIENTO

REACTIVACIÓN
(1843-1857)

1843

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra), para quien la electricidad voltaica es un agente para transportar, arreglar y convertir el calor químico, se propone averiguar la naturaleza del calor. Encierra la armadura giratoria de una máquina electromagnética en un recipiente cilíndrico, lleno con una cantidad conocida de agua, y hace girar todo el aparato entre los polos de un electroimán fijo durante un tiempo determinado; después mide los cambios en la temperatura del agua. El calor así producido sólo puede tener un origen dinámico. Más aún, estudiando los efectos del calentamiento debidos a la corriente inducida (a la cual se le añade una voltaica) y mediante una rigurosa argumentación, establece el equivalente estricto entre el calor producido en una bobina giratoria y el trabajo mecánico realizado en la operación, es decir, el *equivalente mecánico del calor* ([1]; [6], p. 122, [34], vol. VII, pp. 181-182). Publica "On the Calorific Effects of Magneto Electricity and on the Mechanical Value of Heat" ("Sobre los efectos caloríficos de la magnetoelectricidad y sobre el valor mecánico del calor"). La unidad de calor que emplea es la cantidad necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit; la unidad de trabajo es la fuerza requerida para elevar una libra de peso a una altura de un pie ([45], p. 376).

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) muestra que la ley de Joule, la cual gobierna la producción de calor al paso de una corriente eléctrica, se aplica tanto a los líquidos como a los sólidos ([34], vol. I, p. 555).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) publica su primer artículo importante, titulado "On the Uniform Motion of Heat in Homogeneous Solid Bodies, and its Connection With the Mathematical Theory of Electricity" ("Sobre el movimiento uniforme del calor en cuerpos sólido homogéneos, y su conexión con la teoría matemática de la electricidad")¹⁾. Trata de encontrar un método para determinar la temperatura en un sólido conductor del calor fuera de una superficie isoterma cerrada, inscrita dentro del sólido. Al intentarlo, Thomson da cuerpo a una relación formal entre la teoría de la transferencia del calor, por un lado, y la clase general de teorías de la atracción, por el otro, en particular los efectos ejercidos por el fluido eléctrico. Encuentra que la fuerza de Coulomb ejercida por el fluido eléctrico en un estado de equilibrio sobre la superficie de un cuerpo conductor, dentro del cual no existe ningún fluido, es matemáticamente paralela al flujo de calor producido por fuentes termales distribuidas, en lugar del fluido eléctrico, sobre la superficie del conductor. Esta relación establece una conexión puramente matemática, no física ([34], vol. XIII, p. 374).

¹⁾ Cambridge Mathematical Journal, 3.

(continúa 1843)

John William **Draper** (1811-1882; Inglaterra) publica una demostración de la ley postulada por **Lenz** sobre la acción de la electricidad en alambres muy largos ([31]).

William **Sturgeon** (1783-1850; Inglaterra) publica *Twelve Elementary Lectures on Galvanism* (Doce lecciones elementales sobre galvanismo) y edita *Magnetical Advertisements*, de W. **Barlow**, escrito en 1616 ([34], vol. XIII, p. 126).

Samuel Finley Breese **Morse** (1791-1872; Estados Unidos) perfecciona la pila de **Grove**, con el fin de probar la ley postulada por **Lenz**, sobre la acción de la electricidad galvánica en alambres muy largos ([30]).

William Robert **Grove** (1811-1896; Gales) publica "On the Gas Voltaic Battery" ("Sobre la batería voltaica a gas")²⁾ ([34], vol. V, p. 560).

Johann Christian **Poggendorf** (1796-1877; Alemania) construye una balanza eléctrica (para el estudio de los fenómenos de polarización) ([34], vol. XI, p. 50; [40], p. 1357).

Arthur-Auguste de **La Rive** (1801-1873; Ginebra) diseña un condensador electroquímico ([40], p. 1000).

Emil **Stöhrer** (Alemania), trabajando en Leipzig, introduce la idea multipolar en el diseño de los electroimanes, intentando reducir la vibración de los generadores electromagnéticos. Construye uno de seis polos, en el que coloca tres imanes de herradura con sus polos más altos formando un círculo. Sobre ellos gira un marco con seis bobinas y un conmutador. Aun cuando su máquina es más confiable comercialmente, todavía es de operación manual ([17], vol. V, p. 181; [18], p. 103).

William George **Armstrong** (1810-1900; Inglaterra) construye una máquina hidroeléctrica más grande (véase 1842) en el *London Polytechnic Institute*, Inglaterra. Tiene 46 chorros de vapor separados y produce chispas de 56 cm de largo. Alcanza un alto voltaje. Pronto se construirían generadores magnetoelectrónicos de alto voltaje, por lo que es dudoso que alguna vez se haya utilizado la máquina de **Armstrong** ([51], p. 5).

David **Mackie** publica "Prospects of Electro-Magnetism as a Prime Mover, with a Notice of Mr. Robert Davidson's Electro-Magnetic Locomotive, lately tried on the Edinburgh and Glasgow Railway" ("Prospectos del electromagnetismo como motor principal, con una nota sobre la locomotora del Sr. Robert Davidson, recientemente probada en el tren de Edimburgo y Glasgow")³⁾ ([51], p. 60).

Gran parte de los primeros conocimientos científicos en el campo de los circuitos eléctricos surgirían del estudio de la operación de los telégrafos. Los pioneros del telégrafo se interesan en áreas prácticas como el aislamiento de los alambres y su instalación. A partir de las necesidades de los sistemas telegráficos se crearía la industria manufacturera de cables, bobinas, electroimanes,

²⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 133.

³⁾ *Practical Mechanic*, 2.

(continúa 1843)

instrumentos y mecanismos eléctricos. Dichos conocimientos y experiencia serían de gran utilidad para la el desarrollo de la iluminación eléctrica (151), p. 39).

Louis J. Deleuil ilumina la Plaza de la Concordia de París, Francia, con 200 celdas de Bunsen (véase Bunsen, 1840). Produce una descarga entre electrodos de carbón vegetal colocados dentro de un cilindro al vacío. Sin embargo, su sistema de iluminación por arco eléctrico resulta insatisfactorio debido a los constantes reajustes que deben hacerse para obtener una salida homogénea de luz (125), p. 103).

Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868; Francia) desarrolla un regulador para la lámpara de arco. Ello hace posible que los microscopios cuenten con un sistema de iluminación eléctrica en lugar de la tradicional iluminación a gas (134), vol. V, p. 87).

John Peter Gassiot (1797-1877; Inglaterra) continúa sus experimentos de 1840 y consigue producir chispas eléctricas en un espacio de 0.06 cm de aire, empleando una batería de 3,250 celdas de cobre y cinc. Atribuye este efecto al gran cuidado que pone para aislar las celdas individuales, con la finalidad de prevenir la pérdida de la tensión eléctrica. Publica sus resultados en "A Description of an Extensive Series of the Water Battery" ("Descripción de una serie extensiva de la batería a agua")⁴⁾. En él, Gassiot argumenta en favor de la hipótesis de que la electricidad voltaica se produce por la acción química, más que por el contacto entre metales diferentes⁵⁾ (134), vol. I, p. 292).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) publica "An Account of Several New Instruments and Processes for Determining Constants of a Voltaic Circuit" ("Recuento de diversos instrumentos y procesos nuevos para determinar las constantes de un circuito voltaico")⁶⁾ (trabajo sobre mediciones eléctricas y de fácil lectura). Es el primer intento de investigación comprehensiva sobre el tema de los circuitos eléctricos. Encuentra la solución a los problemas que surgen al tratar de medir la fuerza electromotriz, la intensidad de la corriente eléctrica y su resistencia, mismos que han sido atribuidos a que los galvanómetros son instrumentos inestables y a que no existe un método para calibrarlos. Al descubrir el artículo de Ohm de 1827 (trabajo poco fácil de entender y en lengua alemana) y realizar diversos experimentos, Wheatstone desarrolla un método de medición en el que emplea una resistencia variable calibrada para mantener constante la corriente y así evitar la necesidad de calibrar el galvanómetro. Señala que es fácil construir tal resistencia, a la que nombra *reóstato*, ya que Ohm demostró en su trabajo que la resistencia de un conductor de sección uniforme es proporcional a la longitud de éste. Wheatstone muestra cómo calcular el valor desconocido de una resistencia mediante un método de sustitución simple. La resistencia desconocida se inserta en un circuito conectado a un galvanómetro, cuya lectura se registra, y luego es reemplazada por un reóstato ajustado de tal forma que la lectura del galvanómetro sea la misma que la anterior; la escala del reóstato da su resistencia y de aquí el valor desconocido de la resistencia. Wheatstone señala que el reóstato también podría ser usado para controlar al velocidad de un motor, o para mantenerla constante cuando la batería sea variable. Describe, además, algunas consideraciones de la relación que existe entre la potencia obtenida de un motor y el consumo de materiales en la batería. Demuestra experimentalmente la ley de Ohm, lo cual ayuda a que los

⁴⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 134 (1844).

⁵⁾ Punto de vista que Faraday adoptara hacia 1839.

⁶⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 133, pp. 303-327.

(continúa 1841)

científicos británicos se familiaricen con ella. Da a conocer además el dispositivo diferencial de Christie de 1833 y las mejoras que él mismo le hace. Por ello, a este instrumento se le llegaría a conocer como el *punto de Wheatstone*, aun cuando el propio Wheatstone lo llama Medidor (o Analizador) Diferencial de Resistencia. Dicho dispositivo resulta ser un desarrollo instrumental de gran importancia, ya que hace posible la comparación muy precisa de cantidades eléctricas ([3], vol. 12, p. 618; [16], pp. 80 y 301; [18], pp. 298-99; [25], p. 105; [34], vol. XVI, p. 290; [51], pp. 39 y 50; [52], pp. 48-49).

Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos), después de intentar durante más de cinco años conseguir financiamiento para su sistema telegráfico, el Congreso de Estados Unidos le garantiza 30.000 dólares para la construcción de la primera línea telegráfica, que sería establecida a lo largo de las vías de ferrocarril entre Washington, D.C., y Baltimore ([1], [25], p. 105; [34], vol. 19, p. 484; [51], p. 34).

Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos) se convierte en asistente en jefe de Morse, después de que este último recibe el financiamiento del Congreso de Estados Unidos para el desarrollo de la primera línea telegráfica de ese país (véase arriba) ([40], p. 1704).

William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) obtiene permiso para extender el telégrafo sobre las vías férreas de la *Great Western Railway* (véase 1842) hasta Windsor, Inglaterra ([51], p. 30).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) demuestra un telégrafo que opera entre Camdentown y Euston Station, en el sur de Inglaterra ([34], vol. XVI, p. 290).

Realiza además experimentos sobre telegrafía subacuática en el Támesis, Londres, Inglaterra, entre el *King's College* en la ribera norte y un edificio en el lado sur (véase 1844) ([51], p. 32).

Samuel Colt (1814-1862; Estados Unidos) construye un telégrafo subacuático ([40], p. 359).

Alexander Bain (1810-1877; Escocia) diseña el primer telégrafo facsimilar. Es probablemente el primer sistema para la transmisión de imágenes por un alambre. Aun cuando a veces se le considera como *Padre del facsimilar*, su dispositivo resulta impráctico dada la gran cantidad de cables que se requieren para su funcionamiento. Las imágenes se reciben en un papel tratado químicamente (véanse Kirwan, 1784 y R. S. Smith más adelante) ([25], p. 104).

R. S. Smith experimenta con un sistema telegráfico que registra la señal recibida con una pluma eléctrica escribiendo sobre un papel químicamente tratado. Realiza una demostración en la que el sistema se opera aproximadamente con un kilómetro de alambres (véase Bain, arriba) ([25], p. 105).

Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896; Alemania), fuertemente impresionado por el trabajo de Matteucci de 1840 y alentado por su tutor, Müller, lleva varios meses realizando investigaciones sobre los peces eléctricos.

(Continúa 1843)

En enero, **Du Bois-Reymond** publica "Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den sogenannten Froschstrom und über die electrischen Fische" ("Compendio preliminar de una revisión sobre el llamado río de ranas y sobre los peces eléctricos")⁷⁾. En febrero recibe su grado con un artículo histórico-literario sobre los peces eléctricos.

Además de estas investigaciones, estudia la producción de electricidad en los tejidos nerviosos y musculares de los seres vivos. Primero describe (incorrectamente) una corriente autógena que va de la superficie intacta del músculo al tendón y luego (correctamente) la *corriente de herida* (véase a **Matteucci**, 1842) entre la superficie y la sección transversal del músculo. Para esto último, utiliza un multiplicador, diseñado por él mismo, que tiene casi el doble de vueltas de alambre que los multiplicadores ordinarios. Encuentra esta corriente aún en las partes más pequeñas del músculo y la rastrea hasta las fibras individuales; descubriendo que el interior de estas fibras es negativo respecto a la superficie de las mismas (*f34*, vol. II, p. 200 y 202).

William Fardely (1810-1869; Inglaterra-Alemania) publica *Die Galvanoplastik (La galvanoplastia)* (*f40*, p. 546).

La empresa de los hermanos **George Richard Elkington** (1801-1865; Inglaterra) y **Henry Elkington** (1810-1852; Inglaterra) obtiene una licencia para explotar las ideas de **Woolrich** sobre el empleo de una máquina magnetoelectrica de este último aplicada al electroplateado (véase **Woolrich**, 1842) (*f18*, p. 104; *f51*, p. 77).

El Dr. **Montgomerie** exhibe en la *Royal Society of Arts* de Londres, Inglaterra, una goma de un árbol malayo llamada gutapercha. Sus propiedades eléctricas y mecánicas, especialmente cuando está sumergida en agua de mar, harían de él el material aislante más usado por más de 70 años en los cables telegráficos submarinos (*f52*, p. 50).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) es secretario de la *London Electric Society* (*f40*, p. 1749).

1843-46

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) toma los cursos del seminario de **F. E. Neumann y Jacobi** (*f34*, vol. X, p. 29).

1843-49

Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896; Alemania) continúa sus investigaciones sobre la producción de electricidad en los músculos y nervios. Publica *Untersuchungen über die Thierische Elektricität*. Encuentra que el músculo contraído presenta un cambio, la llamada fluctuación negativa, de la corriente de herida; ocurre en cada contracción, pero durante un ataque de tétanos (el cual es la suma de muchas contracciones individuales) llega a ser más clara. Confirma la corriente inducida y la identifica correctamente como una contracción secundaria, causada por el estímulo de una corriente eléctrica de un músculo en contracción de una preparación nervomuscular, provocada sobre el nervio de una segunda preparación.

Dada la gran sensibilidad de su multiplicador (al cual le ha aumentado el número de vueltas de alambre), logra mostrar la corriente de herida también en el nervio y demuestra la fluctuación negativa en la fibras tetanizadas, con lo cual prueba la naturaleza eléctrica del *Nerveprinzip*.

⁷⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 58

(continúa 1843-49)

Du Bois-Reymond cree que las fibras del músculo están constituidas por numerosas moléculas electromotrices peripolares, cada una con una zona ecuatorial positiva y dos zonas polares negativas; además, los tendones están formados por moléculas paraelectrónicas neutras. Descubre que la polarización ocurre en los puntos de entrada y salida durante el flujo de corriente directa a través del nervio.

Por otro lado, construye un dispositivo que tiene una segunda bobina que puede deslizarse. Esto hace posible graduar y calibrar la intensidad del primero y del último choque eléctrico de inducción. El aparato es predecesor de muchos instrumentos usados en aplicaciones médicas (*[34]*, vol. IV, p. 202).

1844

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) publica "Speculation Touching Electrical Conduction and the Nature of Matter" ("Especulación respecto a la conducción eléctrica y la naturaleza de la materia"), en el que propone que los átomos de **Boskovic** son compatibles con la conducción y no conducción de electricidad, observada en los cuerpos materiales (*[34]*, vol. IV, p. 537).

Publica además el segundo volumen de *Experimental Researches in Electricity* (*Investigaciones experimentales en electricidad*) (véase 1839 y 1855) (*[40]*, p. 545).

Robert Hare (1781-1858; Estados Unidos) publica "On a Recent 'Speculation' by Faraday" ("Sobre la reciente 'Especulación' de Faraday")⁸⁾ (véase arriba), en donde critica las ideas de **Faraday** y plantea sus propias teorías materiales sobre el calor y la electricidad (*[32]*).

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) rectifica la ley de **Faraday** sobre la descomposición electroquímica, para incluir varios fenómenos que no se han tomado en cuenta (*[34]*, vol. I, p. 555).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia) deduce la ley de bifurcación de la corriente en un sistema de elementos conectados en paralelo, con fuerzas electromotrices y resistencias arbitrarias⁹⁾ (*[34]*, vol. I/III, p. 188).

James Napier obtiene una patente para el primer horno eléctrico (*[25]*, p. 105).

Paul-Gustave Froment (1815-1865; Francia) construye motores eléctricos con «ruedas de paletas». Estas son barras de hierro dulce que pasan por electroimanes en forma de herradura. Los imanes se energizan a través de un conmutador regulado para atraer las barras conforme se aproximan y para desconectarlos mientras las barras se retiran¹⁰⁾. **Froment** es uno de los primeros en utilizar los motores eléctricos para propósitos industriales (*[40]*, p. 614).

John Stephen Woolrich (Reino Unido) consigue producir una corriente eléctrica continua, unidireccional -diferente de una intermitente-, empleando más bobinas que imanes en una máquina magnetoelectrónica y tomando la corriente sólo de las bobinas activas al momento del contacto. La máquina se monta sobre un marco de roble que sostiene cuatro imanes de herradura; la

⁸⁾ *American Journal of Science*, 48.

⁹⁾ Cuatro años antes de la publicación de la ley más general de Kirchhoff.

¹⁰⁾ Su diseño es precursor del motor sincrónico simple usado actualmente en los relojes eléctricos.

(continúa 1844)

armadura consta de ocho bobinas que giran entre los polos de los imanes⁽¹¹⁾. Máquinas como ésta se introducen en Birmingham, Inglaterra, en procesos de electroplateado (véanse los hermanos Elkington, 1843) ([18], p. 104; [51], p. 77).

Emil Stöhler (Alemania) publica "Einige Bemerkungen über die Construction magnetoelektrische Maschinen [...]" ("Algunas advertencias sobre la construcción de máquinas magnetoelectricas [...]"⁽¹²⁾, ([51], p. 99).

John Peter Gassiot (1797-1877; Inglaterra) demuestra, empleando una pila de Grove, que el efecto estático de las baterías se incrementa conforme su acción química. Utiliza además un micrómetro delicado para demostrar que los argumentos de Grove en contra de la teoría del contacto son válidos (véase Gassiot, 1843) ([40], p. 634).

Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868; Francia) mejora su sistema de iluminación eléctrica del año pasado, al descubrir que las barras de grafito se queman más lentamente que las de carbón vegetal (véase Davy, 1802 y 1810) en las lámparas de arco. El grafito se forma con los depósitos residuales de las retortas de coque. Su lámpara es regulada manualmente ([25], p. 105; [61], pp. 24-25).

William Edwards Staite (1809-1854; Inglaterra) recibe una patente para su lámpara de arco eléctrico con filamentos de grafito, con un diseño similar (pero independiente) al de Foucault (véase arriba) ([25], p. 105).

En una producción de la *Opera de Paris*, en Francia, se utilizan lámparas de arco eléctrico reguladas manualmente. Empiezan a estudiarse mecanismos para evitar que los carbonos choquen con el arco al conectar la corriente y para acercarlos uno al otro conforme se consumen por el uso ([18], p. 124).

El 6 de enero se transmite la noticia del nacimiento del segundo hijo de la reina Victoria, desde Windsor a Londres, Inglaterra, empleando el telégrafo de Cooke instalado sobre las vías férreas de la *Great Western Railway* (véase 1843). El periódico *The Times* reconoce que recibió el mensaje gracias al «extraordinario poder del Telégrafo Electro-Magnético.» ([51], p. 30).

Se inicia la operación de una línea telegráfica comercial entre Paddington y Slough, Inglaterra. El sistema está formado por cinco alambres, cada uno de los cuales termina en una aguja magnética. La información se codifica mediante la posición de las agujas. En el transcurso de un año y con la ayuda de dicho telégrafo, se logra capturar a un sospechoso de asesinato, quien trata de escapar en el tren que comunica a las dos ciudades. El incidente da gran publicidad a los sistemas telegráficos y estimula el interés por la telegrafía ([25], p. 106).

Se instala la primera línea telegráfica entre París y Rouen, Francia ([25], p. 106).

El Almirantazgo inglés, que 30 años antes había rechazado los planes de **Ronalds** sobre el desarrollo del telégrafo (véase **Ronalds**, 1816), establece un

¹¹⁾ La máquina de Woolrich se conserva en el Museo de Ciencias e Industria de la ciudad de Birmingham, Inglaterra.

¹²⁾ *Annalen der Physik und Chemie* de Poggendorf, 61, pp 417-430.

(continúa 1844)

contrato con William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) para instalar un telégrafo entre Londres (sede del Almirantazgo) y Portsmouth ([51], pp. 30-31).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) realiza una serie de experimentos sobre telegrafía subacuática (véase 1843) en Swansea Bay, Inglaterra, donde pasa una temporada con su amigo L. W. Dillwyn, miembro del Parlamento de la *Royal Society of London*¹³⁾. Tiende un cable telegráfico submarino desde un faro, hasta una distancia de alrededor de 1.5 km mar adentro. Wheatstone experimenta con aislantes tales como cuerdas mojadas con alquitrán, estambres o cola marina. Ninguno de éstos tiene éxito, por lo que la telegrafía submarina práctica tendría que esperar a la introducción del aislamiento extrudido de gutapercha sin ninguna junta en el conductor (véase 1845) ([25], p. 106; [34], vol. XIV, p. 290; [51], p. 32).

En mayo, Samuel Finley Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) realiza la primera transmisión telegráfica entre Washington, D.C., y Baltimore, Estados Unidos, a unos 60 km de distancia. En esta última ciudad, Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos) recibe el mensaje «*What hath God wrought*» («*Qué ha escrito Dios*»), mismo que se transmite en el sentido opuesto. La velocidad de transmisión es de unas 30 palabras por minuto. Los imanes de los sistemas telegráficos originales (de hace unos quince años atrás) pesaban unos 136 kg; para este año, el peso se ha reducido a unos 84 kg. Tres días después, se recibe en Washington la noticia de que J. K. Polk (1795-1849; Estados Unidos) es nominado para la presidencia por la Convención Demócrata de Baltimore¹⁴⁾. Un periódico vespertino publica el mensaje. La noticia podría verificarse sólo hasta el día siguiente, cuando llega el tren de Baltimore. Este hecho asegura la aceptación del telégrafo como medio de comunicación de alta velocidad ([25], p. 106; [38], vol. 19, p. 484). Es el primer desarrollo práctico de un sistema eléctrico de telecomunicaciones y satisface la necesidad real de comunicaciones ([52], p. 46).

William Fardely (1810-1869; Inglaterra-Alemania) desarrolla e introduce el telégrafo de disco (*dial telegraph*) en el ferrocarril *Tamms* entre Kastel y Wiesbaden, Alemania (véase 1846-47).

Publica *Die elektrische Telegraphie mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Anwendung für den gefahrlosen und zweckmässigen Betrieb der Eisenbahnen* ([40], p. 546).

Thomas Prime, de Birmingham, Inglaterra, es el primero en platear metales comercialmente mediante el empleo de máquinas magnetoelectricas basadas en la patente de Woolrich de 1844 ([17], vol. V, p. 633).

La empresa de los hermanos George Richard Elkington (1801-1865; Inglaterra) y Henry Elkington (1810-1852; Inglaterra), quienes tienen licencia para explotar las ideas de Woolrich, obtiene permiso para cobrar una regalia mínima de 150 libras esterlinas de todo aquel que practique el electroplateado (véase Woolrich, más arriba) ([17], vol. V, p. 633).

1844-46

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia), en colaboración con su alumno A. S. Savelyev, establece la aditividad de los

¹³⁾ No ha quedado claro el por qué Wheatstone viaja tan lejos para llevar a cabo sus experimentos, pero uno de los vecinos de Dillwyn es propietario de una fábrica productora de cobre, en donde los cables para los experimentos pueden haber sido fabricados.

¹⁴⁾ James Knox Polk (1795-1849) sería el 11er. presidente de Estados Unidos, en el periodo 1845-49.

(continúa 1844-46)

potenciales de electrodo. Demuestra la existencia de una serie de potenciales de electrodo en la frontera del electrólito y el electrodo, similar a la serie de Volla. Determina las leyes de aditividad de las fuerzas electromotrices de polarización sobre el ánodo y el cátodo y los potenciales de electrodo iniciales (*[34]*, vol. *LVIII*, p. 158).

1844-48

Paul-Gustave Froment (1815-1865; Francia) construye varios motores eléctricos. Es la única otra persona que también construye motores excéntricos (véase 1847), a parte de los de Wheatstone de 1842 (*[51]*, p. 57).

1845

Julius Robert Mayer (1814-1878; Alemania) publica de manera privada *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*, su obra más original y comprensiva. Establece una vez más (véase 1842) las bases físicas de su teoría; amplía la tesis de la conservación de la fuerza para incluir las fuerzas eléctricas, magnéticas y químicas (*[34]*, vol. *IX*, p. 238).

Franz Ernst Neumann (1798-1895; Alemania) publica "Allgemeine Gesetze der inducirten elektrischen Ströme" ("Estatutos generales de las corrientes eléctricas inducidas"), en el que deriva una ley simple de inducción (una función potencial) para la fuerza ponderomotriz entre elementos de corriente eléctrica que Ampère estableció en 1826. Con este trabajo se da un paso más hacia el establecimiento de las leyes que gobiernan la inducción eléctrica (*[34]*, vol. *VI*, p. 251, vol. *IX*, p. 205 y vol. *X*, p. 28).

Joseph Liouville (1809-1882; Francia) le pide a W. Thomson que escriba un artículo para esclarecer la situación imperante respecto a las diferentes concepciones sobre la naturaleza de la electricidad (véase W. Thomson, 1847).

Por una parte, Faraday ha establecido que la inducción eléctrica ocurre en «líneas curvas». Por otra parte, Coulomb y Poisson se adhirieron a la idea de acción a distancia de la electricidad; más aún, Coulomb basó sus concepciones en la idea de que el fluido eléctrico no posee ninguna propiedad material, mientras que Poisson argumentaba que este fluido ocupa una región finita en el espacio (*[34]*, vol. *XIII*, pp. 374-377).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) establece que la creencia de Faraday (muy aceptada), en el sentido de que la acción dieléctrica no se puede relacionar con la ley de Coulomb es falsa. Da la primera descripción matemática exacta de las líneas de fuerza. Propone el método de imágenes eléctricas y una segunda analogía formal entre las fuerzas magnéticas y las tensiones rotacionales en un sólido elástico. Encuentra expresiones para la energía en una inductancia y en un condensador $-(1/2)LI^2$ y $(1/2)CV^2$, respectivamente. Independientemente de Helmholtz, aplica los principios de energía para obtener una derivación muy simple de la ecuación de inducción de F. E. Neumann (véase arriba) (*[34]*, vol. *IX*, p. 205).

Thomson le escribe una carta a Faraday en la que le describe sus resultados positivos sobre el tratamiento matemático del concepto de líneas de fuerza, le señala haber leído sus publicaciones y estar seguro, como él, de la existencia de algún tipo de enlace entre las moléculas. Le sugiere que experimente con los efectos de las líneas magnéticas de fuerza (dado que éstas pueden generar mayores intensidades que las eléctricas) a través de un dieléctrico, sobre el plano de polarización de la luz (*[3]*, vol. *19*, p. 86; *[34]*, vol. *IV*, p. 538).

(continúa 1845)

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), obsesionado todavía por la idea de su hipotético estado electrotónico, regresa a la actividad científica después de un período de seis años de convalecencia.

Intenta, sin éxito una vez más, encontrar signos de las tensiones, o enlaces, intermoleculares por los cuales pasan las líneas eléctricas de fuerza. A sugerencia de W. Thomson (véase arriba), hace pasar un haz plano de luz polarizada a través de un vidrio especial pesado (*heavy glass*) con un índice de refracción muy alto (desarrollado por él en la década de 1820-29), colocando un electroimán de tal forma que sus líneas de fuerza corren paralelas al haz de luz.

El 13 de septiembre observa que el plano de polarización gira con un ángulo de rotación proporcional a la intensidad de la fuerza magnética, indicando la existencia del enlace, o tensión, entre las moléculas del vidrio. Más aún, Faraday observa un resultado inesperado: cuando cambia la dirección del haz de luz, la rotación del plano permanece sin alterarse, por lo que deduce que la tensión no se encuentra en las moléculas del vidrio, sino en las líneas de fuerza. Es decir, la dirección de la rotación del plano de polarización sólo depende de la polaridad de las líneas de fuerza, mientras que el vidrio sólo sirve para detectar el fenómeno. A este fenómeno se le llegaría a conocer como *efecto Faraday*. El efecto demuestra la existencia de una relación entre la luz y el magnetismo, siendo el primer efecto magnetoóptico observado ([3], vol. 4, p. 681 y vol. 19, p. 86; [25], p. 107; [34], vol. IV, p. 538; [51], pp. 21-22).

En noviembre, utilizando también vidrio especial pesado, Faraday descubre el *diamagnetismo* -tendencia de algunos materiales a alinearse en ángulos rectos respecto a las líneas de fuerza magnética. En el informe de estos experimentos utiliza por primera vez el término «campo magnético» ([51], p. 22).

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) establece, generalizando la ley de Ohm, las dos reglas fundamentales que cumplen las corrientes y los voltajes en los circuitos eléctricos ([10], p. 29).

Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia) escribe *Traité Complet du magnétisme* (*Tratado completo del magnetismo*) ([40], p. 141).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) construye un imán de campo devanado, en el que emplea electroimanes energizados por medio de una batería, en lugar de los imanes permanentes. No existe evidencia que sugiera que Wheatstone intente deliberadamente utilizar el principio de autoexcitación en su diseño (véanse Callan, 1838 y Hjort, 1855) ([51], p. 84; [62], p. 125).

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) estudia la posibilidad de desarrollar trenes eléctricos ([40], p. 547).

William Robert Grove (1811-1896; Gales) publica "On the Gas Voltaic Battery" ("Sobre la batería voltaica a gas")⁽¹⁵⁾ ([34], vol. I, p. 560).

William Robert Grove (1811-1896; Gales) publica "On the Application of Voltaic Ignition to Lighting Mines" ("Sobre la aplicación de la ignición voltaica a la iluminación de las minas")⁽¹⁶⁾, en el que describe sus experimentos sobre la posibilidad de usar la lámpara de arco eléctrico en las minas ([34], vol. I, p. 560). Grove dice haber construido «hace cuatro o cinco años» una lámpara con cuya luz logró «leer durante varias horas». En ella, «una bobina de alambre de platino

⁽¹⁵⁾ *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 135.

⁽¹⁶⁾ *Philosophical Magazine*, 27, pp. 442-446.

(continúa 1843)

se adhiere a dos alambres de cobre, cuyas extremos más bajos, o más distantes del platino, se barnizan a conciencia; éstos se fijan erectos en un vaso de agua destilada, otro vaso cilíndrico cerrado en su extremo superior se invierte sobre ellos de tal forma que la boca abierta reposa sobre el fondo del primer vaso; los extremos salientes de los alambres de cobre se conectan a una batería voltaica [...] y el alambre en ignición produce ahora una luz estable.» (51), pp. 64-65).

Thomas Wright (Inglaterra) desarrolla una lámpara de arco eléctrico empleando discos de carbón como electrodos y un regulador de mecanismo de reloj para mantener la distancia entre ellos. Wright sería el primero en recibir una patente inglesa sobre una lámpara de arco eléctrico (61), pp. 25-26).

J. W. Starr (ca. 1822-1847; Estados Unidos) recibe una patente de la ciudad de Cincinnati, Ohio, Estados Unidos, por «la aplicación de conductores metálicos continuos y de carbón, calentados intensamente por el paso de una corriente de electricidad, con propósitos de iluminación.» Construye dos tipos de lámparas incandescentes; en una de ellas emplea hojas de platino como filamentos y en la otra usa placas de carbón. Señala que cuando se emplea carbón, «debe ser encerrado en un vacío de Torricelli (17), vol. V, p. 213; (18), p. 127; (25), p. 107).

E. A. King (1824-1907) inventa una lámpara incandescente en la que utiliza plumbagina (como se le llama al grafito) para los elementos incandescentes. Para evitar la combustión del carbón, lo coloca en una vasija cerrada en la que hace vacío (18), p. 127; (25), p. 107; (56), p. 178).

En enero se produce más publicidad para el telégrafo de Cooke (véase 1844), cuando el asesino John Tawell es visto abordar un tren en Slough, Inglaterra, y se telegrafía su descripción a Paddington, donde la policía esperaba el arribo del tren (51), p. 31).

El 1 de abril, Samuel Findlay Breese Morse (1791-1872; Estados Unidos) pone al servicio público su línea telegráfica entre Baltimore y Washington, D.C., Estados Unidos. Después de esto, Morse obtendría rápidamente apoyo financiero, por lo que los circuitos telegráficos empezarían a extenderse por todo el país (véase 1843) (51), p. 34).

Morse, junto con algunos socios, forma la *Magnetic Telegraph Company*.

Por otro lado, instala un cable submarino de 19 km de longitud en el Río Hudson, entre Nueva York y Fort Lee, Nueva Jersey, Estados Unidos, que estaría en operación aproximadamente un año, hasta que el hielo del río lo rompe (25), p. 108).

John Watkins Brett (1805-1863; Inglaterra) y Jacob Brett (Inglaterra) sugieren la posibilidad de instalar un telégrafo transoceánico sin cables (16), p. 60).

Los hermanos Brett terminan además la instalación del cable submarino a través del Canal Inglés, por lo que se puede iniciar ya este servicio (25), p. 108).

Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos) publica *The American Electro Magnetic Telegraph* (El telégrafo electromagnético estadounidense) (40), p. 1704).

(continúa 1845)

Charles **Wheatstone** (1802-1875; Inglaterra) inventa el recubrimiento metálico de los cables eléctricos. Envuelve el cable con una banda de plomo y luego suelda una costura a todo lo largo de la banda (152, p. 49).

Se funda la *Gutta Percha Company* para explotar comercialmente la gutapercha (véase **Montgomerie**, 1843). Se construyen aparatos de extrusión para la producción de varillas y tubos de esta goma (152, p. 50).

Royal Earl House (1814-1895; Estados Unidos) patenta un telégrafo impresor. Es la primera máquina que imprime palabras, en lugar de sólo copiar un código. Puede imprimir hasta 2,000 palabras por hora. Dado que su costo es alto, este sistema se reemplazaría por el de sonidos y operador (125, p. 108).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania), después de realizar una versión mejorada del telégrafo indicador de **Wheatstone**, desarrolla un sistema telegráfico completo. Incluye un método para fabricar el aislante de los cables, de gutapercha sin costuras (134, vol. XII, p. 425).

Dado que **Carlo Matteucci** (1811-1868; Italia) no acepta que un fenómeno eléctrico pueda desaparecer como consecuencia de un proceso fisiológico activo (la fluctuación negativa, establecida por **Müller** en 1844), rechaza sus propios descubrimientos de 1838 y la interpretación de A.-C. **Becquerel** de 1842 sobre las contracciones inducidas (134, vol. IX, p. 177).

Antoine-Philibert Masson (1806-1860; Francia) publica *Études de photométrie électrique* (Estudios de fotometría eléctrica) (140, p. 1125).

1845-55

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) dedica gran parte de su atención al estudio del diamagnetismo. Quiriendo preservar al máximo la simplicidad de la teoría eléctrica de **Ampère** sobre la acción magnética, prefiere no aceptar la opinión de **Faraday** de que los fenómenos diamagnéticos difieren fundamentalmente de aquéllos del magnetismo ordinario. Para explicar la repulsión de algunas sustancias causada por un imán, concibe una ley arquimediiana sobre la acción magnética, llamada así por su semejanza con el principio hidrostático de **Arquimedes**. Esta ley establece que «cuando se retira un cuerpo del centro magnético, el cuerpo es atraído hacia el centro con una fuerza igual a la diferencia que existe entre el magnetismo específico del cuerpo y aquél del medio en el cual está inmerso.» Así como los cuerpos específicamente más pesados se hunden y los más ligeros emergen en un líquido, las sustancias menos magnéticas que el medio circundante son alejadas de un imán, mientras que las más magnéticas son atraídas hacia él. Se propone medir las propiedades magnéticas del oxígeno, una de las sustancias que componen el medio en el cual tienen lugar la mayoría de los fenómenos magnéticos. Condensa un gran volumen de este gas en un recipiente de vidrio, el cual está lleno de carbón vegetal muy absorbente. Cuando coloca este recipiente en un campo magnético, encuentra que el recipiente es mucho más magnético de lo que sería si sólo tuviera el carbón vegetal. Este experimento podría haber sido la prueba concluyente de su teoría, de no ser porque la acción diamagnética se presenta también en el vacío. **Becquerel** trata de vencer esta dificultad atribuyendo propiedades magnéticas y, por lo tanto eléctricas, al éter. Sin embargo, todos sus esfuerzos resultan en vano. Describe sus especulaciones en *Traité d'électricité et du magnétisme, leurs applications aux sciences physiques, aux arts et à l'industrie* (Tratado de electricidad y magnetismo, sus aplicaciones a las

(continúa 1843-55)

ciencias físicas, a las artes y a la industria), escrito en colaboración con su padre, A.-C. Becquerel. Además, descubre que el solo desplazamiento de un conductor metálico en un líquido es suficiente para generar una corriente eléctrica. Logra las mediciones que obtiene de la fuerza electromotriz de la pila, con un ingenioso dispositivo inventado por su padre. Este dispositivo es una balanza electrostática, la cual le permite *pesar* la fuerza relativa de la corriente eléctrica. También estudia los efectos por separado de los líquidos, el metal, la temperatura y la polarización de los electrodos de la pila ([34], vol. I, pp. 555-556).

1845-82

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) es editor en el área de ingeniería de la revista británica *Electrician* ([40], p. 1749).

1846

William Robert Grove (1811-1896; Gales) publica *On the correlation of Physical Forces* (*Sobre la correlación de las fuerzas físicas*), en donde enuncia el principio de conservación de la energía ([3], vol. 5, p. 520).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) siempre ha creído, desde el principio de su labor científica, en lo que él llama la unidad de las fuerzas de la naturaleza; es decir, que todas las fuerzas de la naturaleza son sólo diferentes manifestaciones de una única fuerza universal y, por ende, debería ser posible convertir una fuerza en otra. El 3 de abril, en una conferencia improvisada durante los *Friday Evening Discourse* de la *Royal Institution*, en Londres, Inglaterra, a la cual titula "Thoughts on Ray Vibration" ("Pensamientos sobre la vibración de los rayos"), sugiere la hipótesis de que la electricidad es el movimiento de un medio elástico que llena todo el espacio y que, por consiguiente, penetra en todos los cuerpos; medio cuyas partículas discretas se repelen o atraen las unas a las otras, en razón inversa al cuadrado de la distancia. Es decir, la electricidad es un movimiento de las partículas del éter, del que participan las moléculas de los cuerpos ([12], p. 94). Se refiere a los átomos puntuales y a sus campos infinitos de fuerza. Sugiere que las líneas de fuerza eléctrica y magnética asociadas a cada átomo pueden servir, de hecho, como el medio por el cual se propagan las ondas de luz. La idea es recibida con escepticismo e, incluso, es ridiculizada. Probablemente Faraday no la hubiera sugerido de no ser por el descubrimiento de la rotación del plano de polarización (relación entre el magnetismo y la luz), realizado el año anterior (véase Maxwell, 1864).

El hecho de que en este fenómeno la fuerza magnética actúe a través del vidrio, le sugiere que no sólo el hierro, el níquel y el cobalto responden a esta fuerza, sino que toda la materia debe exhibir alguna respuesta a un campo magnético. Encuentra que algunas sustancias, tales como el hierro, el níquel, el cobalto y el oxígeno, se alinean en un campo magnético de tal forma que el eje mayor de su estructura cristalina o molecular queda paralelo a las líneas de fuerza; mientras que en otras sustancias, como el bismuto, la alineación es perpendicular. Las sustancias del primer grupo, a las que denomina *paramagnéticas*, tienden a moverse hacia campos magnéticos más intensos; las sustancias del segundo grupo, a las que llama *diamagnéticas*, se mueven hacia regiones de menor fuerza magnética. Después de investigaciones posteriores, concluye que los cuerpos paramagnéticos conducen mejor las líneas de fuerza que el medio circundante, mientras que los diamagnéticos, lo hacen con mayor dificultad ([3], vol. 19, p. 86; [16], p. 80; [34], vol. II, p. 538; [51], pp. 22-23).

En un principio Faraday interpreta el fenómeno del diamagnetismo en términos de una polaridad diamagnética, esto es, una polaridad magnética invertida, que se crea en la sustancia cuando ésta se introduce en un campo magnético ([34], vol. XIV, p. 208). Busca una explicación para el comportamiento diferente entre conductores y no conductores (dieléctricos) basada en la capacidad

(continúa 1846)

del medio para propagar la fuerza eléctrica, de punto a punto, entre los cuerpos *cargados*. Supone que todos los dieléctricos están constituidos de tal forma que sus partes más pequeñas se polarizan de alguna manera bajo la influencia eléctrica y cada elemento transmite esta acción a su vecino mediante la polaridad. Sin embargo, Faraday rechaza la noción de un fluido eléctrico absoluto ([34], vol. IX, p. 548).

Ottaviano Fabrizio Mossotti (1791-1863; Italia) adopta la posición teórica del grupo francés de analistas, ejemplificado por Laplace, Poisson y Ampère. Mossotti había propuesto la existencia de un éter sujeto a las dos fuerzas centrales, la autorrepulsión y la atracción a la *materia natural*, siendo éstas las únicas fuerzas eléctricas que podía imaginar. Creía que con dichas fuerzas se podía explicar una gran variedad de fenómenos físicos, incluyendo la propagación de la luz en cuerpos transparentes.

Mossotti se entera de las investigaciones de Faraday sobre los dieléctricos o cuerpos no conductores y, sin saber que éste rechaza la noción de un fluido eléctrico absoluto, acepta su suposición de la polaridad en los dieléctricos, aunque prefiere explicarla en términos de moléculas portadoras de éter. Piensa que todos los cuerpos están constituidos por moléculas etereo-materiales, en las cuales el éter actúa como un fluido eléctrico. Argumenta que la diferencia entre conductores y no conductores yace en la diferente capacidad de los cuerpos para retener la atmósfera etérea alrededor de cada molécula bajo la acción eléctrica. Cuando un dieléctrico se coloca cerca de un elemento de éter, sus moléculas se polarizan, en el sentido de que la densidad del éter de cada partícula varía de punto a punto, resultando una fuerza neta debida al cambio en la distancia del éter y la materia desde el fluido externo.

Mossotti obtiene una relación matemática, conocida como *ecuación de Clausius-Mossotti* en su forma original, con la cual puede calcular la fuerza neta sobre pequeños elementos de un dieléctrico, resultado de la distribución de las moléculas dentro del mismo. Además, muestra que la acción de un dieléctrico polarizado puede representarse totalmente por una imaginaria distribución de éter sobre la superficie de su frontera.

El trabajo de Mossotti no tiene gran influencia teórica; sin embargo, es un desarrollo formal importante porque demuestra que se pueden explicar ciertos comportamientos eléctricos sin abandonar el esquema de fuerzas centrales y fluidos sutiles ([34], vol. IX, pp. 548-549; [59], vol. 2, p. 176).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania), publica el primer volumen de sus *Elektrodynamische Maassbestimmungen*, en donde postula su ley de la fuerza eléctrica ([3], vol. 12, p. 547; [34], vol. XIV, p. 205). Weber se opone a la idea de una sola corriente y propone que la electricidad está formada por un flujo de dos grupos iguales de partículas (positivas y negativas), uno al lado del otro, moviéndose en direcciones opuestas por canales situados entre las moléculas de los cuerpos. Las partículas están sujetas a una fuerza cuya dirección está siempre a lo largo de la línea que une a dos de ellas, y cuya magnitud depende de su velocidad y aceleración relativas a lo largo de esa línea¹⁷⁾. Esta teoría es una extensión que combina la ley de Ampère de 1826 y la ley electrostática ([34], vol. IX, p. 205).

En el mismo trabajo, Weber introduce su electrodinamómetro, el cual se utiliza para determinar la unidad electrodinámica de corriente, definida en términos de la fuerza entre dos elementos de corriente, usando la ley de Ampère. Encuentra que la magnitud de esta unidad es $\sqrt{2}$ veces mayor que la unidad

¹⁷⁾ Según F. Engels, Weber argumenta que la electricidad es imponderable, mientras que en su desarrollo matemático llega a multiplicar una función por la magnitud (l^2), «relación [...] entre la cantidad de electricidad y un miligramo», dándole una ponderabilidad inconsistente con sus proposiciones ([12], p. 92).

(continúa 1846)

electromagnética -puesto que la respuesta del instrumento depende del cuadrado de la corriente, resulta apropiado para corrientes alternas (en particular las de frecuencias acústicas) ([34], vol. XIV, p. 206).

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) formula las leyes que gobiernan la distribución de tensión e intensidad de corriente en las redes de conductores lineales, resultado al cual llega simplemente generalizando la ley de Ohm de 1827 ([34], vol. VII, p. 380).

Para demostrar el poder del análisis matemático, Joseph Liouville (1809-1882; Francia) estudia, entre otros temas, la distribución de la electricidad sobre la superficie de los conductores (véase 1857) ([34], vol. VIII, p. 384).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) termina la construcción de una pequeña máquina oscilante electromagnética ([40], p. 1298).

Emil Stührer (Alemania) publica "Einige Bemerkungen über die Construction magnetoelctrische Maschinen [...]" ("Algunas advertencias sobre la construcción de máquinas magnetoelectricas [...]"¹⁸⁾ ([51], p. 99).

William Edwards Staite (1809-1854; Inglaterra) desarrolla una lámpara de arco eléctrico con electrodos de carbono -conos, anillos y placas, de una mezcla de carbón y azúcar (véase Bunsen, 1842). Para evitar que la intensidad de la luz producida por la lámpara caería al modificarse la separación de los electrodos conforme éstos se queman, introduce un mecanismo de relojería (véase Wright, 1845). Sin embargo, por dificultades técnicas, pronto desiste, prefiriendo utilizar un mecanismo movido por un peso colgante y regulado por el calor del arco (a través de la expansión térmica de una barra de cobre), que aumenta a medida que se alarga la longitud del chispazo ([52], p. 25; [55], p. 927). Recibe dos patentes británicas (no. 11,076 del 7 de febrero, no. 11,449 del 12 de noviembre) por sus lámparas de arco eléctrico ([51], p. 69).

Moritz Hermann von Jacobi (1801-1874; Alemania) propone que un alambre de cobre, especialmente preparado por él, sea utilizado como estándar de resistencia eléctrica ([34], vol. XIV, p. 206).

El telégrafo eléctrico ha probado su valor y está a punto de empezar un período de rápido crecimiento. Los gobiernos, los negocios, la prensa, y el público en general, aprecian sus capacidades potenciales. En la mayoría de los países europeos, el telégrafo es desarrollado como un monopolio estatal, sólo en Inglaterra y Estados Unidos se deja a la iniciativa privada ([51], pp. 34-35).

William Fothergill Cooke (1806-1879; Inglaterra) y el financiero John Lewis Ricardo (1812-1862) fundan la *Electric Telegraph Company*. Ricardo introduce el uso de mensajes con franquicia (*franked message papers*) y el empleo de oficinistas mujeres ([51], p. 32). Tiene un capital autorizado de 600,000 libras, aunque sólo 112,000 son pagadas inicialmente ([51], p. 35). La compañía compra las patentes de Cooke y de Wheatstone. Poco después se les unirá Bain ([25], p. 108).

¹⁸⁾ *Annalen der Physik und Chemie* de Poggendorf, 69, pp 81-93.

(continúa 1846)

William Thomas **Henley** (ca. 1813-1882; Inglaterra) desarrolla diversos instrumentos para la compañía *Electric Telegraph Company* (véase arriba) (*J40*, p. 785).

Las autoridades prusianas comienzan a investigar el potencial del telégrafo, con miras a instalar un servicio en ese país (véase W. Siemens, 1847) (*J51*, p. 36).

1846-47

William **Fardely** (1810-1869; Inglaterra-Alemania) introduce el telégrafo de disco (*dial telegraph*) en los ferrocarriles entre Sajonia y Silesia, y Sajonia y Baviera (véase 1844) (*J40*, p. 546).

1846-52

Se prueba, en Rouen, Francia, el telégrafo de L.-F. **Bréguet** y **Masson** de 1838 (*J40*, p. 236).

ca. 1847

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) desarrolla un aparato de inducción⁽¹⁹⁾ (*J40*, p. 1298).

1847

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) publica su artículo "Matter, Living Force and Heat" ("Materia, fuerza viva y calor"). Da la primera exposición completa y clara del principio de energía -su *living force*. Escribe: «la fuerza viva (*vis viva*) es una de las cualidades más importantes con que la materia ha sido dotada y, como tal, sería absurdo suponer que ésta puede ser destruida [...] Los experimentos han mostrado que dondequiera que la fuerza viva es aparentemente destruida, ya sea por percusión, fricción o cualquier medio similar, un equivalente exacto de calor es restituido. Lo inverso es también cierto, es decir, que el calor no puede ser reducido o absorbido sin la producción de fuerza viva o su atracción equivalente a través del espacio [...] Calor, fuerza viva, y atracción a través del espacio (a las cuales debería agregar también *luz* para ser consistente con el alcance de la presente conferencia) son convertibles mutuamente. En esas conversiones nunca se pierde nada.» (véase 1843) (*J45*, pp. 376-377).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) publica un pequeño libro, *Ueber die Erhaltung der Kraft* (*Sobre la conservación de la energía*), en donde establece las bases filosóficas y físicas del principio de conservación de energía (véase **Grove**, 1846). Argumenta que las fuerzas últimas deben ser conservativas y que las leyes que las describen no deben contener términos que involucren las velocidades o aceleraciones de las partículas entre las cuales actúa la fuerza. Dichos argumentos parecen implicar que la ley de **Weber** de 1846 viola el principio energético (*J34*, vol. VI, p. 250; *J45*, p. 377).

A raíz de los resultados sobre la conservación de la energía de **Helmholtz** (véase arriba), algunos científicos piensan que la ley de la fuerza eléctrica de **Wilhelm Eduard Weber** (1804-1891; Alemania) de 1846 viola este principio. El propio **Weber** logra introducir una energía potencial dependiente de la velocidad y con ello consigue demostrar que su ley no viola los resultados sobre la conservación de la energía (*J34*, vol. XIV, p. 205).

Luego de varios años de esfuerzos teóricos por parte de diferentes científicos (véase **Liouville**, 1845), **William Thomson** (**Lord Kelvin**) (1824-1907, Irlanda)

⁽¹⁹⁾ Esencialmente es la moderna bobina de inducción.

(continúa 1847)

logra estructurar un sistema que reconcilia los puntos de vista de Faraday con los de la acción a distancia. Propone que si dos teorías diferentes llegan a leyes correctas sobre un mismo fenómeno físico, entonces las dos son equivalentes. En su desarrollo, Thomson descubre los trabajos de G. Green y utiliza técnicas matemáticas de Stokes y de Fourier ([34], vol. XIII, pp. 374-377).

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania), al estudiar la solución de los sistemas de ecuaciones lineales que describen el comportamiento de las redes eléctricas compuestas por resistencias y fuentes eléctricas, establece los principios de la teoría de los grafos ([10], p. 29).

Jakob Amsler (después Amsler-Laffon) (1823-1912; Suiza) publica "Zur Theorie der Verteilung des Magnetismus im Weichen Eisen" ("Sobre la teoría de la distribución del magnetismo en el hierro dulce")²⁰⁾ ([34], vol. I, p. 147).

Pulvermacher introduce la práctica de laminar los polos inductores de las máquinas de los dinamos eléctricos, después de haber notado que en ellos se desperdicia mucha energía debido a las corrientes parásitas. Con ello mejora mucho la eficiencia de los dinamos ([25], p. 109).

Paul-Gustave Froment (1815-1865; Francia) construye su *motor eléctrico epicicloidal*, el cual es un motor excéntrico similar al construido por Wheatstone en 1842²¹⁾ ([51], p. 61).

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) construye un tren eléctrico en miniatura de dos vagones (véase 1845).

Gardner Quincy Colton (1814-1898; Estados Unidos) inventa un motor eléctrico ([40], p. 359).

Julius Plücker (1801-1868; Alemania) investiga las propiedades magnéticas de los gases y de los cristales, tales como la turmalina ([34], vol. XI, pp. 46-47).

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) Lenz (1804-1865; Rusia), trabajando con una máquina de Stöhrer de 1843, descubre la ley que explica el fenómeno de la reacción de la armadura. Con dicha ley Lenz refuta la hipótesis de Weber, quien incorrectamente postuló que la causa de que no se pueda incrementar la corriente al incrementar la velocidad de la armadura se debe a retrasos en la razón de magnetización del hierro. Lenz señala también la necesidad de añadir escobillas de contacto a los conductores neutros de las máquinas electromagnéticas. Lenz publica además "Ueber galvanische Polarisation und elektromotorische Kraft in Hydroketten" ("Sobre la polarización galvánica y la fuerza electromotriz en las hidropilas")²²⁾ ([34], vol. VIII, p. 188).

El 3 de julio, William Edwards Staite (1809-1854; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 11,783) por la idea de controlar el mecanismo regulador de una lámpara de arco eléctrico mediante un solenoide que lleva la corriente de la lámpara.

²⁰⁾ *Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Zürich*.

²¹⁾ En la actualidad, el motor se encuentra en el *Musée du Conservatoire des Arts et Métiers*, París, Francia.

²²⁾ *Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie impériale des sciences de St.-Petersbourg*, 5, pp. 1-28.

(continúa 1847)

El 12 de julio recibe la patente británica (no. 12,212) por otra lámpara de arco eléctrico ([51], p. 69).

El 25 de octubre, **Staitte**, en un hotel de Sunderland, Durham, Inglaterra, ofrece la primera, de más de cuarenta demostraciones, de sus lámparas automáticas de arco eléctrico y de sus motores eléctricos ante la *Sunderland Literary and Philosophical Society*. Entre su audiencia está presente el joven químico **Swan**, quien luego diría que se le ocurrió la idea de desarrollar una lámpara eléctrica después de escuchar la conferencia de **Staitte**. El sistema de lámparas estaría en funcionamiento por varios años ([25], p. 109; [51], p. 64).

Staitte demuestra también una lámpara incandescente. El filamento, hecho de una aleación de platino e iridio que sólo se funde a muy alta temperatura, tiene una vida muy corta debido al aire residual que queda en la ampolla ([55], p. 929).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) y **Johann Georg Halske** (1814-1890; Alemania) fundan la *Telegraphenbaustalt von Siemens & Halske*, para manufacturar y construir sistemas telegráficos ([1]; [25], p. 81; [34], vol. XII, p. 425). **Siemens** escribe una carta a su hermano **Carl Wilhelm Siemens** (1823-1883; Inglaterra), quien radica en Inglaterra, en la que dice: «La telegrafía se convertirá en una rama separada de la tecnología científica, y de alguna manera siento la llamada para disponer que así sea, ya que ésta está todavía, estoy convencido, sólo en su infancia.» ([51], p. 36).

En noviembre, la red telegráfica de Inglaterra cubre ya 2,880 km en vías férreas, casi la mitad de las líneas en operación ([51], p. 35).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) utiliza gutapercha (véanse 1845 y 1848) para aislar los cables eléctricos de línea telegráfica subterránea en Alemania ([18], p. 349; [52], p. 50).

Frederick Collier Bakewell transmite facsímiles por una sola línea telegráfica. Este sistema es mucho más práctico que los anteriormente diseñados (véase **Bain**, 1843). La imagen se prepara sobre una hoja conductora sumergida en tinta aislante. Esta hoja se coloca en un tambor y se le hace girar, mientras una pluma recolectora se mueve lentamente y paralela al eje del tambor⁽²³⁾ ([25], pp. 109-110).

James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) descubre el fenómeno de la magnetostricción; es decir, el fenómeno en el que las dimensiones físicas de un material magnético se ven alteradas conforme varía la magnetización e, inversamente, la magnetización varía cuando se modifican las dimensiones del material. Así, una corriente alterna aplicada a una bobina que envuelve a un objeto puede producir vibraciones mecánicas en éste último; análogamente, las vibraciones mecánicas generadas en el material, pueden transformar la energía mecánica en eléctrica en la bobina. A este fenómeno se le llegaría a conocer como *efecto Joule*, y está relacionado con el fenómeno descubierto por **Page** en 1837. **Joule** publica "On the effects of magnetism on the dimension of iron and steel bars" ("Sobre los efectos del magnetismo en la dimensión de barras de hierro y acero")⁽²⁴⁾ ([52], p. 50).

²³⁾ Este principio llegaría utilizarse en muchos modelos posteriores.

²⁴⁾ *Philosophical Magazine*, 30, p. 1014.

(continúa 1847)

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) diseña un examinador de cable para el nuevo sistema telegráfico entre Boston y Worcester, Massachusetts, Estados Unidos (*/40/*, p. 547).

Archibald Smith (1813-1872; Escocia) deduce, a partir de las ecuaciones generales de Poisson, algunas fórmulas prácticas para corregir las observaciones magnéticas hechas a bordo de los barcos (*/40/*, p. 1563).

Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896; Francia) calcula un valor de 315.000 km/s para la velocidad de la luz con un ingenioso dispositivo mecánico que consiste en una rueda dentada que se hace girar a gran velocidad sobre su eje (*/34/*, vol. I, p. 20).

1847-48

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra), a los 19 años de edad, conoce ya tanto las primitivas lámparas de filamento como las más prometedoras de arco eléctrico (véase Staithe, 1847). Está convencido de que el futuro de la iluminación eléctrica depende del perfeccionamiento de las primeras (*/17/*, vol. I, p. 213). Por ello, centra sus primeros experimentos en el desarrollo de un conductor apropiado (el término «filamento» vendría después), carbonizando tiras de papel o carbón. Obtiene muestras de diferentes tipos de papel, las corta en tiras, algunas las enrolla en espirales, y todas las empaqueta, espolvoreadas con carbón vegetal, en un crisol de arcilla. Los cuece en un horno para cerámica a alta temperatura. En algunos experimentos, las tiras son sumergidas en mielaza, alquitrán u otros líquidos que dejan residuos de carbón cuando son calentados. Consigue producir algunos excelentes filamentos finos de carbón, con fuerza metálica y flexibilidad. Estos experimentos continuarían durante algunos años (véase 1855) (*/18/*, p. 130; */51/*, p. 64).

1848

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) extiende la formulación de las dos leyes que gobiernan el comportamiento general de las redes eléctricas para incluir el caso de conductores sólidos. Las leyes establecen que: 1) La corriente total que llega a cualquier nodo de una red eléctrica debe ser igual a cero, y 2) La suma de las fuerzas electromotrices en cualquier circuito cerrado es igual a la suma de las caídas IR (*IR drops*) en el circuito (*/52/*, p. 49).

Franz Ernst Neumann (1798-1895; Alemania) publica su siguiente artículo importante, después del trabajo de 1845, "Ueber ein allgemeine Princip der mathematischen Theorie inducirter elektrischer Ströme" ("Sobre un principio general de la teoría matemática de las corrientes eléctricas inducidas"). Basándose en la ley de Lenz de 1834 y en la suposición propuesta originalmente por Ampère de que los fenómenos electromagnéticos son resultado de la acción a distancia directa, sin necesidad de un campo, obtiene las leyes de inducción de las corrientes eléctricas. Entre ellas está la ecuación (que se llegaría a conocer como *potenciales mutuos de dos circuitos*) que describe la cantidad de trabajo mecánico que debe realizarse contra las fuerzas electromagnéticas, para poder separar los circuitos una determinada distancia cuando la intensidad de las corrientes se mantiene invariable (*/34/*, vol. X, p. 28).

Neumann deriva además todos los efectos electromagnéticos para corrientes cerradas a partir del potencial y verifica su concordancia con la ley de Ampère para muchos casos simples (*/34/*, vol. VI, p. 251).

(continúa 1848)

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) describe el fenómeno de inducción en una bobina provocado por el diamagnetismo de una pieza de bismuto, la cual se mueve en un campo magnético²⁵⁾ (J34], vol. XIV, p. 208).

Desde los trabajos de Coulomb, a mediados de la década de 1780-89, la mayoría de los físicos, incluido el propio Coulomb, han asumido la existencia de moléculas polares, mediante las cuales explican el magnetismo. Al presentarse el fenómeno del diamagnetismo (véase Faraday, 1846), surgen muchas hipótesis sobre una polaridad inversa que lleva a una repulsión, en lugar de a una atracción (J34], vol. XIV, p. 208).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) sugiere una explicación sobre la polaridad inversa (véase 1846). Sin embargo, dado que ésta implica necesariamente la existencia de *fluidos* eléctricos o magnéticos, Faraday se mantiene escéptico y centra cada vez más su atención en las líneas de fuerza.

Faraday no logra observar los efectos diamagnéticos del bismuto, descritos por Weber (véase arriba); sólo detecta la propiedad conductora de sus muestras. En parte como resultado de estos experimentos, Faraday renuncia a su concepción de polaridades diamagnéticas inversas (J34], vol. XIV, p. 208), asegurando que en tales sustancias no hay polos, sólo reacciones en las líneas de fuerza. Establece que los paramagnéticos son sustancias que conducen con facilidad la fuerza magnética, concentrando las líneas de fuerza que los atraviesan; mientras que los diamagnéticos conducen el magnetismo con dificultad, por lo que, dentro de ellos, las líneas de fuerza divergen (J34], vol. IV, pp. 538-539).

Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les phénomènes d'induction produits par les décharges électriques" ("Investigaciones sobre los fenómenos de inducción producidos por las descargas eléctricas")²⁶⁾ (J34], vol. XIII, p. 615). Investiga los fenómenos de inducción electromagnética producidos por descargas eléctricas (J40], p. 1713).

Rudolph Hermann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) desarrolla una versión mejorada del electrómetro de Dellman y con él mide la fuerza electroscópica (J34], vol. VIII, p. 450).

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) inventa un sistema eléctrico de alarma contra incendios (J40], p. 547).

William Edwards Staitte (1809-1854; Inglaterra) construye una nueva versión de su lámpara incandescente de 1847. El filamento se quema en el aire contenido dentro de un globo (J25], p. 110).

El 12 de julio, Staitte recibe la patente británica (No. 12,212) por su lámpara de arco eléctrico de 1846, con electrodos de barras o discos de carbono (mezcla de coque pulverizado y azúcar) y un mecanismo regulador de la distancia entre ellos basado en un solenoide y su contrapeso con mecanismo de relojería (J51], p. 69; [61], p. 25).

²⁵⁾ En este momento, Weber no logra distinguir este efecto del causado por las corrientes volumétricas (*bulk currents*) inducidas en el cuerpo del bismuto.

²⁶⁾ *Annales de chimie*, 3^a ser., 24, pp. 377-405.

(continúa 1848)

F. Allman (Inglaterra) desarrolla una lámpara de arco eléctrico con barras de carbón, en la que emplea electroimanes, solenoides o imanes fijos como reguladores de la distancia entre electrodos (*[61]*, p. 25).

Henri A. Archereau (1819-1893; Francia) inventa una lámpara de arco eléctrico con electrodos de barras de carbón mezcladas con magnesia y un regulador que balancea el peso de las barras en contra de la fuerza del solenoide, eliminando así la necesidad de ajustar constantemente la distancia entre los electrodos (*[61]*, p. 25).

A. E. Le Molt (Francia) desarrolla una lámpara de arco eléctrico con electrodos de discos de carbón de retorta, o una mezcla de éste con carbón vegetal o coque y alquitrán. Como regulador de la distancia entre electrodos emplea un mecanismo de relojería (*[61]*, p. 25).

En noviembre, la red telegráfica de Inglaterra alcanza los 2,880 km en vías férreas, casi la mitad de la longitud total de las vías en servicio (*[51]*, p. 35).

Harrison Gray Dyar, en una carta del 8 de mayo, dirigida al Dr. **Bell** de Charlestown, Estados Unidos, reclama la superioridad de su sistema teleográfico sobre el de **Morse** (véase 1828) (*[25]*, p. 110).

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) informa de los efectos de los relámpagos sobre las líneas telegráficas (*[34]*, vol. 17, p. 279).

Se instalan algunas líneas eléctricas en el puerto alemán de Kiel para detonar minas. Los cables, construidos por la fábrica de **W. Siemens**, están aislados con gutapercha (véase 1847) (*[52]*, p. 50).

Armstrong utiliza cables eléctricos aislados con gutapercha en el río Hudson, Estados Unidos (*[52]*, p. 50).

Jakob Amsler (después **Amsler-Laffon**) (1823-1912; Suiza) publica "Methode den Einfluss zu kompensieren, welchen die Eisenmassen eines Schiffes infolge der Verteilung der magnetischen Flüssigkeiten durch den Erdmagnetismus auf die Kompassnadel ausüben"⁽²⁷⁾ (*[34]*, vol. 1, p. 147).

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) publica *Electricity* (*Electricidad*) (*[40]*, p. 759).

Seyffer publica "Geschichtliche Darstellung der Galvanismus" ("Exposición histórica del galvanismo") (*[52]*, p. 42).

1848-49 **Charles Vincent Walker** (1812-1882; Inglaterra) introduce mejoras a la telegrafía (*[40]*, p. 1749).

1848-53 **Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch** (1809-1858; Alemania) midiendo la fuerza electromotriz de varias pilas, encuentra que ésta es proporcional a la

²⁷⁾ Verhandlungen der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft.

(continúa 1848-53)

tensión electroscópica de la misma pila. Con ello, **Kohlrausch** verifica la ley de **Ohm** (*[34]*, vol. VIII, p. 450).

ca. 1849

Hans Christian Oersted (1777-1851; Dinamarca) investiga el fenómeno del diamagnetismo, asumiendo polaridades invertidas y efectos inductivos invertidos en las sustancias que son repelidas desde. en lugar de ser atraídas hacia, un polo magnético, a pesar de que las investigaciones de **Faraday** han demostrado que el concepto de polaridad no se puede aplicar a los diamagnéticos (*[34]*, vol. X, p. 185).

Louis-François-Clement Bréguet (1804-1883; Francia) construye un sistema de relojes eléctricos para la transmisión a distancia del tiempo (*[40]*, p. 236).

Ezra Cornell (1807-1874; Estados Unidos) conecta las ciudades de Nueva York y Fort Lee, en Estados Unidos, mediante un cable eléctrico aislado con caucho que estaría en operación durante sólo unos meses (*[52]*, p. 50).

1849

Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) investiga las distribuciones estáticas de electricidad y el flujo de corriente eléctrica en circuitos cerrados, empleando un condensador (*[34]*, vol. VII, p. 380). Le propone a **Weber** el comprobar la ley de fuerzas (establecida por **Weber** en 1846) directamente, usando cargas aceleradas mecánicamente; sin embargo, no es factible llevar a cabo este experimento (*[34]*, vol. XIV, p. 205).

A partir de los experimentos de **R. Kohlrausch** (véase arriba), **Gustav Robert Kirchhoff** (1824-1887; Alemania) postula que para poder formular consistentemente la teoría de **Ohm** se necesita (al menos para el caso de corrientes estacionarias) la identificación de la tensión con el potencial electrostático. Por ello **Kirchhoff** desarrolla una teoría matemática (correcta) que unifica la electrostática y las corrientes voltaicas (*[34]*, vol. VII, p. 380).

Durante la fiebre del oro en California, Estados Unidos, **Thomas Ewbank**, Comisionado de Patentes de dicho país, incluye en su informe anual algunos pensamientos sobre los motores eléctricos: «La creencia es creciente respecto a que la electricidad, en una o más de sus manifestaciones, está destinada a convertirse en una de las más poderosas revoluciones en los asuntos humanos [...] Cuando, además de lo que ahora está realizando como mensajera [...] puede ser obtenida rápidamente de su lugar oculto y hacer que impulse carros terrestres y acuáticos [...] entonces podemos empezar a pensar que el genio de la civilización ha saltado hacia el cenit.» Sin embargo, respecto a los experimentos electromagnéticos, en particular los de **Jacobi** y **Davidson**, de los últimos años, piensa que no se han alcanzado todavía resultados definitivos como para que el vapor sea desplazado por la potencia electromagnética (*[51]*, p. 52).

Floris Nollet (1794-1853; Bélgica), profesor de física de la *Ecole Militaire* de Bruselas, Bélgica, propone construir una máquina de **Clarke** (véase 1834) a gran escala -que luego sería conocida como *Machine de l'Alliance* (véase 1853). Se trata de una máquina magnetoeléctrica de corriente alterna, cuyas bobinas están dispuestas sobre discos y giran entre los polos de los imanes, en forma de herradura, distribuidos alrededor de una circunferencia; cada disco porta de 8 a 16 bobinas. El modelo más grande de este tipo de máquina tiene 6 discos de 16 bobinas cada uno y 56 imanes inductores. Por cada giro de la máquina, los hilos de las bobinas son atravesados por corrientes que cambian de sentido cada vez

(continúa 1849)

que una bobina pasa por delante de los polos de los inductores. Para una velocidad de 400 rpm se obtienen más de 100 cambios de sentido de la corriente por segundo (*J56*, pp. 98-99).

Emil Stöhrer (Alemania) publica "Einige Bemerkungen über die Construction magnetoelctrische Maschinen [...]" ("Algunas advertencias sobre la construcción de máquinas electromagnéticas [...]"²⁸, (*J51*), p. 99).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) emplea electrodos de carbón en una pila de un sólo líquido en lugar del cobre que normalmente se utiliza (*J56*, p. 13).

Henri A. Archereau (1819-1893; Francia) emplea en una pila de **Bunsen** (véase 1842) carbón de retorta tallado en forma de prismas y colocado en el vaso poroso con el cinc en el exterior (todas las pilas **Bunsen** fabricadas hasta ahora están hechas con carbón aglomerado en forma de cilindro hueco colocado con el ácido en un cilindro exterior, con el cinc en el interior del vaso poroso). Así, la pila que se conoce como *pila de Bunsen* es en realidad invención de Archereau (*J56*, pp. 20-21).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) inventa el galvanómetro de tangente de dos bobinas (*J25*, p. 111).

El 20 de septiembre, William Edwards Stalfé (1809-1854; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 12.772) por una lámpara de arco eléctrico (*J51*, p. 69).

W. Petrie (1821-1904; Inglaterra) propone utilizar iridio y sus aleaciones en las lámparas incandescentes (*J56*, p. 178).

C. T. Pearee (Inglaterra) desarrolla una lámpara de arco eléctrico en la que emplea lápices de carbón o un disco y una barra de carbón como electrodos y un mecanismo de relojería para regular la distancia entre ellos (*J61*, p. 25).

Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868; Francia) desarrolla una lámpara de arco eléctrico con electrodos de barras de carbón y un dispositivo electromagnético con un mecanismo de relojería como regulador de la distancia entre ellos (véase Foucault, 1844) (*J61*, p. 25). Su sistema se aplica en Francia durante las representaciones de la ópera *Le Prophète*, para simular el Sol naciente (*J25*, p. 110; *J34*, vol. V, p. 87).

En el *Her Majesty's Theatre*, de Londres, Inglaterra, se introduce la iluminación por arco eléctrico, durante las funciones del ballet *Electra* (*J25*, p. 110).

Henri A. Archereau (1819-1893; Francia) presenta su lámpara de arco eléctrico y su regulador de arco de 1848 ante el Zar, en San Petersburgo, Rusia (*J25*, pp. 110-111).

²⁸) *Annalen der Physik und Chemie de Poggendorff*, 77, pp 467-493.

(continúa 1849)

Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896; Francia) y Gounelle intentan medir la velocidad de la electricidad (véase Fizeau, 1847). Para ello colocan bandas alternas de materiales conductores y no conductores en el dispositivo empleado el año pasado por el primero de ellos para medir la velocidad de la luz. Sin embargo, obtienen resultados poco precisos, debido a la compleja distribución de la electricidad en los conductores ([34], vol. I, p. 20).

Wilkins propone la comunicación entre Inglaterra y Francia usando unas terminales enterradas y otras sumergidas en agua, en cada extremo ([16], p. 60).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) contribuye en la introducción del sistema de señales del tiempo enviadas por telégrafo desde Greenwich, Inglaterra ([40], p. 1749).

1849-50

Antonio Meucci (Italia-Cuba), italiano radicado en Cuba, inventa un telégrafo parlante ([10], p. 12).

1849-52

Karl August Steinheil (1801-1870; Alsacia) organiza las comunicaciones telegráficas en Austria ([34], vol. VIII, p. 22).

1849-58

Johann von Lamont (1805-1879; Escocia) establece un sistema de observaciones magnéticas en Baviera y viaja por varios países europeos para registrar el mayor número posible de datos magnéticos ([34], vol. VII, p. 609).

ca. 1850

El concepto de fuerza y de espacio de Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) ha evolucionado hacia un punto de vista totalmente nuevo. El espacio no es la nada, no es la simple localización de los cuerpos y de las fuerzas, sino que es un medio capaz de soportar (*support*) las tensiones de las fuerzas eléctricas y magnéticas. Las energías del mundo no se localizan en las partículas de las cuales surgen estas fuerzas, sino, más bien, se encuentran en el espacio circundante a dichas partículas ([3], vol. 19, p. 86).

Faraday propone que las líneas de fuerza magnéticas, a diferencia de las electrostáticas, son curvas cerradas. Argumenta que no se pueden explicar en términos de átomos de fuerza bajo tensión; desecha su anterior modelo de las tensiones interparticulares para la transmisión de la fuerza magnética. En lugar de esto, habla de un «torrente de poder», trazado por las líneas de fuerza; compara un imán con un circuito galvánico, en el cual el imán es la fuente de poder y el medio circundante juega el papel de los alambres de conexión para transmitir la «corriente» magnética; describe el imán como la «habitación de las líneas de fuerza.»

Aun cuando estas explicaciones resultan poco satisfactorias, Faraday está consciente de que cualquiera que sea la causa del magnetismo, la manifestación de la fuerza magnética tiene lugar en el medio circundante al imán, siendo esta manifestación el campo magnético y su energía está en el propio campo, no en el imán. Con esta concepción nace la teoría de campos²⁹⁾. Por extensión, Faraday asevera, se puede decir lo mismo de los sistemas eléctricos y gravitacionales ([34], vol. IV, pp. 538-539).

²⁹⁾ Este es el axioma fundamental de la teoría clásica de campos. Maxwell admitirá después que las ideas básicas de su teoría surgieron de los conceptos de Faraday y que su contribución más importante a la ciencia fue la de ponerlas en forma matemática.

(continúa ca. 1850)

Anders Jonas Angström (1814-1874; Suecia) crea un método para medir la conductividad térmica, mostrando que ésta es proporcional a la conductividad eléctrica. También estudia la relación entre el calor y el magnetismo ([40], p. 54).

La electricidad se ha establecido como un agente de gran valor para las comunicaciones y como poderoso agente químico tanto en la electrolisis como en la extracción de elementos altamente reactivos.

El tratamiento con choques eléctricos es prescrito por algunos médicos para una variedad de condiciones, aun cuando el beneficio para el paciente sea de dudarse.

Los instrumentistas sacan algún provecho del mercado para pequeños electroimanes manuales.

El progreso en los motores eléctricos es decepcionante; ha habido algunos desarrollos gracias al interés provocado por el comercio de metales plateados.

La aplicación potencial de la electricidad que parece más prometedora para la evolución de los generadores de electricidad es la iluminación (véase Nottet, 1850) ([51], p. 63).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) diseña un transformador eléctrico en el que combina las ventajas de un núcleo de hierro subdividido (para reducir pérdidas por corrientes parásitas) con una construcción simple. Enrolla las primeras vueltas sobre el centro, un tercio de la longitud de un paquete de alambres de hierro, y regresa los extremos, alambre por alambre, sobre las vueltas para completar el circuito magnético ([18], p. 174).

1850

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) publica las leyes que gobiernan el flujo de corriente en circuitos de varias ramas. También muestra matemáticamente que, de acuerdo con la electrodinámica, la electricidad debería propagarse a la velocidad de la luz en un conductor ideal ([25], p. 112).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) publica sus resultados sobre las propiedades magnéticas del oxígeno, y muestra que otros gases también tienen dichas características ([25], p. 113).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) descubre que el sulfuro de plata posee un alto coeficiente térmico negativo. Este fenómeno es la base de las resistencias no lineales sensibles a la temperatura (o termistores). Sin embargo, el fenómeno que descubre Faraday no es electrónico, sino de conducción iónica, y ésta está sujeta a los efectos de polarización ([52], p. 50).

Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Note sur les courants induits d'ordres supérieurs"⁽³⁰⁾ ([34], vol. XIII, p. 615).

Se escribe un artículo⁽³¹⁾ sobre consideraciones económicas respecto a la comparación entre fuentes energéticas. En uno de los párrafos se lee: "Un grano de carbón que se consume en el horno de un motor Cornish puede levantar 64.87 kg (143 libras) a una altura de 30.48 cm (un pie), mientras que un grano de cinc que se consume en una batería sólo puede levantar 34.85 kg (80 libras) a la misma altura. El costo de cien unidades de peso de carbón está abajo de los nueve peniques, mientras que el del cinc está por arriba de los 216 peniques, por lo

³⁰⁾ *Annales de chimie*, 3^e ser., 29, pp. 501-506.

³¹⁾ *Philosophical Magazine*, 35, p. 550.

(continúa 1850)

tanto, bajo las condiciones más favorables, la potencia magnética debe ser casi 25 veces más cara que la potencia del vapor. La conclusión es que la atención de los ingenieros y experimentalistas debe tornarse en el presente, no a inventar formas más perfectas de aplicar la potencia electromagnética, sino al descubrimiento de medios más eficaces de liberar la potencia misma a partir de las condiciones en las que existe almacenada en la naturaleza." (51), p. 52).

Moritz Hermann von **Jacobi** (1801-1874; Rusia) inventa un generador eléctrico, versión inversa de un motor eléctrico (116), p. 80).

Tanto en Inglaterra como en Francia se ha intentado perfeccionar la potencia luminosa de los faros costeros. Se ha establecido ya la luz de calcio (*lime-light*), que después se conocería como luz de **Drummond** (véase **Drummond**, 1826), como agente para la iluminación de las lámparas ópticas (o mágicas). Esta es una luz blanquecina de gran intensidad que se produce cuando se coloca un trozo de cal en una flama oxídrica. Floris **Nollet** (1794-1853; Bélgica) decide aplicar la luz de calcio a los faros, por lo que requiere de grandes cantidades de hidrógeno y oxígeno. Piensa obtener dichos gases a partir de la electrólisis del agua mediante un generador de corriente pesada (117), vol. I, 181).

El 24 de octubre, **Nollet** recibe la patente británica (no. 13,302), por medio de su agente E. C. **Shepard** -dado que un extranjero que viva fuera de Inglaterra no puede obtener una patente británica-, por una máquina magnetoelectrónica basada en un diseño de **Stöhrer** operada con vapor para emplearla en la descomposición del agua (118), p. 104).

El Congreso de Estados Unidos otorga una subvención de 20,000 dólares a Charles Grafton **Page** (1812-1868; Estados Unidos), de Salem, Massachusetts, quien ha construido ya varios motores eléctricos desde 1837. Aparentemente el Congreso está pensando en que los motores desarrollados sean utilizados por la Marina de ese país. En un informe presentado a la Secretaría de la Marina, **Page** afirma que ha construido máquinas de uno a cuatro caballos de fuerza, y solicita más fondos para fabricar un motor de 100 caballos; sin embargo, no logra obtener el dinero extra (véase 1851) (51), p. 52).

Cromwell Fleetwood **Varley** (1828-1883; Inglaterra) y Heinrich **Meldinger** diseñan una versión mejorada y simplificada de la celda de **Daniell** de 1836 (125), p. 112).

Wilhelm Gottlieb **Hankel** (1814-1899; Alemania) desarrolla un nuevo electrómetro de alta sensibilidad y baja autocapacitancia, que se utiliza junto con un microscopio (134), vol. I, p. 96).

Henry **Waterman** y George **Fox** desarrollan una forma de elevador eléctrico (125), p. 112).

Hermann von **Helmholtz** (1821-1894; Alemania) establece la velocidad del impulso nervioso (11).

En abril, el sistema británico de ferrocarriles alcanza los 11,200 km de líneas férreas, mientras que la *Electric Telegraph Company* sólo ha instalado 3,520 km de telégrafo (véase 1848 y 1851) (51), p. 35).

(continúa 1850)

John Watkins Brett (1805-1863; Inglaterra) y **Jacob Brett** (Inglaterra), trabajando por la parte francesa, el 23 de agosto inician la instalación de un cable submarino entre Calais, Francia y Dover, Inglaterra (véase 1846) ([3], vol. 18, pp. 202-204; [25], p. 113; [40], p. 238).

Alexander Bain (1810-1877; Escocia) extiende su sistema telegráfico desde Londres a Liverpool, Inglaterra, distantes unos 300 km ([25], p. 113).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) publica *Electric Telegraph Manipulation* (Manipulación del telégrafo eléctrico) ([40], p. 1749).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) trabaja como ingeniero asistente, junto con su hermano Edwin, en una compañía telegráfica ([34], vol. III, p. 288).

Guitard se da cuenta de que el aire electrificado provoca que las partículas de polvo se adhieran unas a otras. Sin saberlo, este descubrimiento revela una de las formas para detectar las ondas electromagnéticas y es un antecesor del cohesor (véanse los hermanos **Varley**, 1856) ([16], p. 61; [25], p. 112).

Jules Dubosc (1817-1886; Francia) simplifica y mejora el regulador de las lámparas de arco de **Foucault** de 1849, convirtiéndolo en un dispositivo práctico ([25], p. 112).

Por otro lado, **Dubosc** inventa el fenakitoscopio (un proyector) ([40], p. 486).

Antoine Philibert Masson (1806-1880; Francia) realiza numerosos experimentos sobre el arco voltaico y muestra que la electricidad no produce corriente en el vacío absoluto, lo cual impone la presencia de una materia ponderable. Establece que la chispa eléctrica es producida por una corriente que se propaga a través de materia ponderable y la calienta de la misma forma, siguiendo las mismas leyes que una corriente voltaica que calienta y vuelve luminoso un hilo metálico ([18], p. 120).

Shepard inventa una lámpara incandescente constituida por un cilindro de carbón vegetal y un cono que se enciende. Ambos elementos están dentro de un globo de vidrio al vacío ([25], p. 112).

Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) estudia la conductibilidad del arco eléctrico que salta entre dos puntos de sustancias diferentes, y encuentra que depende menos de la conductibilidad de los metales que forman los puntos que de la facilidad que tienen estos mismos metales de fundirse y volatilizarse. Remarca la diferencia de temperatura de los dos polos, diferencia tanto más grande si los polos están formados por una materia menos conductora o más fácil de desagregarse y de arder por el calor. La gran diferencia que observa entre dos puntas de carbón es debida sobre todo a diferencias en su combustión por el calentamiento muy desigual de los polos; encuentra que estas diferencias guardan una proporción de aproximadamente 2 a 1, siendo el polo positivo el más caliente. El calentamiento desigual es, además, acompañado por una diferencia en la degradación molecular de su sustancia que puede, a su alrededor, modificar la resistencia eléctrica y el calor desarrollado ([18], p. 121).

(continúa 1850)

En Francia e Inglaterra se realizan experimentos tendientes a la iluminación casera ([3], vol. 18, pp. 202-204).

William Scoresby (1789-1857; Inglaterra) publica *Zoistic Magnetism* (*Magnetismo zoista*) ([40], p. 1509).

1850-52

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) publica *Magnetism* (*Magnetismo*) ([40], p. 759).

1850-58

Se utiliza el impresor químico desarrollado por Alexander Bain (1810-1877; Escocia) como receptor telegráfico; se utiliza papel humedecido en un agente químico incoloro, el cual se descompone electrolíticamente mediante la corriente de señal recibida para dar un producto coloreado. Normalmente se usa yoduro de potasio, el que se transforma en yodo. Posteriormente se emplean receptores en los que una rueda alimentada con tinta presiona sobre el papel cuando se recibe la señal. Los mejores resultados se obtienen cuando una armadura polarizada magnéticamente hace funcionar el tintero y las señales Morse son corrientes de una polaridad, mientras que se transmite una corriente de polaridad opuesta en los espacios entre los puntos y las rayas. Por otro lado, en la mayoría de los transmisores automáticos, unos resortes presionan una cinta de papel perforada para que se complete el circuito cada vez que los contactos se encuentran a través de los agujeros de la cinta. La máxima velocidad de operación del sistema telegráfico completo está determinada por el transmisor, ya que los receptores impresores pueden trabajar más rápido que los transmisores. El factor limitante es el de los problemas tales como el que se rompe la cinta de papel o que los contactos fallan porque la cinta pasa demasiado rápido (véase Wheatstone, 1858) ([51], pp. 36-37).

1851

Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) presenta un artículo a la *American Association for the Advancement of Science* titulado "The Theory of the So-Called Imponderables" ("La teoría de los llamados imponderables"). Establece que la corriente descargada por una botella de Leyden provoca efectos inductivos, los cuales se propagan de una manera ondulatoria a una distancia sorprendente y, dado que éstos son resultado de corrientes en direcciones alternas, deberían producir en la vecindad cercana una serie de movimientos positivos y negativos y análogos, si es que no idénticos, a las ondulaciones (véase 1842) ([25], p. 114).

Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les phénomènes d'induction produits pour le mouvement des métaux [...]" ("Investigaciones sobre los fenómenos de inducción producidos por el movimiento de los metales [...]")³²⁾ ([34], vol. XIII, p. 615). Investiga los fenómenos de inducción electromagnética usando el movimiento de metales magnéticos y no magnéticos ([40], p. 1718).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) escribe sus primeros trabajos sobre las leyes de conservación y disipación de la energía ([1]).

Thomson deriva el resultado que expresa la energía de un sistema de imanes permanentes y temporales en términos de una integral de volumen a través del espacio. Introduce por primera vez un par de vectores, a los que Maxwell denominaría inducción magnética y fuerza magnética ([52], p. 51).

³²⁾ *Annales de chimie*, 3^e ser., 31, pp. 187-217.

(continúa 1851)

Thomson publica "Mathematical Theory of Magnetism" ("Teoría matemática del magnetismo") ([34], vol. IX, p. 206).

John Tyndall (1820-1893; Irlanda) publica³³⁾ su primera investigación científica, realizada con **Knoblauch**, sobre el comportamiento de los cuerpos cristalinos colocados entre los polos de un imán ([34], vol. XIII, p. 521).

Tyndall y **Knoblauch** demuestran contundentemente la polaridad del bismuto y otros cuerpos diamagnéticos ([40], p. 1697).

William Millward construye un generador electromagnético con ocho imanes de herradura acomodados en un círculo con sus polos apuntando hacia adentro. Emplea 16 bobinas montadas en una rueda que gira entre los polos de los imanes (véase **Nollet**, 1850) ([18], p. 104).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) construye dos motores que son capaces de jalar una locomotora de diez toneladas a una velocidad de 16 km/h ([25], p. 114).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) monta una bobina rectangular sobre un eje horizontal y, al rotarla en el campo terrestre, genera una fuerza electromotriz alterna ([25], p. 114).

Heinrich Daniel Rühmkorff (1803-1877; Alemania) inventa una bobina de inducción de alta tensión (resultado de un mejor aislamiento), la cual permite obtener voltajes suficientemente más altos como para estudiar las descargas eléctricas en los gases. A su dispositivo se le llegaría a conocer como *bobina de Rühmkorff* ([1], [25], p. 75; [34], vol. XI, p. 604).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) sugiere un sistema de medición eléctrica y magnética que permite establecer un estándar de resistencia eléctrica. Hasta ahora todas las unidades de resistencia se han basado sólo en los tamaños y pesos arbitrarios de un alambre ([18], p. 301).

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) publica "Ueber die Construction eines Elektrometers" ("Sobre la construcción de los electrómetros")³⁴⁾ ([34], vol. VI, p. 96).

William Edwards Staite (1809-1854; Inglaterra) ha perfeccionado ya su lámpara incandescente lo suficiente como para estar encendida por unas cinco horas (véase 1848) ([25], p. 114).

Escribe además un manuscrito sobre la historia de la luz eléctrica, en el cual **Staite** señala haber dado más de 40 demostraciones de sus lámparas incandescentes en diferentes ciudades de Inglaterra³⁵⁾.

Staite puntualiza haber enviado una carta al editor de *The Times* en la cual reclama que muchas de las lámparas de arco exhibidas en la *Great Exhibition* hacen uso de sus propias ideas y sin el reconocimiento debido. Reclama, también, ser el inventor del «sistema autorregulador» del control del arco de las lámparas ([51], p. 64).

³³⁾ *Philosophical Magazine*.

³⁴⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 84 (1851).

³⁵⁾ El manuscrito se encuentra ahora en los Archivos de la Institution of Electrical Engineers.

(continúa 1851)

En la *Great Exhibition*, en Inglaterra, se muestran varios modelos de lámparas de arco eléctrico ([51], p. 64).

John Watkins **Brett** (1805-1863; Inglaterra) y Jacob **Brett** inician la instalación del segundo cable submarino entre Calais, Francia y Dover, Inglaterra (véase 1850), esta vez con una armadura diseñada por T. R. **Crompton**. El cable estaría en operación alrededor de diez años ([25], p. 114).

Robert Stirling **Newall** (1812-1889; Escocia) participa en la instalación del cable telegráfico entre Calais, Francia y Dover, Inglaterra (véase **Brett**, arriba) ([40], p. 1249).

William **Fardely** (1810-1869; Inglaterra-Alemania) dirige la instalación de la línea telegráfica entre Neukirchen y Ludwigschafen, en Alemania ([40], p. 546).

En noviembre entra en servicio el primer cable submarino internacional, entre Dover, Inglaterra, y Calais, Francia. La instalación está a cargo de la *British Electric Telegraph Company* ([51], p. 35). Cuando se termina de instalar el cable, la comunicación se mantiene durante algunas horas, hasta que un pescador corta una sección del cable, creyendo que ha descubierto una forma de oro en las algas ([3], vol. 18, pp. 202-204; [25], p. 113; [40], p. 238).

Dado el lento avance en la instalación de líneas telegráficas logrado por la *Electric Telegraph Company* (véase 1850), comienzan a surgir nuevas compañías telegráficas. Por ejemplo, en agosto William Thomas **Henley** (ca. 1813-1882; Inglaterra) funda la *English & Irish Magnetic Telegraph Company* ([40], p. 785; [51], p. 35).

Se funda en Estados Unidos la *New York and Mississippi Valley Printing Telegraphy Company*, la cual usa el telégrafo impresor «House Telegraph Printer» (véase 1856) ([23], p. 114).

Charles **Bourseul** (1829-1912; Bélgica-Francia) entra a trabajar como ingeniero en el Sistema Telegráfico Francés ([40], p. 220).

Carl Ludwig **Frischen** (1830-1890; Alemania) comienza a trabajar en el servicio telegráfico de los ferrocarriles estatales de Hanover, Alemania ([40], p. 612).

Jean Joseph Étienne **Lenoir** (1822-1900; Bélgica) perfecciona el método de **Parkes** para la reproducción galvanoplástica de estatuas en bajorrelieve (véase 1841) ([40], p. 1025).

Moses Gerrish **Farmer** (1820-1893; Estados Unidos) supervisa la instalación del primer sistema eléctrico de alarma contra incendios de Estados Unidos, en Boston, Massachusetts (véase 1848) ([40], p. 547).

Michael **Faraday** (1791-1867; Inglaterra) propone una teoría similar a la de J. F. W. **Herschell** de 1830, sobre las causas del magnetismo terrestre ([34], vol. XII, p. 49).

(continúa 1851)

Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896; Alemania) prosigue sus investigaciones sobre la electricidad animal, de 1849; estudia las corrientes generadas en las glándulas secretoras y cree que puede obtener una corriente eléctrica de un brazo humano durante una contracción voluntaria (*J34*, vol. IV, p. 202).

1851-54

Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896; Francia) introduce el uso de un condensador para moderar los efectos opuestos de la corriente secundaria sobre la primaria en las bobinas de inducción de Rühmkorff (*J34*, vol. XI, p. 604).

1852

William Robert Grove (1811-1896; Gales) publica "On the Electro-Chemical Polarity of Gases" ("Sobre la polaridad electroquímica de los gases")³⁶. En dicho artículo Grove menciona sus observaciones sobre la apariencia estriada de los gases enfriados dentro de los tubos de descarga (véase Cassiot, 1858) (*J34*, vol. V, p. 561).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) extiende el principio de acción contigua a una descripción cualitativa general de los fenómenos magnéticos y electromagnéticos, basada en la suposición de que las líneas de fuerza magnética tienen la propiedad física de acortarse y repelerse entre sí lateralmente (*J34*, vol. IX, p. 205).

A Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) no le satisface la proposición de Jacobi de 1846, en el sentido de emplear un cable de cobre especialmente diseñado por él, para que sea utilizado como estándar de resistencia eléctrica, ya que no está de acuerdo en los estándares que dependen de la resistencia de un objeto particular, ni de la resistividad de una sustancia particular. En el volumen de su *Elektrodynamische Maassbestimmungen* de este año, define una medida absoluta para la resistencia eléctrica. Utiliza la ley de Ohm y la medida absoluta de la corriente, por lo que el problema se reduce sencillamente a obtener el voltaje. Weber define este estándar como el voltaje inducido en un circuito giratorio en un campo magnético dado³⁷ (*J34*, vol. XII, pp. 206-207).

Por otro lado, en la misma publicación, Weber informa sobre su éxito en aislar y demostrar la existencia del efecto diamagnético, descrito en 1848. Utiliza la uniformidad efectiva del campo magnético de un solenoide muy largo. Un cilindro de bismuto, moviéndose dentro del solenoide, no presentaría los efectos de las corrientes inducidas, pero sí afectaría los detectores magnéticos cercanos debido a los efectos diamagnéticos. Extiende la teoría magnética de Ampère, para que incluya dichos efectos. Según esta explicación, el diamagnetismo ocurre cuando se inducen las corrientes moleculares sin resistencia en las sustancias diamagnéticas. Estas sustancias se caracterizan porque sus moléculas no tienen corrientes permanentes y tienen una orientación fija.

A partir de este año, Weber trata de interpretar la resistencia eléctrica como resultado del movimiento de fluidos o partículas eléctricas. Se creía que la resistencia tenía sus orígenes en la combinación y separación repetidas de las partículas de los dos fluidos eléctricos, cuyo movimiento contrario componía una corriente. La existencia de corrientes permanentes amperianas, hace que Weber crea que los fluidos no interactúan directamente con los átomos materiales de las sustancias y que los átomos magnéticos de los dos tipos de fluidos circulan en trayectorias diferentes, no intersectantes, alrededor de los átomos (*J34*, vol. XII, p. 208).

³⁶) *Philosophical Transactions*, 142.

³⁷) Después se presentarían diversos métodos prácticos para medir la resistencia eléctrica.

(continúa 1852)

Thomas Allan construye uno de los motores electromagnéticos más ingeniosos de esta época. Es básicamente un motor recíprocante con cuatro cigüeñales y cuatro varas de pistón. Cada una de estas varas lleva cuatro armaduras que hacen presión sobre collares (*collars*) en la vara, pero no están fijas a ella. Dieciséis conjuntos de bobinas, uno para cada armadura, son energizados uno a la vez mediante un conmutador. Cada vara de pistón está activa durante un cuarto de revolución del cigüeñal y cada electroimán es energizado durante un dieciseisavo de revolución. Cada vez que la armadura topa con un electroimán, ésta es detenida, pero la vara de pistón continúa su camino ([51], pp. 58-59).

Floris Nollet (1794-1853; Bélgica) solicita la patente, a través de su agente británico Shepard (véase Nollet, 1850), por un motor magnetoeléctrico basado en el generador de Millward de 1851. Nollet gira los imanes 90° de tal forma que las bobinas pasen delante de ellos, en lugar de que pasen por entre ellos ([18], p. 105).

Los patrocinadores de Floris Nollet (1794-1853; Bélgica) forman la *Compagnie de l'Alliance*, una empresa anglofrancesa para desarrollar las ideas de Nollet (véase Nollet, 1850 y más arriba). Es probablemente la primera compañía en el mundo para producir luz mediante la electricidad ([18], p. 105; [51], p. 77).

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811-1899; Alemania) empieza a usar técnicas electroquímicas para aislar metales puros en cantidades suficientes para poder determinar sus propiedades químicas y físicas. De esta forma, aísla magnesio ([25], p. 115; [34], vol. II, p. 388).

William Thomas Henley (ca. 1813-1882; Inglaterra) y Forster inventan un telégrafo de aguja magnética ([40], p. 785).

Se termina de instalar la línea telegráfica entre Londres y Bristol, Inglaterra ([51], p. 35).

Entra en uso la forma de codificar los alambres eléctricos por color ([25], p. 115).

Edward Sabine (1788-1883; Irlanda) descubre la interrelación entre las perturbaciones magnéticas de la Tierra y la variación periódica de las manchas solares ([40], p. 1463).

Rudolf Wolf (1816-1893; Suiza) descubre la relación entre las manchas solares y las variaciones geomagnéticas. Cree que las auroras están relacionadas con las manchas solares ([40], p. 1817).

Archibald Smith (1813-1872; Escocia) y Frederick J. O. Evans publican *Admiralty Manual for ascertaining and applying the Deviations of the Compass caused by the Iron in a Ship* (*Manual del Almirantazgo para comprobar y aplicar la desviación de las brújulas causada por el hierro en los barcos*) ([40], p. 1563).

- 1852-72 Henry Highton (1816-1874; Inglaterra) realiza una investigación sobre la comunicación inalámbrica por conducción (véase 1872) (*16*, p. 61).
- 1853 Peter Teophil Riess (1804-1883; Alemania) publica *Lehre von der Reibungselektrizität (Lecciones sobre electricidad estática)* (*40*, p. 1424). Gran parte de los enunciados aquí descritos se basan, todavía, en la teoría cualitativa matemática de la electrostática que Aepinus estableciera en su libro *Tentamen* de 1759 (*34*, vol. I, p. 68).
- William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) establece las leyes de los circuitos inductivo-capacitivos resonantes en "Oscillatory Discharge of a Leyden Jar" ("Descarga oscilatoria de una botella de Leyden"). A partir de cálculos matemáticos, Thomson demuestra la naturaleza oscilatoria de la descarga de un circuito condensador. Desarrolla la ecuación de segundo orden para la frecuencia de oscilaciones amortiguadas³⁸ (*16*, pp. 303; *25*, p. 116).
- Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) informa que se puede producir una corriente eléctrica en el aire, mediante un potencial de unos cuantos volts, si primero éste se calienta entre electrodos de platino (véase Du Fay, ca. 1753) (*3*, vol. 18, p. 531).
- Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) y Rudolph Franz encuentran que el cociente entre las conductividades del calor y de la electricidad es el mismo para todos los metales a la misma temperatura. A esta relación se le llegaría a conocer como la ley de Wiedemann-Franz. Publican "Ueber die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle" ("Sobre la capacidad de conducción térmica de los metales")³⁹ (véase Riecke, 1898) (*34*, vol. VIII, p. 502 y vol. XII, p. 330; *40*, p. 1795).
- J. C. Fuller mejora la pila de Daniell (véase 1836); prolonga su vida útil al emplear sulfato de cinc en lugar de ácido sulfúrico. La pila de Fuller tiene gran aceptación en los telégrafos (*7*, p. 898).
- Hans Peter Jörgen Julius Thomsen (1826-1909; Dinamarca) inventa una batería de polarización que se utilizaría en el servicio telegráfico danés (*40*, p. 1668).
- William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda), inadvertidamente, vuelve a inventar el puente de Wheatstone de 1843 (*16*, pp. 301-303; *25*, p. 116).
- J. H. Johnson es uno de los primeros en construir un horno eléctrico práctico (véanse Napier, 1844 y Pichow, más adelante) (*25*, pp. 115-116).
- Pichow, independientemente de Johnson (véase arriba), construye uno de los primeros hornos eléctricos prácticos (*25*, p. 116).

³⁸) Dicho trabajo es la base teórica de los primeros trabajos de Helmholtz, quien explicaría la resonancia en términos del péndulo que tiene la misma ecuación de segundo orden.

³⁹) *Annalen der Physik und Chemie*, 89.

(continúa 1851)

Anders Jonas **Ångström** (1814-1874; Suecia) escribe una serie de artículos titulados "Optiska undersökningar"⁽⁴⁰⁾. En estas investigaciones ópticas, señala que el espectro de una aleación de dos metales contiene el espectro de cada constituyente y que de una chispa eléctrica resultan dos espectros superpuestos: uno del metal del electrodo y el otro del gas por el cual pasa la chispa. A partir de la teoría de la resonancia de Euler, deduce un principio del análisis espectral: un gas incandescente emite rayos de una refrangibilidad igual a aquella que puede absorber ([3], vol. I, p. 414; [34], vol. I, p. 166).

Después de la muerte de Floris Nolle (1794-1853; Bélgica), la empresa anglofrancesa encargada de desarrollar sus patentes sobre máquinas magnetoeléctricas para producir hidrógeno y oxígeno a partir de la electrólisis del agua, la *Compagnie de l'Alliance* (véase Nolle, 1852), comienza a tener dificultades técnicas. Por ello, los directores de la compañía deciden invitar a Frederick Hales **Holmes** (Inglaterra) para que colabore en la solución de los problemas ([17], vol. V, p. 181).

Luego de estudiar las máquinas electromagnéticas de la *Alliance*, Holmes queda convencido de poder construir un generador similar, pero para aplicarlo a la generación de luz en las lámparas de arco. A.-E. **Becquerel** comenta este hecho diciendo que «Nadie, excepto un tonto o un inglés, lo hubiera creído» ([25], p. 115; [51], p. 77).

El 12 de marzo, William Edwards **Stait** (1809-1854; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 631) por una lámpara de arco eléctrico ([51], p. 69).

Amos Emerson **Dolbear** (1837-1910; Estados Unidos) inventa el teléfono de cuerda; sin embargo, nunca patenta este dispositivo (véase Stubblefield, 1887) ([25], p. 116).

Robert Stirling **Newall** (1812-1889; Escocia) inventa un tambor de freno y un cono para instalar cables telegráficos en mares profundos ([40], p. 1249).

Josiah Latimer **Clark** (1822-1898; Inglaterra) muestra que los efectos de retardo en los cables telegráficos son causados por la inducción⁽⁴¹⁾ ([34], vol. III, p. 288).

Charles Tilston **Bright** (1832-1888; Inglaterra) instala el primer cable telegráfico entre Irlanda y Escocia ([40], p. 241).

En India se establece un sistema telegráfico ([1]).

Se transmite el primer mensaje telegráfico entre Inglaterra e Irlanda a través de un cable submarino⁽⁴²⁾ ([25], p. 116).

Elisha Graves **Otis** (1811-1861; Estados Unidos) exhibe un sistema de elevador (ascensor), en la Feria Mundial de Nueva York, Estados Unidos, el cual es el primero en poseer un sistema seguro de frenos, en caso de que el cable se rompa ([25], p. 116).

⁴⁰⁾ *Philosophical Magazine*, 9 (1855).

⁴¹⁾ **Faraday** ampliaría esta idea.

⁴²⁾ Este servicio duraría más de 20 años.

1853-59

Johann Wilhelm **Hittorf** (1824-1914; Alemania) vuelve a estudiar el problema planteado por **Daniell** en 1839, sobre la conductividad eléctrica en las soluciones electrolíticas, y razona de la siguiente forma: los cationes y aniones existen en las soluciones y migran bajo la influencia de una corriente eléctrica que pasa a través de la solución. La migración del catión hacia el cátodo, alejándose del ánodo, y la deposición del anión en el electrodo positivo, provocan un decremento de la sal en la vecindad del ánodo. Un análisis similar muestra que también hay un decremento en la concentración de sal en la vecindad del cátodo. Si el movimiento de los dos tipos de iones fuera el mismo, el decremento en la concentración de la sal sería el mismo en los dos electrodos. **Hittorf** desarrolla una técnica que le permite medir los cambios en la concentración en los dos electrodos y encuentra que éstas no son iguales. Concluye que las velocidades de migración de cada tipo de ion es diferente, por lo que decide caracterizar este hecho mediante la definición de los *números de transporte*, los cuales especifican la porción del transporte de electricidad llevada por cada ion. Basa sus análisis en la teoría de la estructura de una solución propuesta por **Clausius** en 1857, según la cual, siempre existe un pequeño número de iones en una solución. Según **Hittorf**, estos iones son los que transportan la carga eléctrica a través de la solución. describe sus resultados en "Ueber die Wanderungen der Ionen während des Elektrolyse" ("Sobre la migración de iones durante la electrólisis"), en 4 capítulos⁴³⁾ (véase **Manly**, 1899) (*J34*, vol. VI, pp. 439-440).

1854

Théodore Achille Louis **Du Moncel** (1821-1884; Francia) publica su obra *Exposé des applications de l'électricité* (*Exposición de las aplicaciones de la electricidad*) (1853-1854), la cual llegaría a ser una enciclopedia de referencia de los desarrollos eléctricos hasta el momento⁴⁴⁾ (*J34*, vol. IV, p. 248).

Johann Christian **Poggendorf** (1796-1877; Alemania) sugiere el uso de una técnica de enrollado en las bobinas de inducción de **Rühmkorff**, que previene su destrucción por la producción de chispas (*J34*, vol. XI, p. 604).

Charles Grafton **Page** (1812-1868; Estados Unidos) patenta el diseño de una máquina electromagnética recíproca (véase 1848) (*J40*, p. 1298).

Wilhelm Friedrich **Eisenlohr** (1799-1872; Alemania) investiga la luz ultravioleta, especialmente la producida por una descarga eléctrica en un gas (*J40*, p. 516).

Durante los últimos diez años, Antoine-Philibert **Masson** (1806-1860; Francia) ha investigado la chispa producida por una descarga eléctrica en diferentes medios. Este año publica *Mémoire sur l'étincelle électrique* (*Memoria sobre la chispa eléctrica*) (*J34*, vol. IX, p. 166).

Heinrich **Gobel** (Alemania) inventa la primera forma del bulbo de luz eléctrica (*J1*).

⁴³⁾ Que serían reimpresos en *Klassiker der Exakten Wissenschaften* de **Ostwald**; el primer volumen se republicaría en 1899.

⁴⁴⁾ Una segunda edición aparecería entre 1856 y 1862, y la tercera edición sería de los años 1872 a 1878. La contribución más importante de **Du Moncel** es la de que sus experimentos e interpretaciones del trabajo de sus contemporáneos ayudan a organizar las innovaciones eléctricas entre 1850 y 1880.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1854)

James Bowman Lindsay (1799-1862; Escocia) patenta su método de comunicación por conducción, que se basa en la transmisión a través de un río ([16], p. 61; [40], p. 1048).

Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les propriétés optiques développées dans les corps transparents par l'action du magnétisme" ("Investigaciones sobre las propiedades ópticas desarrolladas dentro de los cuerpos transparentes por la acción del magnetismo")⁴⁵⁾ (véase 1854-63) ([34], vol. XIII, p. 615).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) empieza a estudiar el sistema de telegrafía diseñado por Lindsay (véase arriba), y el sistema de comunicación inalámbrica por inducción magnética. Señala las limitaciones de ambos sistemas ([25], p. 96).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) inventa un relé y una llave de doble corriente ([40], p. 1713).

En Italia se tiende un cable telegráfico submarino entre Córcega y Spezia ([25], p. 116).

Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos), empresario estadounidense, organiza la *Atlantic Cable Company* para instalar el cable transoceánico ([25], p. 116).

Carl Ludwig Frischen (1830-1890; Alemania) pasa a ser ingeniero telegráfico del servicio de telegrafía de los ferrocarriles estatales de Hanover, Alemania (véase 1851) ([40], p. 612).

Charles Bourseul (1829-1912; Bélgica-Francia) sugiere que el término «teléfono» se use para la transmisión de la voz humana y publica un artículo en el cual describe un método para transmitir la voz. Su idea se basa en el uso de contactos que se cierran y abren a la frecuencia de la fuente del sonido. Sin embargo, esta idea no resulta práctica, por lo que no intenta comercializarla (véase 1861) ([10], p. 12; [25], p. 117).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) construye una locomotora electromagnética que pesa unas doce toneladas y tiene una velocidad de unos 30.6 km/h (véase 1850) ([51], p. 52).

Elisha Graves Otis (1811-1861; Estados Unidos), habiendo establecido su propio negocio, demuestra su elevador de seguridad en Albany, Nueva York, Estados Unidos (véase 1853) ([40], p. 1293).

1854-58

Arthur-Auguste de La Rive (1801-1873; Ginebra) publica *Traité d'électricité théorique et appliquée* (*Tratado de electricidad teórica y aplicada*), en tres volúmenes ([34], vol. VIII, p. 37).

⁴⁵⁾ *Annales de chimie*, 3^e ser., 41, pp. 370-412.

- 1854-63 Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) investiga el *efecto Faraday*: estudia su dependencia con la fuerza del imán que causa la rotación del plano de polarización, el medio por el que viaja la luz y el color de la luz. Encuentra que la potencia magnética de rotación es directamente proporcional a la intensidad del imán, inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda de la luz y está relacionada con el índice de refracción del material⁴⁶⁾ (véanse 1854, 1855, 1858 y 1863) (*J34*, vol. XIII, p. 615).
- ca. 1855 Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) construye un motor más grande y poderoso que los de 1851 (*J25*, p. 114).
- William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) proporciona la teoría correspondiente al electrometro inventado por Volta en 1787 para medir la electricidad atmosférica, y lo reemplaza con su «gotero de agua» (*water dripper*) (*J34*, vol. XVI, p. 74).
- Thomson, por otro lado, le escribe una carta a Tyndall en la que se refiere a las *cualidades mecánicas* del medio que impregna todo el espacio (véase 1855) (*J34*, vol. XIII, p. 384).
- 1855 Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les propriétés optiques développées dans les corps transparents par l'action du magnétisme" ("Investigaciones sobre las propiedades ópticas desarrolladas dentro de los cuerpos transparentes por la acción del magnetismo")⁴⁷⁾ (véase 1854-63) (*J34*, vol. XIII, p. 615).
- Archibald Smith (1813-1872; Escocia) publica *Supplement to the Rules for ascertaining and applying the Deviations of the Compass caused by the Ship's Iron* (Suplemento a las reglas para comprobar y aplicar las desviaciones de la brújula causadas por el hierro de los barcos) y *A Graphic Method for Correcting the Deviations of a Ship's Compass* (Un método gráfico para corregir las desviaciones de las brújulas de los barcos) (*J40*, p. 1563).
- La mente de Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) empieza a fallar. Aun así, realiza todavía algunos experimentos para comprobar su hipótesis de que la gravedad, como el magnetismo, se debe poder convertir en algún otro tipo de fuerza, principalmente eléctrica. Para este fin, trata de detectar los efectos eléctricos al levantar un cuerpo muy pesado. Sin embargo, en esta ocasión no logra tener éxito y la *Royal Society of London* se niega a publicar sus resultados negativos (*J3*, vol. 19, p. 86).
- Faraday publica el tercer volumen de *Experimental Researches in Electricity* (Investigaciones experimentales en electricidad) (véanse 1839 y 1844) (*J40*, p. 545).
- William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) cree que la explicación última de todos los fenómenos electromagnéticos yace en la estructura del medio que impregna todo el espacio, al cual le ha atribuido *cualidades mecánicas* (véase ca. 1855) (*J34*, vol. XIII, p. 384).
- Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) descubre que el mero desplazamiento de un conductor metálico en un líquido es suficiente para

⁴⁶⁾ En reconocimiento a su trabajo, se le denominaría «constante de Verdet» a una medida de la intensidad de la rotación magnética.

⁴⁷⁾ *Annales de chimie*, 3^a ser., 43, pp. 37-44.

(continúa 1855)

producir una corriente de electricidad. Consigue medir la fuerza electromotriz de la pila voltaica mediante el uso de la balanza electrostática diseñada por su padre Antoine-César **Becquerel** (1788-1878; Francia), instrumento que le permite pesar la fuerza relativa de una corriente eléctrica. Estudia también los efectos separados del líquido, el metal, la temperatura y la polarización de los electrodos en el funcionamiento de pilas voltaicas (véase 1844) ([34], vol. I, p. 556).

Jean Bernard Léon **Foucault** (1819-1868; Francia) demuestra la conversión de trabajo mecánico en calor, al hacer girar un disco de cobre, por medio de una palanca, entre los polos de un electroimán y medir el calor producido en el disco ([34], vol. V, p. 87).

Théodore Achille Louis **Du Moncel** (1821-1884; Francia) publica *Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff* (Noticia sobre el aparato de inducción de Ruhmkorff) ([34], vol. IV, p. 248).

Sören **Hjorth** (1801-1870; Dinamarca) obtiene una patente, que nunca llegaría a explotar, en la que propone que los electroimanes de un generador de electricidad pueden ser activados una vez que éste está en marcha, utilizando parte de la propia electricidad generada, sin necesidad de recurrir a una batería externa (*principio de la autoexcitación*). Sin embargo, el dispositivo aún requiere de imanes permanentes para ponerla en marcha (véanse **Callan**, 1838; **Wheatstone**, 1845 y **Wilde**, 1866) ([7], p. 901; [62], p. 125).

William **Thomson** (Lord **Kelvin**) (1824-1907; Irlanda) diseña un electrómetro basado en el de W. S. **Harris** (véase 1834), al que le agrega un anillo de resguardo para prevenir efectos electrostáticos. Produce así un voltímetro electrostático de precisión en el que el voltaje entre las placas superior e inferior puede ser calculado a partir de las dimensiones y la fuerza de atracción medidas por medio de una palanca balanceada ([18], p. 292). Puede registrar hasta unos 10,000 V ([25], p. 117).

Peter Guthrie **Tait** (1831-1901; Escocia) y Thomas **Andrews** estudian las descargas eléctricas en los gases ([34], vol. XIII, p. 236).

Jean-Mothée **Gauguin** (1810-1880; Francia) se da cuenta, al parecer por primera vez, de que un tubo al vacío que tiene los dos electrodos de diferente tamaño es capaz de desviar o rectificar la corriente oscilante de una bobina de inducción. **Gauguin** describe sus observaciones en un artículo⁴⁸⁾.

Sin embargo, durante muchos años el único uso de tales descargas sería como fuentes de luz. Las lámparas requieren de altos voltajes. Con la disponibilidad de los gases raros, como el neón y el argón, y con cátodos de baja función de trabajo, los tubos de descarga se desarrollarían para aplicaciones de bajo voltaje ([52], p. 51).

Charles Tilston **Bright** (1832-1888; Inglaterra) patenta un telégrafo acústico (campanas de **Bright**) ([40], p. 241).

David Edward **Hughes** (1831-1900; Inglaterra) patenta un telégrafo capaz de imprimir directamente símbolos tipográficos (véase **House**, 1814 y 1845; Estados Unidos, 1851, y **Wheatstone**, 1858) ([10], p. 10; [25], p. 117). En Estados Unidos

⁴⁸⁾ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 40, p. 640.

(continúa 1855)

vende su invento a la *Commercial Printing Telegraph Company*, aun cuando es un sistema incompleto, por 100,000 dólares (véase 1857) (*f40 p. 840*).

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) inventa un telégrafo dúplex y uno cuádruplex (*f40, p. 547*)

En Inglaterra se instala un telégrafo eléctrico entre Londres y Balaklava (*f11*).

Jean Joseph Étienne Lenoir (1822-1900; Bélgica) inventa un sistema eléctrico de frenos para los trenes (*f40, p. 1025*).

Johann Heinrich Wilhelm Geissler (1815-1879; Alemania), soplador de vidrio y fabricante de instrumentos de Bonn, Alemania, desarrolla una bomba de aire de mercurio, con la que le permite obtener un vacío mucho más alto. Este dispositivo es precursor de las bombas usadas para desarrollar tubos al vacío (véase Geissler, 1856) (*f25, p. 117*).

1855-56

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) publica, en colaboración con su padre Antoine-César Becquerel (1788-1878; Francia), una obra en tres volúmenes titulada "Traité d'électricité et de magnétisme, leurs applications aux sciences physiques, aux arts et à l'industrie" ("Tratado de electricidad y magnetismo") (véase 1845) (*f34, vol. I, p. 556*).

1856

D. A. Wells, en su libro *Science popularly explained: the principles of natural and physical science* (*La ciencia explicada en forma común y corriente: los principios de las ciencias naturales y físicas*), anota algunas estimaciones sobre el valor de la velocidad de la electricidad. Casi todos estos valores son mayores que la velocidad de la luz (*f16, p. 239*).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda), a raíz de la teoría de Rankine sobre la estructura de la materia -desarrollada en la década anterior, basada en la tesis de que las moléculas son núcleos pequeños en una atmósfera etérea, fijos en el espacio pero girando sobre sus ejes con velocidades proporcionales a la temperatura-, concluye que mediante la rotación molecular es posible explicar el fenómeno magnetoóptico de Faraday. Publica "Dynamical illustrations of the Magnetic and Helicoidal Rotary Effects of Transparent Bodies on Polarized Light" ("Ilustraciones dinámicas de los efectos rotatorios magnéticos y helicoidales de los cuerpos transparentes sobre la luz polarizada")⁴⁹⁾, en el cual emplea la analogía de un péndulo suspendido de un brazo en rotación y concluye que este tipo de fenómenos pueden ser atribuidos al acoplamiento entre las vibraciones del éter y el movimiento rotatorio de las moléculas del vidrio alrededor de las líneas de fuerza (*f34, vol. IX, p. 207*).

Thomson argumenta que de cualquier corriente galvánica se extiende una espiral en movimiento, formada por entidades microscópicas que poseen propiedades materiales; esta espiral envuelve la línea de fuerza magnética que pasa por el centro del eje de la corriente. De hecho, Thomson piensa que la corriente en sí consiste en segmentos de dicha espiral atrapados en la materia ponderable. Las ondas de luz se propagan por las vibraciones transversales de las partículas de la espiral y el plano de polarización es girado en uno u otro sentido, dependiendo del movimiento de la espiral, el cual, a su vez, depende de la dirección de la fuerza magnética (*f34, vol. XIII, p. 384*).

⁴⁹⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 7.

(continúa 1856)

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) publica *Galvanism [...]* (*Galvanismo [...]*) (40), p. 759).

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) presenta su artículo "On Faraday's Lines of Force" ("Sobre las líneas de fuerza de Faraday"), dividido en dos partes. La primera es una exposición de las analogías entre las líneas de fuerza y las corrientes en un fluido incompresible. Contiene una extensión al tratamiento que W. Thomson hace este mismo año (véase arriba) sobre este tema y un discurso inicial del significado filosófico de las analogías entre diferentes ramas de la física. Propone que el fluido incompresible está constituido por vórtices adyacentes, cada uno de ellos girando en el mismo sentido que los demás y separado de sus vecinos por una capa de partículas muy pequeñas (identificada con la electricidad), las cuales giran en sentido opuesto al de los vórtices. De esta forma, la electricidad, en lugar de ser un fluido confinado a los conductores, es una nueva entidad diseminada en todo el espacio. Con este modelo se pueden explicar los fenómenos electromagnéticos, incluyendo la inducción electromagnética; además sugiere una interpretación física para la función electrodinámica de Faraday. Maxwell describe que ésta corresponde al momento reducido del sistema de vórtices en cada punto. Las fuerzas entre cuerpos cargados se pueden atribuir a la energía potencial acumulada en el medio, debido a la distorsión elástica, análogamente a como la fuerza magnética se atribuye a la energía rotacional acumulada. La diferencia entre conducción e inducción electrostática es similar a la diferencia entre procesos viscosos y elásticos en la materia.

De esta teoría se derivan dos consecuencias. Primero, dado que las partículas eléctricas alrededor de un conductor poseen un desplazamiento elástico, una corriente variable ya no está confinada totalmente al conductor, sino que penetra hasta cierto grado el espacio circundante. Esta es la corriente de desplazamiento de Maxwell. Segundo, Maxwell concluye que la luz consiste en ondas transversales del mismo medio que es responsable de los fenómenos eléctricos y magnéticos (34), vol. IX, pp. 207-209). Sin embargo, hace hincapié en que éste es un modelo provisional (34), vol. IX, p. 210).

Maxwell analiza el paso de un fluido de un medio a otro de diferente porosidad y estudia el caso cuando la porosidad varía con la dirección del movimiento, estas ecuaciones las había dado Stokes en un artículo sobre la conducción del calor en los cristales -Stokes encontró que el vector que define la dirección del movimiento no es, en general, paralelo a la dirección del gradiente de presión máxima. Al hacer la analogía con el magnetismo, Maxwell distingue dos vectores, la inducción magnética $\mathbf{B}$ y la fuerza magnética $\mathbf{H}$, así como, en el caso eléctrico, la densidad de corriente $\mathbf{I}$ y la intensidad electromotriz $\mathbf{E}$. Estas distinciones dan la pauta para la descripción de la inducción magnetocrística, una fuerza observada por Faraday, en los materiales magnéticos cristalinos. El tema final de la primera parte de este artículo es un análisis del paralelismo que existe entre las corrientes eléctricas y las líneas de fuerza magnética, que había sido estudiado cualitativamente por Faraday.

En la segunda parte del artículo, Maxwell desarrolla una nueva teoría formal de los procesos electromagnéticos. El punto de partida es una igualdad, establecida por Ampère y Gauss, entre los efectos magnéticos de una corriente eléctrica cerrada y aquéllos de un caparazón de hierro uniformemente magnetizado, del mismo perímetro que la corriente cerrada. El método analítico que emplea sigue al utilizado por Thomson en 1851 y hace uso del famoso teorema de Stokes -Thomson lo demostró por primera vez en 1847. Obtiene un conjunto completo de ecuaciones entre los cuatro vectores $\mathbf{E}$, $\mathbf{I}$, $\mathbf{B}$ y $\mathbf{H}$. Deriva, además, otro vector, $\mathbf{A}$, que representa la acción magnética ordinaria, la inducción electromagnética y la fuerza entre corrientes cerradas. Maxwell lo llama función electrostática.

(continúa 1856)

El artículo termina con las soluciones a una serie de problemas, incluyendo la aplicación de la función electrostática para calcular la acción de un campo magnético sobre una esfera conductora en rotación ([34], vol. IX, pp. 206-207).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) y Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) determinan el valor de la constante involucrada en la ecuación de Weber ([34], vol. IX, p. 205).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) y Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) determinan el cociente entre las unidades de carga electrostática y electrodinámica⁵⁰⁾. El experimento consiste en tomar una pequeña carga de un gran condensador, la cual se mide electrostáticamente con una balanza de torsión de Coulomb; la carga restante se descarga a través de un galvanómetro balístico. Convirtiendo al equivalente del cociente entre las unidades electrostática y electromagnética, encuentran un valor de 3.1074×10^8 m/s, casi igual a la velocidad de la luz y de las mismas dimensiones; sin embargo, no le dan mucha importancia a esta semejanza ([3], vol. 18, pp. 202-204; [34], vol. XIV, pp. 205 y 207).

Frederick Hales Holmes (Inglaterra), luego de su estadía en Francia en donde colaboró con la *Compagnie de l'Alliance* (véase 1853), regresa a Inglaterra. Recibe una serie de patentes por diversos generadores magnetoelectrónicos y equipo asociado ([17], vol. I, p. 182).

Jean Joseph Étienne Lenoir (1822-1900; Bélgica) inventa un motor eléctrico ([40], p. 1025).

Jean Joseph Étienne Lenoir (1822-1900; Bélgica) inventa una artesa y un gobernador mecánicos para los motores eléctricos ([40], p. 1025).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) inventa la armadura longitudinal devanada de tipo lanzadera (*shuttle winding*), que gira en un túnel estrecho formado por los polos de los imanes. El alambre está enrollado en ranuras longitudinales profundas y los extremos conectados a dos placas curvas de contacto de un conmutador simple. El dispositivo es el precursor de la armadura de tambor ([18], p. 107).

Jean Bernard Léon Foucault (1819-1868; Francia) perfecciona el desempeño de las bobinas de inducción de Rühmkorff con su interruptor de mercurio ([34], vol. V, p. 87).

Johann Heinrich Wilhelm Gelsler (1815-1879; Alemania) comienza a fabricar tubos pequeños de vidrio, en cuyos extremos coloca dos electrodos y los llena con gas enrarecido (véase Plücker, 1858) ([34], vol. I, p. 340). Los tubos son largos y de pequeño diámetro interior, están llenos de diferentes gases a bajas presiones (logradas con su bomba de vacío de mercurio del año pasado) y excitados por una corriente alterna de alto voltaje. Sin embargo, los procesos de pulverización (*sputtering*) de los electrodos junto con la absorción interna del gas (*gas cleanup*), provocan un rápido desgaste de los tubos. Dentro de los primeros

⁵⁰⁾ Esta última siendo mayor, por un factor de $\sqrt{2}$, que la unidad electromagnética actualmente usada

(continúa 1856)

usos que se le darían a los tubos están los análisis espectrales y las demostraciones públicas (J52), pp. 51-52).

Changy diseña una lámpara incandescente, la cual quema un filamento de platino dentro de un recipiente que no está al vacío (J25), p. 118).

Frederick Hales Holmes (Inglaterra) tiene en mente aplicar la electricidad a la generación de luz en las lámparas de arco (J17), vol. V, p. 182). En particular construye un dinamo en el que emplea varios imanes permanentes. Básicamente, está constituido por diversos generadores independientes sobre una armadura (véase Holmes, 1857) (J25), p. 118).

Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos) y Jacob Brett, después de consultar a Gishorne, canadiense experimentado en la instalación de cables submarinos profundos, organizan la *Atlantic Telegraphy Company*, cuyo propósito es el tendido de un cable telegráfico a través del Océano Atlántico. Se realiza el primer intento de la instalación, entre Irlanda y Newfoundland, Estados Unidos; sin embargo, el intento fracasa (véase 1854) (J25), p. 119).

La *New York and Mississippi Valley Telegraph Company* se reorganiza como la *Western Union Telegraph Company*, bajo la dirección de Sibley (véase 1851) (J25), p. 119).

William Fardely (1810-1869; Inglaterra-Alemania) publica *Der Zeigertelegraph für den Eisenbahndienst* (El telégrafo de aguja para el servicio ferroviario) (J40), p. 546).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) y Samuel Alfred Varley descubren el principio del cohesor (véase Guitard, 1850) (J16), p. 61). Es decir, encuentran que un metal finamente pulverizado presenta una resistencia alta al paso de la corriente, pero que se vuelve buen conductor al aumentar el voltaje (J40), p. 1713).

1856-83

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) publica *Elektrische Untersuchungen* (Investigaciones eléctricas) (J40), p. 748).

ca. 1857

Heinrich Ludwig Buff (1805-1878; Alemania) verifica la proporcionalidad entre la cantidad de electricidad usada y la cantidad de descomposición producida en las celdas electrolíticas (J40), p. 268).

1857

Berend Wilhelm Feddersen (1832-1918; Alemania) lee su disertación doctoral, que versa sobre las descargas de las chispas eléctricas, estudiadas mediante una técnica mejorada del espejo giratorio de Wheatstone. Desarrolla un método para registrar las ondas de radiofrecuencia producidas por la descarga de arco. Encuentra que un circuito (capacitancia, resistencia e inductancia) produce oscilaciones cuya frecuencia y amplitud dependen de las componentes empleadas. Utilizando la técnica del espejo giratorio logra fotografiar la descarga de una botella de Leyden y muestra que esta descarga produce un tren de oscilaciones amortiguadas⁵¹⁾. Dichas fotografías sirven para confirmar la teoría

⁵¹⁾ Esta primera forma de osciloscopio se seguiría utilizando por más de 75 años.

(continúa 1857)

de W. Thomson de 1853, respecto a la fórmula para la frecuencia de un circuito resonante amortiguado ([16], pp. 293 y 361; [25], p. 120; [34], vol. IV, p. 559).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) y Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) realizan investigaciones sobre las oscilaciones eléctricas ([34], vol. XIV, pp. 205 y 207).

Pierre Antoine Favre (1813-1880; Francia) fundamenta las ideas de Joule sobre la conservación de la energía, utilizando una batería voltaica, la cual opera sobre un motor eléctrico que levanta un cierto peso. Muestra que el calor total generado por la batería y el circuito, al sumárselo al equivalente del calor requerido para levantar el peso, es igual al calor generado sólo por la batería cuando se pone en cortocircuito ([34], vol. IV, p. 554).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) y Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) publican los resultados del año pasado sobre la determinación del cociente entre las unidades de carga electrostática y electromagnética, como uno de los *Elektrodynamische Maassbestimmungen* de Weber ([34], vol. XIV, pp. 205 y 207).

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887; Alemania) propone su propia teoría sobre el movimiento de la electricidad en los conductores, campo de investigación iniciado por F. E. Neumann y Weber hacia 1846. El primer artículo de Kirchhoff, en el cual trata los conductores lineales a partir de las mismas premisas de Weber, coincide en los aspectos esenciales con los resultados obtenidos por este último el año pasado y publicados poco después. Ambos físicos notan que la teoría implica un efecto inesperado: en un circuito perfectamente conductor las corrientes oscilantes se propagan a velocidad constante, independiente de la naturaleza del conductor y numéricamente igual a la velocidad de la luz. Sin embargo, ambos resaltan que, dado el carácter extremo de la condición de conductividad infinita, el resultado es una mera coincidencia accidental y lo descartan.

En su segundo artículo, Kirchhoff presenta una generalización de la teoría, la cual abarca los conductores de geometría arbitraria. Aun cuando sus ecuaciones, las cuales pretenden dar la descripción de la distribución local de corriente y la fuerza electromotriz, son fundamentalmente incorrectas, sí dan la ecuación aproximada para la corriente total, ecuación que había sido derivada por W. Thomson y se conocía como la ecuación del telegrafista, en virtud de sus aplicaciones a la propagación de corriente en el cable transatlántico, que en estos días se está instalando⁵²⁾ ([3], vol. 18, pp. 202-204; [34], vol. VII, p. 381).

Rudolph Herrmann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) introduce el método para medir la conductibilidad de diferentes sustancias mediante una corriente alterna. ([34], vol. I, pp. 297-298).

Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888; Prusia) postula que siempre existe un pequeño número de iones en una solución, resultado de las colisiones térmicas azarosas entre las moléculas que tienen, ocasionalmente, la suficiente energía para romper el compuesto en sus iones positivos y negativos ([34], vol. VI, p. 439).

⁵²⁾ La falla de Kirchhoff es la de no tomar en cuenta la corriente de desplazamiento, o los potenciales retardados; aspecto que L. V. Lorenz sí tomaría en consideración en 1867.

(continúa 1857)

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) establece la relación termodinámica entre los efectos Seebeck (1821) y Peltier (1834). Además, descubre un tercer efecto termoelectrico, relacionado con estos dos pero más difícil de detectar, el así llamado *efecto Thomson*. Se trata de la absorción o evolución de calor cuando fluye una corriente eléctrica por un conductor cuneiforme a lo largo del cual existe un gradiente de temperaturas ([3], vol. 18, p. 526).

Similarmemente a como lo hiciera en 1846, Joseph Liouville (1809-1882, Francia) estudia la distribución de la electricidad sobre la superficie de los conductores, con lo que demuestra el gran poder del análisis matemático ([34], vol. VIII, p. 384).

Rudolph Hermann Arndt Kohlrausch (1809-1858; Alemania) formula una teoría matemática de las corrientes eléctricas (que lleva su nombre) ([40], p. 954).

John Allan Broun (1817-1879; Escocia) muestra que las grandes perturbaciones magnéticas proceden de ciertos meridianos solares particulares ([40], p. 251).

Heinrich Ludwig Huf (1805-1878; Alemania) se da cuenta del efecto rectificador de las celdas electrolíticas. Sin embargo, durante los siguientes 15 años, este efecto no tendría una aplicación práctica, aun cuando sí sería utilizado por los investigadores aficionados ([25], p. 120).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) reemplaza la placa con platino de la pila de Smee de 1840 por carbón platinado; bajo esta forma, la pila de un sólo líquido es muy empleada en Inglaterra en el servicio de trenes (véase 1849) ([18], p. 13).

Frederick Hale Holmes (Inglaterra) sigue convencido de que puede manejar satisfactoriamente las propiedades de iluminación del arco eléctrico si sustituye las baterías químicas ordinarias por generadores magnetoeléctricos (véase Holmes, 1856).

Construye una máquina magnetoeléctrica que genera un arco eléctrico para emplearse en los faros. La máquina tiene 1.5 m largo, 1.5 m de ancho y 1 m de alto, y pesa dos toneladas. El marco es de madera y carga 120 bobinas en 5 anillos de 24 bobinas cada uno. El componente giratorio tiene 36 imanes permanentes compuestos en forma de U, cada uno de 22 kg de peso, que descansan sobre 6 ruedas, cada una con 6 imanes. La máquina, impulsada por un motor de vapor a 600 rpm, genera una salida de corriente directa a través de un largo conmutador fijo con rodillos de sólo 2.5 hp (1.86 kW) ([18], p. 105).

Con dichas ideas en mente y con la descripción de su generador, Holmes acude a la *Corporation of Trinity House*, en Londres, Inglaterra, con el fin de obtener permiso para poder utilizar sus dispositivos en los faros. El *Elder Brethren (Hermano Superior)* de la corporación busca el consejo de Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) en su papel de asesor científico de la misma. Se acuerda realizar pruebas preliminares a pequeña escala entre el *Trinity House Wharf*, cerca de Blackwall, y Woolich, en la ribera opuesta del Támesis.

Luego de la demostración, Faraday informa que la luz producida por la lámpara de arco Dubase empleada por Holmes es «tan intensa, tan abundante, tan concentrada y focal, tan libre de sombras de fondo y de parpadeos que uno no puede desear otra cosa más que tenga éxito.»

(continúa 1857)

El *Elder Brethren* recomienda así realizar una prueba a gran escala en el faro de South Foreland y le pide a *Holmes* que construya dos máquinas más, con la condición de que su velocidad no exceda las 90 rpm/min ([17] vol. V, p. 182; [18], p. 105; [25], p. 119; [51], p. 77; [62], p. 125).

Van Malderen perfecciona las máquinas magnetoelectricas de corriente alterna de la *Compagnie de l'Alliance* (véase *Nollet*, 1852) y muestra que la luz eléctrica puede ser producida ventajosamente en ciertos casos especiales ([18], p. 117).

E. S. Ritchie emplea la técnica de enrollar el alambre en discos espirales paralelos para prevenir la destrucción de las bobinas de inducción de *Rühmkorff* ([34], vol. XI, p. 604).

J. T. Wray recibe dos patentes (británicas) por un sistema de iluminación por arco eléctrico de mercurio ([52], p. 52).

Victor Serrin mejora el regulador para las lámparas de arco eléctrico de *Dubosc* de 1850, haciéndolo el mejor de la época ([25], p. 119).

Théodore Achille Louis Du Moncel (1821-1884; Francia) observa los cambios en la resistencia de una corriente eléctrica en el contacto entre un conductor y carbón (principio en el que se basaban los micrófonos) ([40], p. 491).

David Edward Hughes (1831-1900; Inglaterra) viaja a Inglaterra para tratar de introducir su sistema telegráfico impresor, pero el gobierno inglés no lo acepta (véanse 1855 y 1861) ([40], p. 840).

George Biddell Airy (1801-1892; Inglaterra) y *Josiah Latimer Clark* (1822-1898; Inglaterra) desarrollan de un sistema telegráfico para informar el tiempo medio de Greenwich, Inglaterra, a todo el país ([34], vol. III, p. 288).

Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos) realiza un segundo intento para instalar el cable transoceánico desde Irlanda a Estados Unidos (véase 1856). A unos 530 km el cable se rompe ([25], p. 120).

Robert Stirling Newall (1812-1889; Escocia) inventa la armadura para el primer cable telegráfico submarino con armadura ([40], p. 1249).

Elisha Graves Otis (1811-1861; Estados Unidos) instala el primer elevador de pasajeros en la tienda de *E. V. Haughwont & Company*, en Nueva York, Estados Unidos (véase 1853) ([25], p. 119).

La Oficina de Guerra de Inglaterra les pide a *Charles Wheatstone* (1802-1875; Inglaterra) y *Frederick August Abel* (1827-1902; Inglaterra) asesoramiento sobre la detonación eléctrica de las minas (véase 1861) ([51], p. 5).

Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896; Alemania) comienza a estudiar la producción de electricidad en especímenes vivos de pez gato eléctrico

(continúa 1857)

(*Malapterurus electricus*), pez torpedo y el *Gymnotus electricus* (34), vol. IV, p. 202).

1857-59

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) trabaja como operador de la *American Telegraph Company*, en su ciudad natal, Great Barrington, Massachusetts, Estados Unidos (40), p. 1362).

**PROSPERIDAD
(1858-1869)**

1858

John Peter Cassiot (1797-1877; Inglaterra) se interesa en el estudio de las descargas luminosas causadas por la conducción de electricidad a través de gases a baja presión, estimulado por el descubrimiento de Faraday de 1838, y el informe de Grove de 1852, casi incidental, de que la descarga parecía estriada. Muestra que si se pone suficiente cuidado en alcanzar una presión muy baja, se pueden producir estrias en el vacío de Torricelli. A continuación, demuestra que tanto con una máquina de electricidad estática, como con una bobina de Ruhmkorff con una pila de Grove, se logran generar descargas estriadas; hecho que confirma, una vez más, la identidad de ambos tipos de electricidades. Nota además que un poderoso electroimán divide las estrias en lo que parecen ser dos columnas diferentes. Piensa que las estrias son causadas por «pulsaciones o impulsos de una fuerza, que actúa en un medio resistente, pero altamente atenuado.» Describe estos resultados en "On the Stratification and Dark Band in Electrical Discharges as Observed in the Torricellian Vacuum" ("Sobre la estratificación y bandas oscuras en la descarga eléctrica observadas en el vacío de Torricelli")⁽⁵³⁾, artículo que recibe el honor de ser nombrado como la conferencia bakeriana de la Royal Society de este año (34), vol. V, p. 292).

William Robert Grove (1811-1896; Gales) publica "On the Striae Seen in the Electrical Discharge in vacuo" ("Sobre las estrias observadas en la descarga eléctrica in vacuo")⁽⁵⁴⁾ y "On the Electrical Discharge and Its Stratified Appearance in Rarefied Media" ("Sobre la descarga eléctrica y su apariencia estriada en los medios enrarecidos")⁽⁵⁵⁾. En ambos artículos describe sus observaciones sobre los efectos estriados de las descargas en los tubos con gases enrarecidos (34), vol. V, p. 361).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) presenta su memoria "Ueber Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen" ("Sobre las integrales de las ecuaciones hidrodinámicas, a las cuales corresponden los vórtices"), en la cual describe su teoría de los vórtices. Implícitamente, establece el teorema llamado de Helmholtz, según el cual, el campo de velocidades de un fluido es la suma de sus componentes irrotacionales y solenoidales⁽⁵⁶⁾. Aun cuando Maxwell introdujo explícitamente este potencial, Helmholtz no interpreta dichas componentes como alguna entidad física o matemática, simplemente las define bajo una estricta analogía magnética.

A partir de este teorema, deriva una fórmula para calcular la velocidad inducida en una partícula, debida a la rotación de otra partícula a una distancia conocida. Helmholtz hace notar que esta fórmula es exactamente análoga a la ley de fuerzas de Biot-Savart para los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas;

⁵³⁾ *Philosophical Transactions*, 148, p. 6.

⁵⁴⁾ *Philosophical Magazine*, 36.

⁵⁵⁾ *Proceedings of the Royal Institution*, 3.

⁵⁶⁾ Dichas componentes forman parte de la que después se conocería como potencial vectorial.

(continúa 1858)

sin embargo, no le da mucha importancia a tal analogía ([34], vol. VI, pp. 249-250).

Wilhelm Gottlieb **Hankel** (1814-1899; Alemania), en "Ueber die Messung der atmosphärischen Elektrizität nach absoluten Maasse" ("Sobre la medición de la electricidad atmosférica en medidas absolutas")⁵⁷⁾, reduce sus observaciones de la electricidad atmosférica, mediante una balanza de torsión, a valores del sistema absoluto de unidades; utiliza un método experimental bastante complicado (comparando un campo electrostático conocido con el campo eléctrico de la atmósfera), pero muy exacto ([34], vol. VI, p. 96).

Marcel Émile **Verdet** (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les propriétés optiques développées dans les corps transparents par l'action du magnétisme" ("Investigaciones sobre las propiedades ópticas desarrolladas dentro de los cuerpos transparentes por la acción del magnetismo")⁵⁸⁾ (véase 1854-63) ([34], vol. XIII, p. 615).

Georg Friedrich Bernhard **Riemann** (1826-1866; Alemania) propone una teoría electrodinámica basada en la propagación finita de la acción electromagnética, es decir, supone una acción contigua en lugar de la acción a distancia. La fuerza electromagnética depende de las velocidades y aceleraciones relativas. Debido a la gran semejanza del cociente entre las unidades electromagnética y electrostática con la velocidad de la luz, identifica esta última con una propagación eléctrica ([34], vol. III, p. 309; vol. VIII, pp. 490-491 y vol. XI, p. 453).

Antoine-César **Becquerel** (1788-1878; Francia) publica *Résumé de l'histoire de l'électricité et du magnétisme, et des applications de ces sciences à la chimie, aux sciences naturelles et aux arts* (Resumen de la historia de la electricidad y del magnetismo, y de las aplicaciones de estas ciencias a la química, a las ciencias naturales y a las artes) ([34], vol. II, p. 557).

William **Thomson** (Lord **Kelvin**) (1824-1907; Irlanda) inventa el galvanómetro de espejo ([34], vol. XIII, p. 387).

Julius **Plücker** (1801-1868; Alemania) utiliza los tubos al vacío, inventados por **Geissler** en 1856, nombrándolos tubos de **Geissler**. Descubre que en las paredes del tubo de vidrio aparece una fluorescencia verdosa cerca del cátodo y que, al aplicar un campo magnético, el brillo del cátodo se desvía siguiendo las líneas de fuerza del campo⁵⁹⁾ ([34], vol. VI, p. 439).

En sus investigaciones, **Plücker** utiliza un motor electromagnético construido por **Fessel**.

Algunos autores consideran a este tubo como el primer dispositivo electrónico ([16], p. 304; [25], pp. 121-122; [34], vol. XI, pp. 46-47).

El 8 de diciembre, Frederick Hales **Holmes** (Inglaterra) realiza las pruebas de iluminación eléctrica en el faro de South Foreland, Inglaterra, establecidas por la *Corporation of Trinity House* (véase **Holmes**, 1857). **Holmes** emplea su nuevo

⁵⁷⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 103.

⁵⁸⁾ *Annales de chimie*, 3^e ser., 52, pp. 129-168.

⁵⁹⁾ Estas observaciones motivarían a varios científicos a estudiar este fenómeno, entre los cuales se cuenta a **Crookes**.

(continúa 1858)

generador magnetoelectrónico basado en los diseños de Nollet -bobinas giratorias e imanes fijos, y un marco de hierro en lugar del de madera.

El generador está formado por 60 imanes fijos, cada uno de los cuales pesa 21.77 kg, colocados en tres planos verticales; tiene dos ruedas portadoras de las bobinas, cada una con 80 de ellas, que giran a 90 rpm; un marco -2.82 m x 1.68 m x 2.9 m- de hierro que pesa de 5.25 ton. La máquina tiene una potencia de 2.75 hp (2.05 kW) y está impulsada a través de una banda por una máquina de vapor no condensado.

El faro emplea una lámpara de Dubosc con dos trenes de maquinaria de relojería; uno para mantener juntos a los carbones y otro para separarlos. La selección del mecanismo para operar los carbones es efectuada por un electroimán, conectado en serie con el arco. Cuando los carbones están en contacto o demasiado cerca uno del otro, la corriente a través del electroimán suelta el tren de engranes separador, incrementando la longitud del arco. Cuando los carbones están muy separados y el arco se alarga, la resistencia se incrementa y se reduce la corriente en el electroimán, lo que dispara al tren de engranes que acorta gradualmente el arco.

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra), uno de los asistentes a la demostración en su calidad de asesor científico de la *Corporation of Trinity House*, escribe en su informe: «Tengo el honor de afirmar que en mi opinión el Profesor Holmes prácticamente ha establecido la conveniencia y suficiencia de la luz magnetoelectrónica para propósitos de iluminación en los faros en cuanto a su naturaleza y manejo se refiere. La luz generada tiene una potencia más allá de cualquier otra que yo haya visto así aplicada y en principio puede ser acumulada a cualquier grado; su regularidad en el farol es grande, su manejo es fácil, y su cuidado puede ser entonces confiado a operadores atentos con el grado ordinario de intelecto y conocimientos.» (11; [18], pp. 103, 124-125; [42], p. 120).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) desarrolla su invención telegráfica más importante, el transmisor automático. Utiliza una cinta perforada (véase 1850-58), la cual se hace avanzar mediante una rueda de espigas, donde las perforaciones para el avance se realizan a lo largo del centro de la cinta, mientras que el mensaje se indica por la presencia o ausencia de perforaciones en ambas posiciones adyacentes a esta línea central. En cada una de estas posiciones hay una varilla presionada por un resorte; si no existe perforación, la varilla no cambia de posición, pero si hay un agujero, la varilla sube y un mecanismo hace que se cierre un circuito eléctrico, indicando la presencia de la perforación. El papel no tiene que mover ningún contacto ni cualquier otro mecanismo, sólo limita el movimiento de las varillas, por lo que no existe tensión sobre el papel, excepto la provocada por la fuerza que lo hace avanzar; de esta manera, el sistema puede operar más rápido que los arreglos anteriores. El código que Wheatstone utiliza es básicamente el Morse, el punto del código es representado por dos agujeros en línea a lo largo de la cinta y la raya se simboliza con dos perforaciones desfasadas un espacio y en posiciones opuestas respecto a la línea central de la cinta. El sistema puede operar a 70 u 80 palabras por minuto (31, pp. 37-38). Obtiene la patente británica (no. 1,239) (23, p. 121).

Charles Tilston Bright (1832-1888; Inglaterra) colabora en la instalación del primer cable entre América y Europa (40, p. 241).

Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos) realiza el tercer intento de instalación del cable transatlántico. Comienza el 17 de julio en Irlanda y termina el 5 de agosto en Estados Unidos. Se emplea el galvanómetro sensitivo de espejo de W. Thomson (véase arriba). La longitud del cable es de 3,235 km. El primer mensaje se recibe el 16 de agosto en Estados Unidos. Por la línea se mandan 732

(continúa 1858)

mensajes antes de que ésta falle el 20 de octubre ([48]; [16], p. 61; [25], pp. 120-121; [38], vol. 11, p. 178).

En agosto, William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) se convierte en Ingeniero en Jefe del proyecto de instalación del cable transatlántico ([11]; [25], p. 120). Surge una controversia entre Thomson y Whitehouse, porque este último insiste en utilizar sus propios métodos para transmitir las señales por el cable. Thomson había hecho algunas objeciones teóricas y argumenta que la longitud del cable reduce sustancialmente la velocidad de transmisión, a menos que se empleen pequeños voltajes, tan pequeños que sólo su galvanómetro puede detectar las corrientes. En efecto, cuando se instala el cable, sucede lo predicho por Thomson, por lo que se tienen que emplear sus métodos e instrumentos ([34], vol. XIII, p. 387).

Se funda la *London District Telegraph Company* para explotar el tráfico telegráfico potencial cercano a la capital inglesa ([51], p. 35).

John Watkins Brett (1805-1863; Inglaterra) escribe *On the Origins and Progress of the Oceanic Telegraph [...]* (Sobre los orígenes y el progreso del telegrafo oceánico [...]) ([40], p. 238).

1858-59

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) inventa una lámpara incandescente eléctrica (20 años antes que Edison) ([40], p. 547).

1858-61

Jules-Célestin Jamin (1818-1886; Francia) publica *Cours de physique de l'École polytechnique* (Curso de física de la Escuela politécnica), el cual versa sobre interferencia, luz y corrientes electromagnéticas ([40], p. 872).

1859

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia) publica tres estudios sobre fenómenos luminosos producidos por él a partir de 1857, unidos bajo el título "Recherches sur les divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps" ("Investigaciones sobre diversos efectos luminosos que resultan de la acción de la luz sobre los cuerpos"). En ellos, Becquerel describe el *fosforoscopio*, un instrumento de su propia invención consistente en una caja sellada con dos discos montados sobre un mismo eje y perforados con hoyos, arreglados de tal forma que en cualquier instante la luz no pase a través del aparato completo. Al girar rápidamente esos discos perforados, un observador puede ver continuamente sustancias en la oscuridad sólo fracciones de segundo después de que ellas han sido expuestas a luz brillante; mediante la regulación de la velocidad de giro de los discos, se puede medir la longitud de tiempo que las sustancias continúan brillando después de la exposición a la luz. Usando este dispositivo, Becquerel identifica muchas sustancias fosforescentes nuevas y muestra que el fenómeno que Stokes había llamado en 1852 fluorescencia es en realidad sólo fosforescencia de una duración extremadamente corta. Uniendo un prisma a su fosforoscopio, Becquerel examina el espectro de la luz emitida por cuerpos luminiscentes. De esta forma las sustancias se analizan sin alteración física o química (véase 1843) ([34], vol. 1, p. 556).

Georg Hermann Quincke (1834-1924; Alemania) descubre que cuando un líquido fluye a través de un material permeable se establece una diferencia de potencial en el material ([53]). Descubre las llamadas *corrientes de diafragma* ([34], vol. XI, p. 241).

(continúa 1859)

Peter Teophil **Riess** (1804-1883; Alemania) determina que la cantidad de electricidad en una botella de Leyden es proporcional al área de su superficie ([40], p. 1424).

Gustav Heinrich **Wiedemann** (1826-1899; Alemania) estudia la relación entre la torsión y el magnetismo ([40], p. 1793).

Archibald **Smith** (1813-1872; Escocia) describe una fórmula exacta para calcular los efectos del hierro sobre las brújulas de los barcos ([40], p. 1563).

William **Scoresby** (1789-1857; Inglaterra) publica *Journal of a Voyage to Australia for Magnetical Research* (*Diario de un viaje a Australia para investigaciones magnéticas*) ([40], p. 1309).

Emil Heinrich **Du Bois-Reymond** (1818-1896; Alemania) es el primero en construir un electrodo de derivación, que no se polariza, utilizando tubos de vidrio con tapones de arcilla e incluyendo pedazos de cinc en una solución de sulfato de cinc⁽⁶¹⁾ ([34], vol. IV, p. 202).

Gaston **Planté** (1834-1889; Francia), con base en los trabajos de **Ritter**, descubre experimentalmente que al pasar una corriente entre dos placas de plomo sumergidas en ácido sulfúrico diluido y después de haber retirado el voltaje aplicado, ocurren cambios químicos que dan al arreglo el carácter de almacén de energía eléctrica. En el ánodo se libera oxígeno que, al combinarse con el plomo, produce un depósito café de peróxido de plomo (PbO_2) sobre la superficie de la placa. Del cátodo se liberan burbujas de hidrógeno, que se elevan a la superficie del electrolito y escapan al aire. Si se interrumpe la corriente y el arreglo se conecta a un circuito eléctrico, actúa como una pila primaria, descargando la energía que ha recibido. En esta operación ambas placas se cubren con un depósito blanco de sulfato de plomo. Cuando el proceso se repite, el sulfato blanco sobre el cátodo se convierte en plomo nuevamente y el ánodo recupera su color café, ya que en él el sulfato se convierte en peróxido de plomo. El proceso puede repetirse varias veces pero, aunque la carga es mayor mientras mayor es el tiempo de carga, la carga almacenada todavía es pequeña ([18], p. 155). Este acumulador sería muy importante para los primeros sistemas de iluminación incandescente, ya que los dinamos se pueden operar durante el día, almacenando energía, y desconectarlos en la noche ([1]; [25], p. 121; [40], pp. 1353-1354).

Antonio **Pacinotti** (1841-1912; Italia) construye un modelo de motor eléctrico ([40], p. 1297).

Théodore Achille Louis **Du Moncel** (1821-1884; Francia) logra obtener luz incandescente utilizando filamentos de carbón, fabricados con pergamino ([25], p. 122).

Moses Gerrish **Farmer** (1820-1893; Estados Unidos) logra iluminar una habitación de su casa con varias lámparas incandescentes, que utilizan una tira de platino cuyos bordes los ha angostado para poder obtener una iluminación pareja ([25], p. 122). emplea una batería de celda húmeda ([40], p. 547).

⁽⁶¹⁾ Este dispositivo permanecería en uso hasta la década de los años de 1940.

(continúa 1859)

Hooper introduce el caucho como dieléctrico para cables ([18], p. 254).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) desarrolla un *galvanómetro marino* (para uso en el cable submarino transatlántico) ([18], p. 219).

Se funda la *London District Telegraph Company* para explotar el tráfico telegráfico potencial cercano a la capital inglesa ([51], p. 35).

James Bowman Lindsay (1799-1862; Escocia) propone a la *British Association for the Advancement of Science* nuevas formas de mejorar el método de conducción inalámbrica (véase 1854) ([16], p. 61).

Jean Joseph Etienne Lenoir (1822-1900; Bélgica) construye el primer motor práctico de combustión interna. Diseña un motor de gas siguiendo muchos de los lineamientos empleados en la construcción de los de vapor. La ignición de la mezcla explosiva de gas y aire contenida en el cilindro se consigue por medio de una chispa eléctrica generada en una bobina de inducción. La mezcla no se comprime antes de ser quemada. Su rendimiento no tiene comparación con el de los motores de vapor contemporáneos de la misma potencia (véase 1860) ([7], pp. 882-883).

Empieza a emplearse alambre de platino para encender (por electricidad) los quemadores de las lámparas de gas y reencenderlas cuando son apagadas accidentalmente ([53]).

ca. 1860

Ludwig Valentin Lorentz (1829-1891; Dinamarca) encuentra que, además de lo que establece la ley de **Wiedemann-Franz**, de 1853, el cociente entre las conductividades del calor y la electricidad es proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo, donde la constante de proporcionalidad es la misma para todos los metales. Para la determinación de la conductividad eléctrica, **Lorentz** inventa un método absoluto⁶¹⁾ ([34], vol. VIII, p. 502).

Johann von Lamont (1805-1879; Escocia) propone que la Tierra posee un núcleo magnético sólido; enfatiza la posibilidad de tener diferentes explicaciones para describir el campo magnético terrestre. Un importante resultado de sus investigaciones es el descubrimiento de que las variaciones magnéticas ocurren en períodos de aproximadamente diez años, lapso análogo al encontrado por **S. Schwabe**, hacia 1843, para el ciclo de las manchas solares ([34], vol. VII, p. 609).

1860

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) encuentra el equivalente físico de la resistencia eléctrica; utiliza una columna de mercurio (de un milímetro cuadrado de sección recta) ([16], p. 80; [25], p. 123).

Probablemente **Roschenschold** es el primero en darse cuenta de las posibilidades rectificadoras de los semiconductores ([25], p. 123).

El resultado de las investigaciones realizadas durante los dos últimos años por **John Peter Cassiot** (1797-1877; Inglaterra) con descargas eléctricas en gases enrarecidos (véase 1858), son las siguientes conclusiones. Las estrías existen

⁶¹⁾ El cual llegaría a ser usado por él mismo y por otros, como **Lord Rayleigh**, para fijar la unidad internacional de resistencia, el ohm.

(continúa 1869)

solamente en un rango más estrecho de presión y temperatura, en comparación al rango necesario para las descargas luminosas; a presiones suficientemente bajas, no sólo desaparece la descarga, sino que este vacío parcial no sirve para conducir la electricidad; los cambios en la resistencia eléctrica del circuito externo modifican la descargas; algunas veces la descarga es intermitente, aun cuando parece ser continua y, por último, encuentra que en un circuito en serie, el cual contiene dos tubos de descarga, si se usa un imán para interrumpir una de las descargas, entonces la corriente eléctrica también se interrumpe totalmente.

Las publicaciones de **Gassiot** durante los dos últimos años son "On the Stratification in Electrical Discharges Observed in Torricellian and Other Vacua-Second Communication" ("Sobre la estratificación en las descargas eléctricas observadas en vacíos de Torricelli y otros- Segunda comunicación")⁽⁶²⁾; "On the Electrical Discharge in vacuo with an Extended Series of the Voltaic Battery" ("Sobre la descarga eléctrica in vacuo con una serie extendida de la batería voltaica") y "On the Interruption of the Voltaic Discharge in vacuo by Magnetic Force" ("Sobre la interrupción de la descarga voltaica in vacuo mediante una fuerza magnética")⁽⁶³⁾ (*J34*, vol. V, p. 292).

Antonio Pacinotti (1841-1912; Italia) realiza uno de los descubrimientos más importantes en el desarrollo del electromagnetismo: se puede utilizar la misma máquina como motor o como generador. Algunos autores le han atribuido este descubrimiento a **Walenn**, **Fontaine**, **C. W. Siemens**, **Gramme**, **Deprez** y a otros (*J42*, p. 123). Tras varios intentos por construir un motor eléctrico, diseña una máquina electromagnética de gran regularidad y estabilidad de acción; en ella introduce su inductor de anillo, creando en la armadura polos magnéticos que permanecen estacionarios cuando ésta rota. **Pacinotti** incluye también ranuras de contención y un núcleo de hierro, con lo que logra incrementar considerablemente la eficiencia del dinamo. Aun cuando **Pacinotti** describe su esquema en una revista científica, éste sería ignorado hasta que **Gramme** lo volvería a descubrir diez años después (*J62*, p. 123). En una descripción de su motor, publicada años más tarde, **Pacinotti** escribiría: «Considero a este anillo como dos electroimanes semicirculares transversales colocados en juxtaposición, y con los polos del mismo nombre contiguos. Así, en todo momento el polo expuesto entre un extremo de la pieza polar del imán y el otro tiene una polaridad que es repelida por el polo si se aleja y es atraída si se aproxima» (*J18*, p. 112, 180; *J40*, p. 1297).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) obtiene la patente por un nuevo generador electrostático del tipo de influencia (*J25*, p. 123).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) construye, independientemente de **Gramme**, un dinamo con enrollado en forma de anillo (*J40*, p. 1297).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) inventa la bobina de espiga de inducción (*J25*, p. 123).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) produce filamentos para las lámparas incandescente, que puede manipular sin peligro de que se rompan, y los monta en botellas de vidrio de diferentes formas, de las que extrae el aire (con una bomba de aire con barril y pistón). Logra hacer incandescente una tira de

⁶²) *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 149 (1859).

⁶³) Ambos artículos en *Proceedings of the Royal Society of London*, 10.

(continúa 1860)

carbón de 6 mm de ancho, construida en forma de arco de 3.8 cm de altura. Sus experimentos fallan parcialmente debido a que el vacío que logra no es suficientemente bueno como para evitar la oxidación del filamento a temperaturas elevadas (véase 1848) (118, p. 130; 125, p. 23; 162, p. 126).

El 3 de septiembre, J. T. Wray realiza la primera demostración pública de una lámpara de arco de mercurio (152, p. 52).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) reconoce los efectos integrantes de los cables sobre las señales (116, p. 80).

Samuel Ward Francis (1835-1886; Estados Unidos) recibe la patente por una máquina impresora eléctrica, antecesora del teletipo (140, p. 597).

Robert Stirling Newall (1812-1889; Escocia) publica *Observations on the Present Condition of Telegraphs* (Observaciones sobre la condición actual de los telégrafos) (140, p. 1249).

Mahlon Loomis (1826-1886; Estados Unidos) realiza uno de sus primeros experimentos en el área de la electricidad, el cual consiste en forzar el crecimiento de las plantas, enterrando las placas de una batería en las macetas de las plantas (140, p. 1066).

1860-61

Se publica "Ueber telephone durch den galvanischen strom" ("Sobre el teléfono mediante una corriente galvánica")⁶⁴⁾ (152, p. 52).

1861

Humphrey Lloyd (1800-1881; Irlanda) demuestra la existencia de corrientes eléctricas en la corteza terrestre y calcula su efecto en la variación diaria del campo magnético. Los resultados de estos estudios los describe en "On Earth-Currents and their Connection with the Phenomena of Terrestrial Magnetism" ("Sobre las corrientes terrestres y su conexión con los fenómenos del magnetismo terrestre")⁶⁵⁾ (134, vol. VIII, p. 426).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) y Charles Tilston Bright (1832-1888; Inglaterra) publican "Measurement of Electrical Quantities and Resistance" ("Medición de las cantidades eléctricas y la resistencia")⁶⁶⁾. Sugieren el establecimiento de unidades eléctricas estándares (134, vol. III, p. 288) y los nombres de «ohm», «volt» y «farad» (140, p. 340).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) propone a la *British Association for the Advancement of Science*, en Londres, Inglaterra, que integre un comité para determinar la unidad de resistencia eléctrica más conveniente y la mejor forma y material para construir un estándar (véase Weber, 1851). Su propuesta es aceptada y se forma dicho comité, en el que, además de Thomson, participan Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra), Matthiessen y otros. El nuevo sistema deberá basarse en principios energéticos, más que en una hipotética ley electrodinámica. Durante los más de siete años de trabajo del comité, Thomson diseñaría instrumentos de importancia fundamental, métodos

⁶⁴⁾ *Jahresbericht de Physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main*, p. 57.

⁶⁵⁾ *Philosophical Transactions*, 22.

⁶⁶⁾ *A Journal of Telegraphy*, 1.

(continúa 1861)

para la medición absoluta de una resistencia, aparatos para la medición absoluta de la corriente y electrómetros especiales para la medición de la fuerza electromotriz ([18], p. 301). Los resultados del comité influirían en el desarrollo de las mediciones eléctricas durante los siguientes cincuenta años. En 1912, la responsabilidad pasaría al *British National Physical Laboratory* ([42], p. 124; [34], vol. IX, p. 209).

Años **Jedlik** (1800-1895; Hungría) descubre el principio de autoexcitación en los dispositivos magnetocústicos; construye un generador unipolar en el que aplica dicho principio. Aunque **Jedlik** llegaría a publicar diversos artículos científicos, algunos sobre temas eléctricos, su trabajo en generadores eléctricos parece ser desconocido para sus contemporáneos ([17], vol. V, p. 187).

John Peter Gassiot (1797-1877; Inglaterra) muestra y describe⁽⁶⁷⁾ que en un circuito en serie que contiene dos tubos de descarga existe una interrupción mecánica en el electrodo negativo (véase 1860) ([34], vol. V, p. 292).

Trabajando en el desarrollo de auxiliares auditivos, a **Johann Philipp Reis** (1834-1874; Alemania), se le ocurre la posibilidad de transformar las vibraciones del aire en impulsos eléctricos ([40], p. 1409). Para tal efecto, **Reis** fabrica un transmisor, o transductor⁽⁶⁸⁾, basado en la idea de abrir y cerrar contactos a la frecuencia de las ondas sonoras. Esta idea ya se había utilizado, aun cuando seguramente **Reis** no tiene conocimientos de esos trabajos. El transmisor tiene un uso amplio, pero nunca se perfeccionaría para uso comercial. Utiliza una piel de embutido como diafragma, conectada a una pieza de platino, la cual actúa como contacto al abrirse o cerrarse conforme vibra el diafragma. El receptor es una aguja de tejer con un embobinado a su alrededor en forma de solenoide, conectado a un tablero de sonido. Cuando se pasa corriente por la aguja, ésta vibra y se produce un sonido similar en el tablero. Se le acredita como la persona que introduce el término «teléfono» en este año (véanse **Bourseul**, 1854 y **Wheatstone**, más abajo) ([10], p. 12; [16], pp. 67, 80, 328 y 449; [25], p. 125). Su dispositivo, predecesor del micrófono, transmite tonos de diferentes frecuencias, pero no voz inteligible ([52], p. 57).

A **Charles Wheatstone** (1802-1875; Inglaterra) se le acredita con haber introducido el término «teléfono» este año (véase **Reis**, arriba) ([25], p. 125).

La *Western Union Telegraph Company*, de Estados Unidos, termina la construcción del telégrafo transcontinental (entre las ciudades de San Francisco y Nueva York). El primer uso del telégrafo en tiempos de guerra es cuando el General **McClellan**, en Virginia, manda un mensaje ([11], [25], p. 124; [51], p. 34).

El gobierno francés decide adoptar el sistema telegráfico impresor de **David Edward Hughes** (1831-1900; Inglaterra) (véanse 1857 y 1869) ([40], p. 840).

En junio, **Charles Wheatstone** (1802-1875; Inglaterra) funda la *Universal Private Telegraph Company* para explotar los últimos diseños perfeccionados de sus telégrafos ABC. La compañía, con un capital de 190,000 libras, ofrece líneas privadas a clientes que usen ese tipo de telégrafos. A diferencia de otras

⁽⁶⁷⁾ *British Association Report*, secc. 2, pp. 38-39

⁽⁶⁸⁾ Dispositivo para transformar una forma de energía en otra, reproduciendo las variaciones de amplitud o intensidad de la energía transformada.

(continúa 1861)

compañías, no tiene el servicio de enviar mensajes, sino que provee de una línea privada entre dos puntos cualesquiera, tales como la casa y el trabajo, a 4 libras por milla al año ([51], p. 35). Esta versión de servicio demostraría ser un éxito comercial, sin embargo, el refinamiento técnico por sí solo no explica que el instrumento llegue a venderse muy bien, mientras que no sucedió así en la década de los años de 1840 (véase 1841). La explicación yace en el nuevo entendimiento público del telégrafo electromagnético; la gente sabe que se pueden enviar mensajes a través de cables, y la gente rica quiere comprar el dispositivo para usarlo entre su casa y su negocio, o entre las oficinas ([51], p. 38).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra) y Frederick August Abel (1827-1902; Inglaterra) publican *Report for the Secretary of State for War on the application of electricity from different sources to the explosion of gunpowder* (Informe para la Secretaría de Estado para la Guerra sobre la aplicación de electricidad de diferentes fuentes a la explosión de la pólvora) (véase 1857), en el cual señalan que para la explosión de pólvora, en determinadas circunstancias podría usarse la máquina hidroeléctrica de Armstrong (véase 1843) por el alto voltaje alcanzado ([51], p. 5).

Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896; Alemania) es el primero en desarrollar un procedimiento para medir corrientes bioeléctricas débiles, sin pérdida, mediante la compensación con una barra colectora de recordio o una compensador redondo ([34], vol. IV, p. 202).

1861-63

Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) publica *Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus nebst technischen Anwendungen* (Las enseñanzas del galvanismo y electromagnetismo a partir de sus usos técnicos), en 2 volúmenes, en el cual hace una presentación de todo lo conocido sobre la electricidad y el magnetismo (véase 1872)⁶⁹⁾ ([34], vol. XII, p. 330).

1861-74

Charles Tilston Bright (1832-1888; Inglaterra) instala diversos cables telegráficos en el Mediterráneo ([40], p. 241).

1862

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia), en la primera parte de "On Physical Lines of Force" ("Sobre las líneas físicas de fuerza"), trata de derivar las características del medio circundante para explicar las tensiones que Faraday asoció a las líneas de fuerza magnética. Al final del artículo, Maxwell, continuando con la idea bosquejada en 1856, llega a la conclusión de que las vibraciones de este medio tienen las mismas propiedades que la luz ([3], vol. 18, pp. 202-204; [6], p. 144; [34], vol. IX, p. 207).

Michael Faraday (1791-1867; Inglaterra) realiza su último experimento científico. Trata de encontrar un cambio en la luz monocromática de una flama de sodio, cuando ésta es puesta en un campo magnético. No logra detectar ningún cambio (véase Zeeman, 1896) ([51], p. 22).

En el primer informe del Comité de la *British Association for the Advancement of Science*, formado en Londres, Inglaterra, en 1861, para determinar la unidad de resistencia eléctrica más conveniente, se adopta por primera vez un sistema coherente de unidades para la resistencia, la corriente y la fuerza electromotriz; se adopta además al centímetro como medida de longitud y

⁶⁹⁾ Según F. Engels, carece por completo del rigorismo basado en la conservación de la materia y del movimiento ([12], p. 24).

(continúa 1862)

al gramo como medida de peso. El Comité recomienda que se prepare un material permanente estándar de resistencia (*la unidad de 1862*). Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) sugiere el nombre *Ohmad* para esta unidad, la que finalmente es denominada como *ohm* (véase 1861) ([18], p. 301).

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) se integra al comité de la *British Association for the Advancement of Science*, formado el año pasado, para colaborar en la determinación de la unidad de resistencia eléctrica ([34], vol. IX, p. 209).

Frederick Hales Holmes (Inglaterra) dirige la construcción de dos grandes generadores magnetoelectrónicos de corriente directa. Estos se instalan en el faro Dungeness, en South Coast, Inglaterra, siendo el primer sistema práctico de iluminación por arco eléctrico del mundo (véase Holmes, 1858). Dicho sistema estaría en operación durante los siguientes 13 años ([17], vol. I, p. 183; [18], p. 105; [25], p. 124).

En un libro escrito por Dyonisius Lardner (1793-1859; Irlanda), editado en este año, se informa que es posible transmitir 19,500 palabras por hora a una distancia de 200 km, usando un cable telegráfico de 700 km enrollado en forma de espira ([16], p. 239).

Se patentan diversos métodos para los sistemas de telegrafía, los cuales se basan en las corrientes de inducción y de fuga ([16], p. 61).

Se realiza un nuevo intento para instalar un cable submarino a lo largo del Canal Inglés, entre Francia e Inglaterra ([3], vol. 18, pp. 202-204).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) patenta el empleo de condensadores para usarse en cada extremo de los cables submarinos largos, con el fin de aumentar la velocidad de transmisión ([25], p. 125).

En Francia, Giovanni Casselli (Italia) tiene oportunidad de leer los informes de A.-E. Becquerel sobre la luminiscencia química (1839) y, como resultado de sus investigaciones, inventa un sistema burdo de fototelegrafía. Logra transmitir por las líneas telegráficas algunos dibujos. Usa un rastreo mecánico. Sin embargo, el sistema no resulta práctico ([25], p. 125).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) trabaja como ingeniero asistente, encargado de los circuitos, en las líneas telegráficas de la *Boston & Albany Railways*, en Springfield, Massachusetts, Estados Unidos ([40], p. 1362).

1863

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) demuestra que la velocidad de un pulso de corriente eléctrica es independiente del voltaje aplicado ([34], vol. III, p. 288).

John Peter Gassiot (1797-1877; Inglaterra) publica "Experimental Investigations on the Stratified Appearance in Electrical Discharge" ("Investigaciones experimentales sobre la apariencia estratificada de la descarga eléctrica")⁷⁰⁾, en el cual señala que los cambios en la resistencia eléctrica del

⁷⁰⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 12.

(continúa 1863)

circuito externo de un tubo con gas enrarecido, modifican las estrias de la descarga, resultados que forman parte de sus investigaciones de los dos últimos años (véase 1861) (*f34*, vol. I, p. 292).

Marcel Émile Verdet (1824-1866; Francia) publica "Recherches sur les propriétés optiques développées dans les corps transparents par l'action du magnétisme" ("Investigaciones sobre las propiedades ópticas desarrolladas dentro de los cuerpos transparentes por la acción del magnetismo")⁷¹⁾ (véase 1854-63) (*f34*, vol. XIII, p. 615).

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) y Henry Charles Fleeming Jenkin (1833-1885; Inglaterra) presentan, como resultado de sus estudios sobre la determinación de la unidad de resistencia eléctrica, iniciada el año pasado, su artículo "On the Elementary Relations of Electrical Quantities" ("Sobre las relaciones elementales de las cantidades eléctricas")⁷²⁾. Enuncian las definiciones de algunas cantidades eléctricas y magnéticas, basadas en la masa, la longitud y el tiempo, y dan la primera exposición del sistema dual de unidades eléctricas, comúnmente llamado sistema gaussiano. -Gauss sólo había introducido la definición de polo magnético. Las demás partes del sistema se deben a Weber, W. Thomson y al propio Maxwell. Introducen la notación mediante la cual las relaciones dimensionales se expresan como productos de potencias de M, L y T, encerradas en paréntesis cuadrados (*f34*, vol. IX, p. 209).

En diciembre, Henry Wilde (1833-1919; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 3,006) en la que describe una combinación de un generador electromagnético con un excitador magnetoeléctrico (*f17*, vol. V, p. 185). En su generador de autoexcitación, Wilde incorpora ideas de Wheatstone, Hjorth y otros investigadores (*f62*, p. 126).

Antonio Pacinotti (1841-1912; Italia) construye una armadura para motores eléctricos, versión mejorada de las máquinas existentes. Esta representa un elemento clave en la evolución desde los generadores magnetoeléctricos a los dinamos autoexcitados comerciales. La armadura consta de un anillo de hierro con dientes intercalados con bobinas, que forman un circuito cerrado en serie, con conexiones a un conmutador, lo cual hace posible la producción de una potencia mucho mayor. También utiliza imanes permanentes para el campo. Esta máquina puede usarse como generador o como motor de corriente directa (véase 1860) (*f25*, p. 125; *f34*, vol. IX, p. 268).

Se utiliza por primera vez comercialmente el arco eléctrico para iluminación, en París, Francia (*f52*, p. 52).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) repara y restablece la comunicación telegráfica entre las ciudades de Nueva York y Boston, Estados Unidos, después de los disturbios sociales (*f40*, p. 1362).

Johann Philipp Reis (1834-1874; Alemania) inventa un teléfono y lo exhibe en la *British Association for the Advancement of Science*. El receptor depende del latido magnético de una varilla de hierro, colocada sobre un tornavoz, cuando

71) *Annales de chimie*, 3^e ser., 69, pp. 415-491.

72) *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 1^a ser. 32.

(continúa 1863)

la corriente es interrumpida en la bobina que la rodea. El transmisor es un diafragma con contacto de mercurio (*[18]*, pp. 231-232).

William Reed emplea cargas eléctricas en pozos petroleros de disparo (*shooting wells*) para explotar tres cargas en moldes de estaño que resisten la presencia de agua en el pozo Criswell, en Cherry Run, Pensilvania, Estados Unidos (*[53]*).

ca. 1864

Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) descubre la ley aditiva para el magnetismo de los compuestos químicos (*[34]*, vol. XIV, p. 330).

1864

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) expone su teoría electromagnética de la luz y reconoce la idea de Faraday de 1846 con las siguientes palabras: «La teoría electromagnética de la luz, tal y como él la propuso, es la misma en esencia que la que he empezado a desarrollar en este artículo, excepto que en 1846 no se disponía de ninguna información para calcular la velocidad de propagación.» (*[51]*, p. 23). Entre sus resultados está la predicción de que las ondas electromagnéticas (aún hipotéticas) pueden viajar a la velocidad de la luz (*[18]*, p. 267).

La obra de Maxwell contribuye sustancialmente al entendimiento general del campo magnético y al desarrollo subsecuente de reglas prácticas para diseñar generadores eficientes y minimizar las pérdidas.

Maxwell, en "On reciprocal figures and diagrams of force" ("Sobre figuras recíprocas y diagramas de fuerza"), expone su teorema de reciprocidad (*[3]*, vol. 23, p. 725).

Diez años después de la muerte de Ohm, la *British Association for the Advancement of Science* adopta el *ohm* como la unidad de resistencia eléctrica. Este se define como la resistencia de una columna de mercurio de un milímetro cuadrado de base por 104.8 cm de longitud⁷³⁾. Respecto a la fuerza electromotriz, la *Asociación* selecciona 100 millones de unidades electromagnéticas (CGS) para el *volt*, el cual es aproximadamente igual al voltaje de una celda de Daniell (*[25]*, p. 125).

Henry Wilde (1833-1919; Inglaterra) descubre que en los generadores magnetocléctricos existen ciertos incrementos indefinidamente grandes de las fuerzas eléctricas o magnéticas, a partir de cantidades extremadamente pequeñas (véase 1866) (*[40]*, p. 1798).

Antonio Pacinotti (1841-1912; Italia) publica "Correnti elettriche generate dall'azione del calorico e della luce" ("La corriente eléctrica generada a partir de la acción del calorífico y de la luz")⁷⁴⁾, en donde describe su máquina electromagnética construida el año anterior (*[34]*, vol. IX, p. 268).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) inventa un telégrafo impresor eléctrico (*[25]*, pp. 99 y 125; *[40]*, pp. 469-470).

Théodose Achille Louis Du Moncel (1821-1884; Francia) publica *Traité théorique et pratique de télégraphie électrique* (*Tratado teórico y práctico de telegrafía eléctrica*) (*[34]*, vol. IV, p. 248).

⁷³⁾ Este valor corresponde actualmente a 0.986 ohms.

⁷⁴⁾ *Nuovo Cimento*, 19.

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

(continúa 1864)

Amos Emerson **Dolbear** (1837-1910; Estados Unidos) inventa una máquina parlante; sin embargo, el modelo se pierde y el dispositivo cae, aparentemente, en el olvido ([25], pp. 99 y 125; [40], pp. 469-470).

1864-65

Henry **Wilde** (1833-1919; Inglaterra) inventa una máquina dinamoeléctrica, con la cual se puede generar por primera vez luz potente y la utiliza en un reflector ([40], p. 1798).

1864-66

Frank Leonard **Pope** (1840-1895; Estados Unidos) trabaja como asistente del ingeniero en jefe de la *Russo-American Telegraph Company* ([40], p. 1362).

ca. 1865

Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) **Lenz** (1804-1865; Rusia) desarrolla un conmutador segmentado o *reótomo*, el cual puede ser arreglado para muestrear una forma de onda periódica en puntos conocidos del ciclo y así alimentar un tren de pulsos, cada uno correspondiendo a la amplitud de la onda en ese punto, a un galvanómetro de respuesta lenta. Al graficar las desviaciones contra el tiempo en el ciclo en el que ocurren, se puede reconstruir la onda completa ([52], p. 53).

François Marie **Raoult** (1830-1901; Francia) es uno de los primeros en investigar el equivalente mecánico y térmico de la fuerza electromotriz ([12], p. 94). Utiliza un voltámetro para determinar la cantidad de electricidad en los procesos electrolíticos. Reconoce que el trabajo eléctrico realizado por las celdas voltaicas no es igual al calor generado por las reacciones químicas involucradas en el proceso. Muestra que cada vez que el trabajo eléctrico es menor que el calor de todas las reacciones, se genera calor. Más aún, establece que los cambios en la concentración, oxidación y relaciones ácido-básicas y no los cambios involucrados en la disolución, en el derretimiento o en la solidificación, son las fuentes de la fuerza electromotriz de las celdas voltaicas ([34], vol. XI, p. 298).

1865

James Clerk **Maxwell** (1831-1879; Escocia) publica "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" ("Una teoría dinámica del campo electromagnético")⁷⁵⁾, en el cual describe un nuevo marco teórico para los fenómenos electromagnéticos, basado en resultados experimentales y en unos cuantos principios dinámicos generales, a partir de los cuales deriva la propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio sin necesidad de suposiciones especiales sobre los vórtices moleculares o sobre las fuerzas entre las partículas eléctricas. En particular, la teoría se basa en tres principios: 1) **Maxwell** conserva la idea de que la energía eléctrica y la magnética están diseminadas en el espacio y evita cualquier hipótesis sobre sus formas mecánicas en el espacio; 2) revive varias ideas sobre la geometría de las líneas de fuerza (tomadas de su artículo de 1856) y 3) reemplaza la hipótesis de los vórtices por una nueva analogía macroscópica entre los circuitos inductivos y los sistemas dinámicos acoplados.

Helmholtz y **W. Thomson** habían aplicado los principios de energía para deducir las leyes de inducción a partir de la ley de fuerzas de **Ampère**; **Maxwell**, por el contrario, invierte y generaliza sus argumentos para calcular las fuerzas a partir de las fórmulas de inducción. Así, su primer tratamiento analítico de la función electrodinámica se convierte en una teoría dinámica total.

Después de completar la analogía dinámica, **Maxwell** desarrolla un grupo de ocho ecuaciones, las cuales describen el campo electromagnético. Se basan en el principio de que los procesos electromagnéticos se transmiten mediante la acción

⁷⁵⁾ *Philosophical Transactions*, 155.

(continúa 1865)

separada e independiente de cada carga (o cuerpo magnetizado) en el espacio circundante, más que mediante la acción directa a distancia. A partir de estas ecuaciones, se pueden derivar las fórmulas de las fuerzas entre los cuerpos cargados en movimiento, pero la acción no es a lo largo de la línea que los une y sólo estarán en concordancia con los principios dinámicos, si se toma en cuenta el intercambio de momento con el cuerpo ([34], vol. IX, p. 211).

Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891; Francia), al realizar investigaciones sobre el poder termoeléctrico del sulfuro de cobre artificial, encuentra que dicha sustancia, calentada a 200 o 300 °C, es fuertemente positiva. El sulfuro de cobre artificial se funde a más de 1,000 °C, por lo que se le puede emplear a temperaturas muy elevadas. Becquerel, asociándole un metal con 90% de cobre y 10% de níquel, construye una pila con él. La pila es calentada con gas y enfriada por circulación de aire ([18], p. 59).

Wilhelm Holtz (1836-1913; Alemania) inventa una de las primeras máquinas para producir electricidad a un alto potencial ([40], pp. 821-822).

Hermann Johann Philipp Sprengel (1834-1906; Alemania) inventa una bomba de mercurio de vacío, versión mejorada de las anteriores. Con ésta se pueden obtener vacíos razonablemente altos. Este hecho resulta un paso importante para la iluminación eléctrica ([25], p. 126; [62], p. 126). Publica *On the Vacuum (Sobre el vacío)* ([40], p. 1590).

Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos) y sus socios forman un comité para investigar la posibilidad de construir un cable trasatlántico —participan, entre otros, William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) y Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra). Basándose en la experiencia fallida de la instalación del cable de 1858, en agosto diseñan un nuevo cable conductor de siete alambres de cobre (cada uno de calibre 18, con un peso de 136 kg por milla náutica), aplicándole gutapercha en cuatro capas separadas (el dieléctrico pesa 181 kg por milla náutica). Sugieren que el alambre central del hilo debe estar cubierto con aislante, para prevenir oclusiones de aire y evitar filtramientos de humedad. El alambre de cobre tiene una conductividad de al menos un 85% comparada con la del cobre puro. Proponen un blindaje formado por 10 alambres de hierro (calibre 13) colocados sobre un cojín de yute embreado y aislados separadamente con cáñamo aislante (con un peso de una tonelada cwt por milla náutica en el aire y 14 cwt en el agua), para evitar la corrosión. El diámetro total del cable propuesto es de 2.8 cm y la capacidad de ruptura de 7 toneladas, 15 cwt u once millas de su propio peso. La colocación del cable propuesto se suspende, a 2,000 km mar adentro, debido a múltiples fallas. El cable incompleto queda dentro del mar a una profundidad de 3,000 m ([18], p. 219-21; [25], p. 126; [38], vol. II, p. 178).

Carl Ludwig Frischen (1830-1890; Alemania) es nombrado director de la *Administración de Telégrafos* de Hanover, Alemania (véase 1854) ([40], p. 612).

Mahlon Loomis (1826-1886; Estados Unidos) envía señales electromagnéticas a través del espacio. Algunos autores consideran este hecho como el primer logro en el campo de la telegrafía inalámbrica.

Con dos papalotes, cuyas superficies fungen como pantallas y están conectadas a un rozal de cobre, Loomis logra detectar señales en un

(continúa 1865)

galvanómetro conectado a uno de los ronzales, cuando el otro ronzal está conectado a tierra. Acuña el término «teléfono» para su sistema ([25], p. 126).

ca. 1866

Se funda la *The Telegraph Construction and Maintenance Company* a partir de la consolidación de la *Gutta Percha Company* (véase 1845) y la *Glass, Elliot and Company*. R. A. Glass queda como director administrativo ([52], p. 52).

1866

Georges Leclanché (1839-1882; Francia) construye una celda seca –siguiente paso importante en el área de las pilas voltaicas. Básicamente, consiste en un terminal negativo de cinc casi totalmente puro (99.99%), un terminal positivo de carbón, y una mezcla de cloruro de amonio, dióxido de manganeso, acetileno negro (*acetylene black*), cloruro de cinc, inhibidor de cromo (*chrome inhibitor*) y agua. La mezcla actúa como agente depolarizante para reducir la formación de burbujas de hidrógeno en el electrodo positivo cuando tiene lugar la descarga ([3], vol. 18, pp. 202-204; [25], p. 127; [52], p. 54).

El 9 de noviembre, Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) le envía una carta a su corresponsal en Inglaterra, Wilde, en la que menciona que él mismo también ha descubierto el principio de la autoexcitación en las máquinas magnetoelectricas: «He construido una pequeña máquina en la que una corriente de una termopila excita al electroimán de tu máquina para encenderla y, después de que la máquina está en operación, una rama de la corriente del imán [esto es, la armadura] pasa a través de su propio electroimán, y ésta proporciona el magnetismo requerido.» (véanse Wilde y Varley, arriba) ([17], vol. V, p. 187; [25], p. 127; [40], p. 547).

En Manchester, Inglaterra, Henry Wilde (1833-1919; Inglaterra) encuentra que si un imán permanente capaz de sostener una carga de 18 kg se usa como máquina magnética, que si la corriente de ésta se toma para alimentar los imanes de campo de una segunda máquina, y que si el proceso se repite nuevamente, en la tercera etapa es posible levantar 25 toneladas. Hace funcionar un imán con una armadura de 4 cm de diámetro a 2,500 rpm y encuentra que pone al rojo un alambre de 8 cm de longitud y un milímetro de diámetro. Pasando la corriente al imán de campo de una segunda máquina (con armadura de 12 cm) la salida funde 20 cm del mismo alambre. Finalmente, pasando esta corriente a una tercera máquina (con armadura de 25 cm) produce una salida capaz de fundir pedazos de varilla de hierro de 38 cm de largo y 6 milímetros de diámetro ([18], p. 110).

En abril, Wilde presenta un artículo ante la *Royal Society of London*, Inglaterra, en el que se refiere a «un nuevo y poderoso generador de electricidad dinámica». Escribe: «El autor dirige la atención a algunos fenómenos nuevos y paradójicos que surgen del importante descubrimiento de Faraday de la inducción magnetoelectrica, cuya minuciosa consideración ha resultado en el descubrimiento de un medio de producir electricidad dinámica en cantidades inalcanzables mediante cualquier aparato hasta ahora construido. Él ha encontrado que una cantidad indefinidamente pequeña de electricidad dinámica o de magnetismo es capaz de evolucionar en cantidades indefinidamente grandes de electricidad dinámica»⁷⁶⁾ ([17], vol. V, pp. 185-186).

Generalmente se acredita a Wilde con el descubrimiento de este fenómeno, llamado de *autoexcitación*, sin embargo, Callan lo reportó ya en 1838 ([12], p. 127).

76) En la actualidad parece difícil creer que Wilde no se haya percatado del magnetismo residual en los polos de sus electroimanes y que su máquina posea el requisito de «cantidades indefinidamente pequeñas de magnetismo» para su propósito.

(continúa 1866)

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania), habiendo introducido la armadura doble-T, encuentra que es posible conectar ésta, el campo electromagnético y la carga externa de un generador eléctrico en un solo circuito y, así, evitar los costosos imanes permanentes. En diciembre envía un artículo a la *Academia de Ciencias de Berlín*, Alemania, en el que describe dicho descubrimiento (*principio de la autoexcitación*) en los aparatos eléctricos de corriente directa. Siemens emplea términos análogos a los utilizados por S. A. Varley (véase abajo).

El artículo de Siemens tardaría varios meses en ser publicado (véase 1867) (/17/, vol. V, p. 185).

Samuel Alfred Varley descubre el principio de la autoexcitación, independientemente de otros científicos (/18/, p. 109; /42/, p. 128). Solicita la patente por las "Mejoras en los medios y aparatos para generar electricidad", en la que describe un generador electromagnético de autoexcitación, la acción del cual Varley muestra que depende del magnetismo residual del sistema de campo. La patente explica que antes de usar el aparato, «una corriente eléctrica, que pase por las bobinas de los electroimanes, asegura una pequeña cantidad de magnetismo permanente en sus núcleos.» La especificación de patente se publicaría sólo hasta julio del siguiente año (/17/, vol. V, p. 185).

John Tynilall (1820-1893; Irlanda) describe los resultados de Wilde sobre la autoexcitación (véase arriba), en el *Trinity House*, de Londres, Inglaterra (/25/, p. 127).

Sorenson transmite señales desde un barco hasta la playa, usando el método de conducción (/16/, p. 61).

El *Great Eastern* de Cyrus West Field (1819-1892; Estados Unidos) (véase 1865), completa su tarea y se logra tender el cable transatlántico. Se recupera además el cable perdido el año pasado y se logra completar la operación (/25/, p. 127; /38/, vol. 11, p. 178).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda), Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) y Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) utilizan, en la instalación del cable, uno con blindaje de alambre galvanizado (/18/, p. 221). Daniel Gooch (1816-1889; Inglaterra) es uno de los principales colaboradores en la instalación del cable trasatlántico (/40/, p. 676).

El 27 de julio se envía el primer mensaje telegráfico transatlántico: «*All right*» («Todo bien»). Pocos días después, el presidente de Estados Unidos envía un comunicado a la reina Victoria de Inglaterra; el mensaje consta de 405 palabras y es enviado a razón de 37 palabras por minuto (/52/, p. 52).

Samuel Alfred Varley, utilizando el efecto descubierto por él y por su hermano Cromwell (principio del cohesor) en 1856, construye un pararrayos para proteger los aparatos eléctricos (/25/, p. 127).

Carl Schwend obtiene una patente alemana de una *electroperforadora*, «un método de perforación profunda [para los campos petroleros], a través de la aplicación de transmisión de potencia eléctrica con la eliminación del vástago de perforación» (/53/).

(continúa 1866)

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) diseña un dispositivo para la comunicación entre un tren de pasajeros y el guardia en la estación ([40], p. 1749).

ca. 1867

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) construye un dinamo electromagnético ([40], p. 552).

1867

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) publica *Treatise on Frictional Electricity* (Tratado sobre electricidad friccional) ([40], p. 759).

Hans Peter Jörgen Julius Thomsen (1826-1909; Dinamarca) confirma la ecuación de Kirchhoff ([40], p. 1668).

Ludwig Valentin Lorentz (1829-1891; Dinamarca), sin conocer los trabajos de Maxwell, desarrolla su teoría electromagnética de la luz. Interpreta el vector de luz como un vector de densidad de corriente en un medio, el cual obedece la ley de Ohm. Este trabajo contiene las ecuaciones fundamentales para los potenciales vectoriales y escalares y, por primera vez, los potenciales retardados correspondientes, en términos del vector de densidad de corriente y la densidad de carga eléctrica ([34], vol. VIII, p. 502).

Charles Grafton Page (1812-1868; Estados Unidos) publica *History of Induction: The American Claim to the Induction Coil and Its Electrostatic Developments* (Historia de la inducción: el reclamo estadounidense a la bobina de inducción y sus desarrollos electrostáticos) ([40], p. 1298).

El British Association Committee on Standards of Electrical Resistance le encomienda a James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) la tarea de precisar la unidad de resistencia. El experimento, basado en un diseño de W. Thomson, da un valor que difiere en 2% del valor previamente propuesto ([34], vol. VII, p. 182).

Georges Leclanché (1839-1882; Francia) introduce su celda Leclanché, celda seca, construida el año pasado. Tiene un voltaje más alto que la celda de Daniell. Usa un depolarizador sólido de dióxido de manganeso. Las placas activas son de zinc y carbón y el electrolito es una solución de sal de amoníaco (cloruro de amonio). La pila tiene forma de campana. La placa de carbón está empacada alrededor de ella con el depolarizador, en una olla cilíndrica porosa colocada en un recipiente cuadrado de vidrio que contiene la solución de sal de amoníaco. El electrodo de zinc se aloja en una esquina del recipiente de vidrio. En la orilla superior de la pila hay una banda de un compuesto negro, para evitar que el electrolito se deslice. El cloro del cloruro de amonio se combina con el zinc formando cloruro de zinc, mientras el amoníaco (NH_3) pasa por la olla porosa como iones cargados que pierden su carga y forman amoníaco e hidrógeno; este último reacciona con el MnO_2 produciendo Mn_2O_3 y agua. El dióxido de manganeso actúa como depolarizador y evita que el hidrógeno alcance la placa positiva de carbón. La pila tiene una fem de 1.5 volts ([18], pp. 46-48). Poco a poco, el dispositivo se iba perfeccionando hasta las celdas secas actuales ([3], vol. 18, pp. 202-204; [11], p. 380; [42], p. 129; [40], p. 1014).

Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901; Bélgica) e Hippolyte Fontaine (1833-1917; Francia) desarrollan diversas máquinas magnetoeléctricas; inventan

(continúa 1867)

una máquina de corriente alterna, y perfeccionan la máquina de Pacinotti (140), p. 690).

Charles Wheatstone (1802-1875; Inglaterra), independientemente de W. Siemens y S. A. Varley, descubre el principio de autoexcitación en los dinamos de corriente directa. El 14 de febrero -el mismo día en que se lee el artículo de W. Siemens sobre el mismo tema (véase arriba)-, Wheatstone informa de sus resultados a la *Royal Society of London*, Inglaterra, en "On the Augmentation of Power of a Magnet by the Reaction Theorem of Currents Induced by the Magnet Itself" ("Sobre la incremento de la potencia de un imán mediante el teorema de reacción de las corrientes inducidas por el propio imán") y presenta un modelo de un generador en funcionamiento. Según Wheatstone, construyó su máquina en 1866, pero no lo había anunciado (117), vol. I, p. 185; 118), p. 109, 142), p. 128).

El 4 de febrero, Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) envía a la *Royal Society of London*, Inglaterra, por conducto de su hermano William, un artículo titulado "On the Conversion of Dynamic into Electrical Force Without the Use of Permanent Magnetism" ("Sobre la conversión de fuerza dinámica en eléctrica sin el uso del magnetismo permanente"), en el que describe sus descubrimientos sobre el principio de la autoexcitación (véase 1866). El artículo es leído en la sesión de la Sociedad del 14 de febrero. Asimismo, William exhibe un modelo manual de generador construido por su hermano Ernst Werner, con el que demuestra dicho principio.

Siemens prevé, a diferencia de los demás científicos que han descubierto la autoexcitación, su uso para corriente pesada, o potencia, y desarrolla aplicaciones prácticas (117), vol. I, p. 185; 134), vol. XII, p. 425; 140), p. 1546; 142), p. 128).

Henry Wilde (1833-1919; Inglaterra) es uno de los asistentes a la sesión del 14 de febrero de la *Royal Society of London*, Inglaterra, en la que se presentan los resultados de W. Siemens y Wheatstone sobre la autoexcitación (véase arriba). Wilde señalaría después que habiendo realizado él mismo experimentos similares a los de Siemens y Wheatstone hacía algún tiempo (véase 1866), había llegado a la conclusión de que en el estado presente del conocimiento eléctrico no sería posible superar la dificultad de utilizar corriente después de que ésta ha pasado por las bobinas de los electroimanes cuando son excitados por corrientes intermitentes. Por corrientes intermitentes, Wilde se refiere al hecho de que los generadores de esta época están contruidos con las armaduras Siemens y conmutadores de dos segmentos, los cuales producen una corriente unidireccional pulsante; dichas pulsaciones incrementan la impedancia de las bobinas de campo, especialmente a velocidades más altas, las que se pueden alcanzar con armaduras (117), vol. I, pp. 185-186).

Wilde describe⁷⁷⁾ sus resultados del año pasado sobre la autoexcitación (125), p. 127).

Frederick Hale Holmes (Inglaterra) construye dos generadores magnetoeléctricos para una nueva instalación en el faro de Souter Point, cerca de Sunderland, Inglaterra (véase Holmes, 1862). El diseño se basa en los generadores con imanes fijos y bobinas giratorias; tiene 96 bobinas arregladas en ocho discos; opera a 400 rpm, no tiene conmutadores y toma la corriente alterna con escobillas de alambre; mide 2.44 de diámetro. Antes de su instalación final en el faro, la máquina es enviada a la Exhibición de París, Francia. Se coloca en un alto andamio, por lo que atrae gran atención, particularmente por la rivalidad existente entre los fabricantes ingleses y la empresa anglofrancesa *Compagnie*

⁷⁷⁾ *Philosophical Transactions*

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

(continúa 1867)

de l'Alliance. Las dos máquinas permanecerían en servicio hasta 1900⁽⁷⁸⁾ (véase Nollet, 1853) ([17], vol. V, p. 183; [18], p. 106; [51], p. 78).

Holmes perfecciona además los reguladores de las lámparas de arco eléctrico existentes. Su lámpara es simple y en principio no muy diferente de los diseños anteriores (usa bandas de tripa de gato trabajando sobre polcas en lugar de una cremallera). Los carbones son de medio centímetro cuadrado; el superior de 30 cm y el inferior de 15 cm de largo ([18], p. 125).

En la *Centennial Exhibition* de Filadelfia, Estados Unidos, se presentan lámparas de arco. En Londres, Inglaterra, en las oficinas del diario *The Times*, en lo alto de Burlington House, en el Dique y en Holborn Viaduct, se instalan a prueba varias lámparas de este tipo ([18], p. 125; [25], p. 129).

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) inventa un relé telegráfico de ajuste automático ([40], p. 692).

J. C. Stearns inventa un sistema telegráfico dúplex, con el cual se pueden enviar dos mensajes por el mismo cable y al mismo tiempo, sólo que en direcciones opuestas ([25], p. 128).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) inventa el *sifón registrador*, aparato receptor utilizado en telegrafía marina, con el cable trasatlántico, para registrar en una banda de papel una curva sinuosa que representa con exactitud la intensidad y el sentido de la corriente recibida ([16], p. 61; [18], p. 222; [25], p. 128).

Carl Ludwig Frischen (1830-1890; Alemania) es nombrado ingeniero jefe de la *Administración de Telégrafos* de la región norte de Alemania (véase 1865) ([40], p. 612).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) es editor de la revista *The Telegrapher*, en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos ([40], p. 1362).

ca. 1868

Benjamin Apthorp Gould (1824-1896; Estados Unidos), astrónomo, es el primero en utilizar el telégrafo para determinar longitudes geodéticas. Mide la diferencia de longitud en Greenwich, Inglaterra, y Washington, D. C., Estados Unidos, a través del primer cable trasatlántico ([34], vol. V, p. 479; [40], p. 686).

1868

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia), al analizar el comportamiento de los reguladores mecánicos automáticos de las máquinas de vapor, que utilizan el principio de la retroalimentación, demuestra que la inestabilidad presentada en cualquier sistema retroalimentado puede provocar oscilaciones de amplitud constante e, inclusive, creciente ([10], p. 42).

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) escribe un artículo, después de observar un experimento realizado por Grove, en el que da el primer tratamiento teórico de los circuitos resonantes de corriente alterna ([34], vol. IX, p. 215).

George Johnstone Stoney (1826-1911; Irlanda), en "The Internal Motions of Gases Compared With the Motions of Waves of Light" ("Los movimientos

⁷⁸⁾ Una de dichas máquinas se conserva en el *Science Museum*, en South Kensington, Inglaterra.

(continúa 1868)

internos de los gases comparados con los movimientos de las ondas de luz"⁷⁹⁾, propone que las líneas espectrales son resultado de los movimientos periódicos dentro del átomo, en lugar del movimiento translacional de las moléculas ([34], vol. XIII, p. 82).

James Clerk **Maxwell** (1831-1879; Escocia) escribe un artículo "Note on the Electromagnetic Theory of Light" ("Nota sobre la teoría electromagnética de la luz"), en donde simplifica las ecuaciones obtenidas en 1865 y las escribe en forma integral, sin la función electrotónica, basándose en cuatro postulados derivados de experimentos eléctricos. Así, a ésta se le puede llamar la formulación eléctrica de la teoría, en contraste con la formulación dinámica original. En este artículo demuestra también la existencia teórica de ondas electromagnéticas; la perturbación tiene una forma dual y consiste en ondas de fuerza magnética y desplazamiento eléctrico, con movimientos perpendiculares al vector de propagación y a cada componente ([34], vol. IX, p. 212).

Carl Gottfried **Neumann** (1832-1925; Prusia) publica *Die Prinzipien der Elektrodynamik* (Los principios de la electrodinámica) ([40], p. 1248).

Francisco De **Fonseca Benavides** (1835-1911; Portugal) publica *Traité élémentaire de l'électricité et du magnétisme* (Tratado elemental de electricidad y magnetismo) ([40], p. 431).

Josiah Latimer **Clark** (1822-1898; Inglaterra) publica *An Elementary Treatise on Electrical Measurement* (Tratado elemental sobre la medición eléctrica) ([34], vol. III, p. 289).

Friedrich Wilhelm Georg **Kohlrausch** (1840-1910; Alemania) resuelve el problema que se presenta cuando se hace pasar una corriente directa por un electrólito (los iones se acumulan en los electrodos, neutralizando parcialmente el potencial eléctrico y, por ende, no se sabe si se puede aplicar la ley de Ohm). **Kohlrausch** emplea corriente alterna de tal forma que la acumulación de iones se reduce al mínimo ([34], vol. VII, p. 449).

Henry **Wilde** (1833-1919; Inglaterra) comienza a utilizar su máquina de 1865 en la galvanoplastia ([40], p. 1798).

Henry **Wilde** (1833-1919; Inglaterra) descubre la propiedad sincronizante de las corrientes alternas para controlar las rotaciones de los dinamos ([18], pp. 111-112).

Moses Gerrish **Farnier** (1820-1893; Estados Unidos) publica un artículo en el cual analiza los costos necesarios para la instalación de iluminación eléctrica. Menciona que trabaja con baterías de **Grove** y de **Smeé** ([47]).

Hermann demuestra que en las fibras de músculos intactos no existen corrientes eléctricas (véase **Du Bois-Reymond**, abajo) ([34], vol. IV, p. 202).

Emil Heinrich **Du Bois-Reymond** (1818-1896; Alemania) trata de que su teoría de 1849, sobre la composición electromolecular de las fibras de los

⁷⁹⁾ *Philosophical Magazine*, 4ª ser., 36.

(continúa 1868)

músculos, incluya el fenómeno descubierto por **Hermann** (véase arriba), pero con resultados vanos. De cualquier modo, interpreta que las corrientes de músculos intactos, músculos en contracción y músculos con alguna incisión, tienen una única causa común (*[34]*, vol. IV, p. 202).

En el Reino Unido hay 128,000 km (80,000 millas) de líneas telegráficas instaladas; este año se envían más de 5,600,000 mensajes entre 3,000 estaciones públicas; además, casi 800,000 mensajes se envían fuera del territorio británico, hacia Europa y América, usando el servicio de cable transoceánico inaugurado en 1866. El cargo usual por enviar un mensaje a menos de 160 km es un chelín (5 peniques) por 20 palabras, y hasta el doble por distancias más largas (véase 1870) (*[16]*, p. 328; *[51]*, p. 35).

En Inglaterra, la mayoría de la líneas telegráficas se han instalado a lo largo de las líneas de ferrocarril y las compañías ferroviarias son los principales clientes de las compañías telegráficas. Sin embargo, cuando los telégrafos se nacionalizan este año, el principal problema práctico es el gran número de acuerdos y arreglos laborales entre las compañías de telégrafos y las de ferrocarriles. Al hacerse cargo de los telégrafos, la *Oficina de Correos* no quiere incurrir en responsabilidades legales para dar servicio telegráfico a los ferrocarriles, pero muchas líneas se han instalado bajo el entendimiento de que las empresas ferrocarrileras podrían enviar sus mensajes rápidamente a través del telégrafo (*[51]*, p. 35).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) presenta una petición de patente para un telégrafo registrador de votos⁸⁰¹. La patente se le concedería al año siguiente (*[25]*, p. 129).

A **Charles Wheatstone** (1802-1875; Inglaterra) se le concede el título de *Sir* por el invento del telégrafo automático, el cual permite mandar mensajes a razón de hasta 500 palabras por minuto (*[25]*, p. 129).

Mahlon Loomis (1826-1886; Estados Unidos) logra establecer comunicación a más de 29 km, empleando un alambre de dos direcciones (*[40]*, p. 1066).

Bernstein utiliza el retómeno de **Lenz** (véase ca. 1865) para graficar contra el tiempo el curso del potencial en una fibra nerviosa (*[52]*, p. 53).

1869

En Moscú, **Aleksandr Grigorievich Stoletov** (1839-1896; Rusia) obtiene su grado de maestría con la tesis "Obshchaya zadacha elektrostati i prividenie ee k prosteysemu vidu" ("El problema general de la electrostática y su reducción a la forma más simple"). En su tesis examina el equilibrio teórico de la electricidad en un número arbitrario de conductores aislados (continuos y de campo) en un campo dado arbitrariamente creado por polos eléctricos estacionarios arbitrariamente complejos. Prosigue desarrollando los métodos matemáticos de aproximaciones sucesivas de **Murphy**, **Lipschitz** y **W. Thomson**, para el caso de un número arbitrario de conductores. **Stoletov** ya ha escrito su tesis cuando aparece el trabajo de **Lipschitz**; sin embargo, éste último es significativamente menos completo (*[34]*, vol. XIII, pp. 79-80).

⁸⁰¹) *Telegraph vote recording machine.*

(continúa 1869)

Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910; Alemania) comienza a realizar mediciones geomagnéticas ([34], vol. VII, p. 449).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) logra mostrar la consistencia de su ley de 1846, con el principio de conservación de la energía ([34], vol. XIV, p. 207).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) publica "On Some Electromagnetic Phenomena Considered in Connection With the Dynamical Theory" ("Sobre algunos fenómenos electromagnéticos considerados en conexión con la teoría dinámica")⁸¹⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

James Douglas Hamilton Dickson (1849-1931; Escocia), W. F. King y C. Cuttriss construyen algunos instrumentos eléctricos y realizan experimentos preliminares para que W. Thomson pueda determinar la razón entre las unidades electromagnética y electrostática ([40], p. 457).

Antonio Pacinotti (1841-1912; Italia) introduce el primer generador eléctrico en Bolonia, Italia ([40], p. 1297).

Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914; Alemania) continúa las investigaciones de Plücker de 1858 (con tubos de Geissler); observa que mientras más alto es el vacío más amplia es la zona oscura. Observa también que el brillo es desviado por la presencia de un campo magnético y que un cuerpo sólido o un fluido, ya sea aislante o conductor, colocado frente al cátodo, interrumpe el brillo. Construye un tubo en forma de L con los electrodos en los extremos y descubre que el brillo está confinado al brazo del tubo en el cual se encuentra el cátodo; concluye que el brillo se genera en un punto del cátodo y viaja en línea recta. Considera que cualquier punto del cátodo es capaz de emitir un cono de rayos. Publica "Ueber die Elektricitätsleitung der Gase" ("Sobre la conductibilidad eléctrica de los gases")⁸²⁾ ([16], p. 304; [25], p. 129).

James Douglas Hamilton Dickson (1849-1931; Escocia) asiste a W. Thomson en la instalación del cable transatlántico ([40], p. 457).

En Estados Unidos se instalan líneas telegráficas entre el Observatorio Naval y el Departamento de la Marina para que la *Western Union* pueda enviarles la hora precisa. Ello es el precursor de las transmisiones de la hora de la Marina ([25], p. 130).

En Japón se instala y entra en operación una línea telegráfica entre Tokio y Yokohama ([25], p. 130).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) instala la primera línea telegráfica entre Alemania y Prusia ([25], p. 130).

En enero, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) ha logrado ya grandes avances en el diseño de un telégrafo dúplex, dispositivo capaz de transmitir dos mensajes al mismo tiempo. Además inventa una impresora que

⁸¹⁾ *Philosophical Magazine*, 38

⁸²⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 136 pt 1

(continúa 1869)

convierte las señales eléctricas del telégrafo en letras. Estos progresos lo deciden a abandonar el trabajo de telegrafista para dedicarse a la invención. Se muda a Nueva York, Estados Unidos, y se asocia con Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) para fabricar el telégrafo impresor *Edison Universal Stock Printer* y otros telégrafos impresores ([3], vol. 17, p. 1050).

Por otro lado, Edison solicita la patente por un registrador de cotizaciones de bolsa (*stock ticker*), versión mejorada del inventado por Callahan que no requiere de ningún operador en el extremo receptor ([25], pp. 129 y 130).

James Douglas Hamilton Dickson (1849-1931; Escocia), W. F. King y T. Varley perfecciona el registrador de sifón del propio Thomson de 1867 ([40], p. 457).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) es presidente de la *Society of Telegraph Engineers*, de Inglaterra ([40], p. 1749).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) y Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) fundan la *Pope, Edison and Company*, que se convierte en el primer servicio de ingeniería eléctrica en Estados Unidos ([25], pp. 129 y 130; [40], p. 1362).

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) y Enos Barton se asocian para formar una compañía telegráfica (véase 1872) ([25], p. 129).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) publica *Modern Practice of the Electric Telegraph* (*Práctica moderna del telégrafo eléctrico*) ([40], p. 1362).

RECESIÓN (1870-1885)

ca. 1870

Winfield Scott Sims (1844-1918; Estados Unidos) inventa diversos dispositivos con electroimanes ([40], p. 1551).

1870

Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910; Alemania) y W. A. Nippoldt muestran que existe un máximo en la curva de la conductividad eléctrica del ácido sulfúrico diluido con cantidades cada vez mayores de agua. Concluyen que debe haber algo fundamentalmente asociado al acto de mezclar, lo que imparte la conductividad a las soluciones ([34], vol. VII, p. 449).

Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) observa el fenómeno de la electrocapilaridad -variación en la tensión superficial entre dos líquidos en contacto, debida al gradiente de potencial ([40], p. 1713).

John Tyndall (1820-1893; Irlanda) investiga la relación entre el diamagnetismo y la polaridad inducida, y describe sus resultados en "Researches on Diamagnetism and Magne-Crystalline Action" ("Investigaciones sobre el diamagnetismo y la acción magneto-cristalina") ([34], vol. XIII, p. 522).

George Biddell Airy (1801-1892; Inglaterra) escribe un libro sobre el magnetismo ([40], p. 20).

(continúa 1879)

Johann Friedrich Wilhelm Von **Bezold** (1837-1907; Alemania) observa que las ondas eléctricas son reflejadas desde el extremo abierto de un alambre y que la velocidad de las ondas es independiente del material del alambre ([25], p. 131).

Hermann von **Helmholtz** (1821-1894; Alemania), motivado por el caos prevaleciente en el área de las teorías electrodinámicas y por su interés en que este campo de la ciencia esté en concordancia con el principio de conservación de energía, empieza a investigar a profundidad el electromagnetismo. Se propone tres metas: 1) probar la consistencia de cada teoría con los principios mecánicos y dinámicos aceptados; 2) derivar las diferentes predicciones teóricas de cada teoría, y 3) realizar los experimentos necesarios para poder decidirse por alguna de las teorías ([34], vol. VI, p. 250).

Helmholtz demuestra que, según la ley de **Weber** de 1846, la energía de algunos sistemas de cargas en movimiento es menor que la energía del sistema en reposo, por lo que algunos equilibrios electrostáticos deben ser inestables. Además, bajo ciertas circunstancias dos cargas pueden acelerarse espontáneamente hasta que su energía cinética sea infinita ([34], vol. VI, p. 250). En resumen, esta ley puede conducir, aparentemente, a situaciones de estados de movimiento prohibidos ([34], vol. XIV, p. 205).

Helmholtz describe la fórmula más general del potencial de F. E. **Neumann** de 1848, con lo cual demuestra que todas las diferentes fórmulas para circuitos cerrados son equivalentes. Las diferencias entre estas fórmulas surgen cuando tratan de predecir los fenómenos que acompañan las perturbaciones oscilatorias de las corrientes abiertas, aquellas en las que, según **Helmholtz**, ocurren cambios en la densidad de la electricidad libre.

Por otra parte, **Helmholtz**, al igual que muchos físicos ingleses, cree que la existencia del éter dieléctrico está totalmente fundamentada por los experimentos de **Faraday**, particularmente los relacionados con el fenómeno diamagnético. **Helmholtz** hace notar que, bajo la suposición de que el éter luminífero sea en sí un dieléctrico magnetizable, la teoría de **Maxwell** implica que las perturbaciones electromagnéticas se propagan en ondas transversales con velocidad igual a la de la luz. Demuestra que la derivación de una ecuación de onda para la propagación electromagnética no depende de las suposiciones particulares de **Maxwell**, y muestra que dicha ecuación se puede derivar de su propia ley potencial generalizada, aun cuando esta ley se base en la hipótesis de acción a distancia. La ecuación de onda de **Helmholtz** depende de las susceptibilidades eléctrica y magnética del espacio.

Los físicos de Europa continental llegan a conocer la teoría de **Maxwell** bajo esta interpretación de **Helmholtz** ([34], vol. VI, pp. 251 y 344).

Wilhelm Eduard **Weber** (1804-1891; Alemania), junto con los científicos que apoyan sus concepciones, tales como **Zöllner**, intenta refutar los argumentos de **Helmholtz**, presentados este año en contra de su teoría (véase arriba). Con esto se inicia una estéril y, a veces amarga, disputa entre ellos, que duraría muchos años ([34], vol. XIV, p. 205).

Zénobe-Théophile **Gramme** (1826-1901; Bélgica) construye un dinamo de corriente directa, basado en el trabajo de otros científicos, quienes habían sugerido algunas hipótesis sobre el fenómeno de la autoexcitación en las máquinas giratorias. Modifica radicalmente la forma del imán de campo del generador de **Pacinotti** (véase 1860) y le da un giro a la armadura de anillo de tal forma que quede sobre un eje horizontal entre los polos del imán de campo. La armadura es más gruesa y tiene muchas más secciones que la de **Pacinotti**, produciendo una corriente más uniforme. **Gramme** es el primero en dar forma final a los colectores que obtienen corriente directa de dicha armadura ([34], vol.

(continúa 1870)

1', p. 496). Su eficiencia hace que la iluminación por arco resulte práctica (*J42*, p. 131; *J62*, p. 126). Este tipo de generadores se produciría en gran escala y algunos de ellos permanecerían en uso por muchos años. El generador **Gramme** abre una nueva era en la ingeniería eléctrica: la corriente eléctrica sobrepasa el estado experimental; ahora estará ya disponible a escala práctica (*J18*, p. 112).

Johann Christian **Poggendorf** (1796-1877; Alemania) construye un motor de descarga de corona, el cual usa un rotor de placa de vidrio entre dos cruces llenas de agujas y conectados a un generador eléctrico. La descarga de las agujas hacia el vidrio hace que éste gire. Sin embargo, nunca se construye un modelo práctico de este tipo (*J25*, p. 131).

Charles Joseph **Van Depoele** (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) exhibe diversas lámparas de arco eléctrico en Detroit, Michigan, Estados Unidos (*J40*, p. 1708).

Casi todos los países de Europa han adoptado el sistema telegráfico impresor de David Edward **Hughes** (1831-1900; Inglaterra) (véase 1861) (*J40*, p. 840).

Ernst Werner **Siemens** (1816-1892; Alemania) termina de instalar la línea telegráfica Londres-Berlín-Odessa-Teherán-Calcuta (*J34*, vol. XII, p. 425).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) se establece en Newark, Nueva Jersey, Estados Unidos y trabaja en forma independiente (aun cuando tiene varios socios); inicia un negocio como fabricante de instrumentos telegráficos (*J51*, p. 40). Desarrolla un telégrafo automático para la competencia de la *Western Union*. A pesar de que dicho telégrafo no tiene utilidad práctica, el trabajo le proporciona los conocimientos necesarios sobre química para el desarrollo ulterior de una pluma eléctrica, el mimiógrafo y, más adelante, el fonógrafo (*J3*, vol. 17, p. 1050).

Carl Ludwig **Frischen** (1830-1890; Alemania) es nombrado ingeniero jefe de la *Telegraphen-Bauanstalt Siemens und Halske* (véase 1867) (*J40*, p. 612).

En febrero, la *Oficina de Correos* británica introduce una nueva tarifa para el servicio telegráfico (véase 1868): se cobra un chelín (5 peniques) por 20 palabras a cualquier distancia dentro del Reino Unido, precio que no se modificaría radicalmente hasta 1915 (*J51*, p. 35).

Alexander Graham **Bell** (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) realiza experimentos sobre telefonía eléctrica, empleando grupos de diapasones controlados eléctricamente (*J18*, p. 229).

Cromwell Fleetwood **Varley** (1828-1883; Inglaterra) inventa el *cymaphen*, precursor del teléfono (*J40*, p. 1713).

Mahlon **Loomis** (1826-1886; Estados Unidos) es el primero en usar una antena para la telegrafía inalámbrica, erigiendo torres para colocarlas. Funda la *Loomis Aerial Telegraph Company*, pero no recibe apoyo financiero para continuar sus investigaciones (*J40*, p. 1066).

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1870)

El sistema de transmisión de **Barhouse**, con base en la conducción inalámbrica queda listo para comunicarse con París, ciudad sitiada en estado de guerra (*/16/*, p. 61).

1871-72

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) perfecciona el telégrafo mecanógrafo, un repetidor telegráfico, un conmutador telegráfico y un anunciador (*/10/*, p. 692).

1871

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) intenta medir la velocidad de propagación de los efectos electromagnéticos transitorios en el aire, mediante el tiempo de retraso entre la transmisión y la recepción, sin embargo, el arreglo experimental de Helmholtz es muy limitado, por lo que sólo puede establecer un límite inferior de unos 60 km/s (*/34/*, vol. IV, p. 345).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) y **Edward Sabine** (1788-1883; Irlanda) publican *Electrical Tables and Formulas (Tablas y Fórmulas eléctricas)* (*/40/*, p. 340).

Aleksandr Grigorievich Stoletov (1839-1896; Rusia) realiza la parte teórica de su disertación doctoral en el laboratorio de **Kirchhoff**, en Heidelberg, Alemania, la cual versa sobre las propiedades magnéticas del hierro (véase 1872) (*/34/*, vol. XIII, p. 80).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania), bajo la dirección de **Weber**, termina su disertación doctoral, sobre los números de magnetización del hierro en campos magnéticos débiles. Muestra que estos números no son independientes de la intensidad del campo externo, como **F. E. Neumann** ha creído (*/34/*, vol. XI, pp. 445-446).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) realiza una de las primeras comprobaciones de las teorías de **Maxwell**⁸³⁾. Al experimentar con descargas de alto voltaje en una bobina de **Rühmkorff**, conecta uno de los lados de la abertura a una tubería (la cual actúa como tierra) y el otro lado a una mesa de metal (que actúa como antena). Con este dispositivo logra obtener chispas a partir de objetos de metal que están colocados a alguna distancia de la bobina. La comunidad científica ignora este resultado porque, probablemente, no tiene la suficiente difusión (*/25/*, pp. 131-132).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania), en un artículo más extenso y detallado que el de 1869, muestra que su ley es consistente con el principio de conservación de la energía⁸⁴⁾ (*/34/*, vol. XIV, pp. 207-208).

Carl Gottfried Neumann (1832-1925; Prusia), en contraposición a la hipótesis de **Weber** de 1846, propone que sólo circula una corriente, o la positiva o la negativa, mientras que la otra permanece unida a la masa del cuerpo (*/12/*, p. 92).

Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901; Bélgica) invierte la función de su dinamo del año anterior, para utilizarlo como generador (*/25/*, p. 131)⁸⁵⁾; lo

⁸³⁾ Pero sólo hasta después de algunos años se daría cuenta de que, en efecto, había verificado la teoría de **Maxwell**.

⁸⁴⁾ Sin embargo, poco a poco se iría reemplazando esta ley por la teoría de campos de **Maxwell**, hasta que en 1888, con la demostración de la existencia de la radiación electromagnética, sería totalmente descartada.

(continúa 1871)

utiliza en la industria metalúrgica y en la generación de luz eléctrica (*f40*, p. 690).

Zénobe-Théophile **Gramme** (1826-1901; Bélgica) e Hippolyte **Fontaine** (1833-1917; Francia) fundan la *Société des Machines Magnéto-Électriques Gramme*, la cual comienza a manufacturar los anillos, armaduras y dinamos **Gramme** (*f34*, vol. I, p. 496).

Zénobe-Théophile **Gramme** (1826-1901; Bélgica) publica "Sur une machine magnéto-électrique produisant des courants continus" ("Sobre una máquina magnetoeléctrica generadora de corrientes continuas")⁽⁸⁶⁾ (*f34*, vol. I, p. 496).

John **Trowbridge** (1843-1923; Estados Unidos) inventa el galvanómetro coseno para medir las corrientes eléctricas fuertes (*f34*, vol. XIII, p. 473).

En Inglaterra se forma la organización profesional *Society of Telegraph Engineers*, y Charles William (Carl Wilhelm) **Siemens** (1823-1883; Alemania) queda como su primer presidente (*f51*, p. 39). Francis John **Bolton** (1831-1887; Inglaterra) es uno de sus fundadores (*f40*, p. 205).

Frank Leonard **Pope** (1840-1895; Estados Unidos) publica *The Telegraphic Instructor* (*El instructor telegráfico*) (*f40*, p. 1362).

Alexander Graham **Bell** (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) entra a trabajar al laboratorio de física del *Massachusetts Institute of Technology*, en Massachusetts, Estados Unidos, con **Pickering** y **Cross**; realiza investigaciones sobre problemas sonoros y acústicos. Asiste, entre otras actividades, a algunas conferencias impartidas por L. **Monroe** (*f11*, p. 381).

Alphonso David **Rockwell** (1840-1933; Estados Unidos) publica *Relation of Electricity to Medicine and Surgery* (*Relación de la electricidad con la medicina y la cirugía*) y *Treatise on Medical Uses of Electricity* (*Tratado sobre los usos médicos de la electricidad*) (*f40*, p. 1435).

John **Kruesi** (1843-1899; Suiza-Estados Unidos) se convierte en mecánico e ingeniero de **Edison** (*f40*, p. 973).

1872

Ludwig **Boltzmann** (1844-1906; Austria) publica su primer informe, en el que describe sus estudios experimentales sobre los dieléctricos⁽⁸⁷⁾. **Boltzmann** confirma la predicción de **Maxwell**, en el sentido de que el índice de refracción de una sustancia debería ser la media geométrica de su constante dieléctrica y su permeabilidad magnética. También comprueba que si la velocidad de la luz (y de aquí, el índice de refracción) varía con la dirección de propagación en un cristal anisotrópico, entonces la constante dieléctrica también debe variar con esa dirección. Durante los siguientes años, se dedicaría a estudiar el fenómeno del diamagnetismo (*f34*, vol. II, pp. 265-266).

⁸⁵⁾ Según [25], p. 131, este generador es manual.

⁸⁶⁾ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 73.

⁸⁷⁾ Trabajo llevado a cabo en el laboratorio de Helmholtz, en Berlín, y en el de Tüpler, en Graz.

(continúa 1872)

Galileo Ferraris (1847-1897, Italia) publica "Sull'intensità delle correnti e delle extracorrenti nel telefono" ("Sobre la intensidad de la corriente y de la extracorrente en el teléfono") y "Sulla teoria matematica della propagazione dell'elettricità nelli solidi omogenei" ("Sobre la teoría matemática de la propagación de la electricidad en los sólidos homogéneos") (J40, p. 559).

Aleksandr Grigorievich Stoletov (1839-1896; Rusia) recibe su grado doctoral con la disertación "Issledovanie o funktsii namagnichenia nyagkogo zheleza" ("Investigación sobre las funciones del hierro débilmente magnetizado") (véase 1871). En su tesis, analiza la relación del hierro y la intensidad del campo magnético externo. Aunque se sabe que la magnetización es un fenómeno no lineal, la forma de la función en el caso de campos relativamente débiles permanece sin conocerse. Un análisis intensivo del material experimental, lleva a Stoletov a concluir que las investigaciones previas, realizadas con modelos cilíndricos, no podían dar resultados satisfactorios debido al efecto desmagnetizador de los extremos planos. Al emplear la teoría de Kirchhoff, tiene la posibilidad de estudiar la relación real de la magnetización y el campo en anillos cerrados magnetizados a lo largo del perímetro. Para esta investigación, Stoletov desarrolla el método para medir la inducción en anillos con la ayuda de un galvanómetro balístico. Es el primero en mostrar que la permeabilidad magnética de un ferromagneto se incrementa proporcionalmente a la intensidad magnética del campo magnetizador, alcanza un máximo, y luego decrece. Hace hincapié en la importancia de aplicar estos resultados a la electrotecnología (J34, vol. XIII, p. 80).

Giovan Battista Donati (1826-1873; Italia) estudia la aurora boreal y describe sus resultados en "Sul modo con cui si propagaron i fenomeni luminosi della grande aurora boreale osservata nella notte del 4 al 5 febbraio 1872" ("Sobre el modo con que se propagaron los fenómenos luminosos de la gran aurora observada en la noche del 4 al 5 de febrero de 1872")⁸⁸⁾ (J6, p. 216; J34, vol. IV, p. 162).

Marie Alfred Cornu (1841-1902; Francia) publica "Sur le spectre de l'aurora boréale du février" ("Sobre el espectro de la aurora boreal de febrero") (J40, p. 374).

Aparece la segunda edición de *Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus nebst technischen Anwendungen* (Las enseñanzas del galvanismo y electromagnetismo a partir de sus usos técnicos) de Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) (véase 1861-63) (J34, vol. XIV, p. 330).

Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) y Rühlmann estudian los procesos involucrados en la descarga eléctrica en los gases. Publican "Ueber den Durchgang der Elektrizität durch Gase" ("Sobre el paso de la electricidad a través de los gases")⁸⁹⁾ (J34, vol. XIV, p. 330).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) muestra que las corrientes de convección en una celda electrolítica polarizada pueden mantener una corriente débil, aun en voltajes demasiado bajos como para que se produzca la descomposición electrolítica. Antes se creía que este fenómeno violaba la ley de

⁸⁸⁾ *Memorie del Regio osservatorio di Firenze ad Arcetri* (1873).

⁸⁹⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 145.

(continúa 1872)

conservación de energía o las leyes de electrólisis de **Faraday** ([34], vol. VI, p. 244).

Winfield Scott Sims (1844-1918; Estados Unidos) construye un motor eléctrico para trabajo ligero; pesa 20 kg y tiene una batería de 20 celdas de **Bunsen** de 1.9 litros (1/2 galón). Sirve para impulsar un bote abierto de 4.9 m de largo, 6 personas a bordo a 6.4 km/h ([40], p. 1551).

Augusto Righi (1850-1920; Italia), en su tesis de graduación, se refiere a su invento de un electrómetro de inducción, el cual no sólo amplifica y mide una carga eléctrica inicialmente muy débil, sino que también sirve como un generador electrostático de inducción⁹⁰⁾. Con dicho dispositivo puede estudiar los fenómenos electrostáticos débiles, incluyendo el *efecto Volta* ([34], vol. XI, p. 460).

N. Lodyguine inventa una lámpara eléctrica con un quemador de grafito en nitrógeno ([25], p. 132).

Ernest Abbe (1840-1905; Alemania) introduce un condensador en el diseño de los sistemas de iluminación de los microscopios, mediante el cual se obtiene una luz intensa y homogénea ([3], vol. I, p. 11; [40], p. 2).

Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901; Bélgica), con la ayuda de **Deprez** y **d'Arsonval**, logra transmitir electricidad de corriente directa a largas distancias y presenta sus resultados en "Sur les machines magnéto-électriques Gramme, appliquées à la galvanoplastie et à la production de lumière" ("Sobre las máquinas magnetoelectricas Gramme, aplicadas a la galvanoplastia y a la generación de luz"⁹¹⁾ ([34], vol. V, p. 496).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) perfecciona el telégrafo dúplex ([1]).

En la reunión de apertura de la *Society of Telegraph Engineers* (véase 1871), el 28 de febrero, **Cromwell Fleetwood Varley**, ingeniero telegráfico experimentado, profetiza que «Esta Sociedad [...] se convertirá más en una sociedad eléctrica, que en una sociedad de telegrafía [...]» ([51], p. 39).

La compañía de **Elisha Gray** (1835-1901; Estados Unidos) y **Enos Barton** de 1869, se incorpora como la *Western Electric Manufacturing Company* ([25], p. 129).

Henry Highton (1816-1874; Inglaterra) publica "Telegraphy without Insulation" ("Telegrafía sin aislantes"), resultado de sus investigaciones de los últimos 20 años. **Highton** desarrollaría la telegrafía sin aislantes como medio económico de comunicación internacional ([40], p. 799).

El 30 de julio, **Mahlon Loomis** (1826-1886; Estados Unidos) obtiene la patente estadounidense (no. 129,971) de un telégrafo inalámbrico titulada "Improvements in Telegraphing" ("Mejoras en la telegrafía"). Es la primera

⁹⁰⁾ Lo que constituye un modelo en miniatura del acelerador **Van de Graaff**, de 1933.

⁹¹⁾ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 75.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- (continúa 1872) patente otorgada en Estados Unidos para un sistema telegráfico inalámbrico (*[25]*, p. 132).
- 1872-82 Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) investiga la electricidad atmosférica (*[34]*, vol. IX, p. 155).
- ca. 1873 Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) diseña un sistema que hace práctica la señal eléctrica automática de bloque para los trenes (*[40]*, p. 1362).
- 1873 Justin-Mirande René Benoit (1844-1922; Francia) publica *Études expérimentales sur la résistance électrique des métaux* (*Estudios experimentales sobre la resistencia eléctrica de los metales*) (*[40]*, p. 154).
- Peter Guthrie Tait (1831-1901; Escocia) presenta su diagrama termoelectrónico ante la *Royal Society of Edinburgh*, de Escocia (*[34]*, vol. XIII, p. 237).
- Willoughby Smith encuentra que el selenio (descubierto por Berzelius en 1817) presenta una cierta sensibilidad a la luz (o fotoconductividad) (véase A.-E. Becquerel, 1839). Al utilizar barras de selenio como resistencias de alto valor, su resistencia cae de forma importante cuando se exponen a la luz del Sol. Determina que este efecto es independiente de la temperatura. Este descubrimiento abre un nuevo campo de investigación en la fotoelectricidad y sus aplicaciones para enviar imágenes visuales por alambre. Se dice que J. May es quien le sugiere la existencia del fenómeno, al notar que la luz del Sol afecta la operación de sus aparatos eléctricos hechos con selenio (*[10]*, p. 48; *[25]*, p. 133). Publica "Effect of light on selenium during the passage of an electric current" ("Efecto de la luz sobre el selenio durante el paso de una corriente eléctrica")⁽⁹²⁾ (*[52]*, p. 47).
- William Crookes (1832-1919; Inglaterra) cree en la existencia de la presión de radiación y, en particular, de la presión ejercida por la luz (véase 1875) (*[34]*, vol. III, p. 477).
- Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; Luxemburgo), en una misión científica a Alemania, observa las contracciones de una gota de mercurio causadas por la electricidad (véase Kühne, más arriba). Este fenómeno lo motiva a pensar que existe una relación entre la polarización eléctrica y la tensión superficial. Obtiene permiso para realizar una investigación sistemática en el laboratorio de Kirchhoff. Como resultado de estos estudios publica "Relations entre les phénomènes électriques et capillaires" ("Relaciones entre los fenómenos eléctricos y capilares")⁽⁹³⁾ (*[34]*, vol. VIII, p. 387).
- Wilhelm Friedrich Kühne (1837-1900; Alemania), profesor de fisiología en Heidelberg, Alemania, le muestra a Lippmann cómo una gota de mercurio recubierta con ácido sulfúrico diluido se contrae al ser tocada con un alambre de hierro y toma su forma original cuando se retira el alambre (*[34]*, vol. VIII, p. 387).

⁹²⁾ *American Journal of Science*, 5, p. 301.

⁹³⁾ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 76.

(continúa 1873)

Henry Augustus Rowland (1848-1901; Estados Unidos) muestra que las leyes de los circuitos magnéticos son similares a las leyes de Ohm (116), p. 80).

Rowland investiga la permeabilidad magnética del hierro, acero y níquel. Con transformadores toroidales (construidos con cada uno de los tres materiales en cuestión). Rowland interrumpe o invierte la corriente directa en el embobinado primario y mide la carga que fluye en el circuito secundario. Grafica la permeabilidad contra lo que él cree que es el campo magnético inducido y encuentra una fórmula matemática general que se ajusta a todas las curvas. Prueba, en contra de las suposiciones comunes sobre el ferromagnetismo, que la permeabilidad magnética varía con la fuerza magnetizante -con el arreglo toroidal, no mide el campo magnético B, sino su incremento y, además, su información está distorsionada por efectos de la histéresis (134), vol. XI, p. 604). Publica "On Magnetic Permeability" ("Sobre la permeabilidad magnética") (140), p. 1432).

John Allan Broun (1817-1879; Escocia) publica *Observations of Magnetic Declination made at Trevandrum and Augustia Malley [...]* (Observaciones de la declinación magnética realizadas en Trevandrum y Augusta Malley [...]) (140), p. 231).

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) publica *Treatise on Electricity and Magnetism* (Tratado sobre electricidad y magnetismo), en cuyo prefacio escribe que su mayor tarea es la de convertir las ideas físicas de Faraday en formulación matemática (13), vol. 23, p. 725).

Extiende su formalismo dinámico mediante una aplicación de las ecuaciones de Lagrange. Con esta técnica analiza los efectos magnetoópticos, así como los posibles efectos electromecánicos⁹⁴⁾.

Maxwell establece las ecuaciones del campo electromagnético. Comienza a investigar los marcos de referencia en movimiento. Propone que las ondas electromagnéticas son ondas transversales de la función electrotónica. Establece que la luz ejerce una presión de radiación. Estudia la conexión entre propiedades eléctricas y ópticas de los cuerpos, lo que se puede ver como los primeros pasos de la física del estado sólido. Incluye algunas aplicaciones de los teoremas recíprocos a la electrostática, un tratamiento de las funciones de Green, métodos topológicos en teoría de campos y redes, técnicas experimentales, tales como el puente de Maxwell y circuitos para determinar la magnitud de una inductancia.

Una de las consecuencias de la hipótesis del desplazamiento es que todas las corrientes eléctricas, aun en circuitos abiertos, son en realidad cerradas (134), vol. 9, pp. 211-213).

Maxwell no establece teoría alguna de los circuitos oscilatorios, ni de la conexión entre corrientes y ondas electromagnéticas. Principalmente, trata de obtener las consecuencias ópticas de su teoría, más que las electromagnéticas invisibles. La posibilidad de producir ondas electromagnéticas en el aire está inherente en su teoría, pero de ninguna manera es obvia y en ningún lugar se hace explícito este aspecto (134), vol. 11, p. 345).

Maxwell abandona implícitamente la necesidad de usar un éter o cualquier otro medio mecánico para explicar la propagación de la luz y los fenómenos electromagnéticos (140), p. 1133).

Henry Charles Fleeming Jenkin (1833-1885; Inglaterra) publica *Electricity and Magnetism* (Electricidad y magnetismo) (140), p. 878).

⁹⁴⁾ S. J. Barnett (1908); Einstein y de Haas (1916); y R. C. Tolman y T. D. Stewart (1916) lograrian detectar estos efectos.

(continúa 1873)

Georges Leclanché (1839-1882; Francia) inventa una celda eléctrica con placas prensadas (140), p. 1014).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) diseña una nueva y más estable pila voltaica, la cual llegaría a reemplazar a la celda de Daniell como el estándar del voltaje (véase 1891). Consiste en un electrodo positivo de mercurio cubierto con una pasta de sulfato mercurioso y un electrodo negativo de cinc; el electrolito es una solución saturada de sulfato de cinc. Después de muchas determinaciones, Clark asigna a la pila un valor medio de 1.457 V a 15.5 °C. Se puede reproducir el voltaje hasta un 0.17%. Uno de los problemas que presenta la pila es que alcanza un coeficiente de temperatura muy alto de fuerza electromotriz (1200 μ V/°C). La pila se presenta ante la *Royal Society of London* y la describe en "On a Standard Voltaic Battery" ("Sobre una batería voltaica estándar")⁹⁵⁾ y se conocería como la pila de Clark (125), p. 133; (34), vol. III, p. 288; (52), p. 54).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) realiza algunos experimentos con máquinas eléctricas (34), vol. LX, p. 155).

Friedrich Franz von Hefner-Alteneck (1845-1904; Alemania), trabajando para la *Siemens und Halske*, desarrolla el principio de la armadura de tambor o barril para los dinamos⁹⁶⁾. Incrementa considerablemente la eficiencia y salida respecto a los diseños existentes que emplean la armadura de anillo Gramme-Pacinotti o la armadura doble-T de W. Siemens (34), vol. VI, p. 223; (62), p. 126). Al enrollar simétricamente los conductores activos de cobre sobre la superficie periférica de la armadura en rotación, logra eliminar el cobre sin uso en el diseño de anillo y permite que las bobinas sean preconstruídas y aplicadas a la armadura completa, con lo que evita el tener que ensartar cada uno de los conductores en el anillo. Inicialmente Hefner-Alteneck coloca las bobinas sobre una superficie cilíndrica suave, manteniéndolas en posición mediante clavos de madera y tiras de alambre. Tal práctica se abandonaría muy pronto por ser inconveniente, preparando en su lugar ranuras longitudinales sobre la periferia del barril para colocar las bobinas sobre ellas (18), p. 113). La nueva forma de la armadura haría posible la construcción de motores de corriente directa de más larga vida (140), p. 1736).

Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901; Bélgica) descubre que un dinamo puede actuar como motor eléctrico si éste es operado por un dinamo más grande. Este hecho es la clave para el desarrollo de los sistemas para los tranvías y los sistemas de electrificación de las fábricas (62), p. 126).

Se producen los primeros motores eléctricos comerciales (3), vol. 18, pp. 202-204).

En la *Exhibición de Viena*, Austria, Zénobe-Théophile Gramme (1826-1901; Bélgica) consigue transmitir energía eléctrica a una distancia de más de un kilómetro. Utiliza dos máquinas iguales diseñadas por él; una de ellas genera la corriente que se transmite a distancia, y la otra convierte la energía eléctrica recibida nuevamente en energía mecánica (18), p. 180; (3), vol. 18, p. 510).

⁹⁵⁾ *Philosophical Transactions*, 164, p. 1

⁹⁶⁾ El cual todavía se emplea en la actualidad.

(continúa 1873)

Hippolyte Fontaine (1833-1917; Francia) realiza la primera transmisión de energía eléctrica, en Vienne, Francia ([40], p. 585).

Hacia finales de año, Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) comienza a desarrollar el telégrafo armónico. Los transmisores son unas lengüetas de metal que vibran a su frecuencia de resonancia, interrumpiendo la corriente. Utiliza dos tipos de receptores, uno es un dispositivo resonante mientras que el otro se basa en la fricción producida entre dos superficies, la cual cambia la resistencia del circuito con la corriente⁽⁹⁷⁾ ([25], p. 133).

Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) desarrolla la telegrafía dúplex ([40], p. 775).

Friedrich Franz von Hefner-Alteneck (1845-1904; Alemania) inventa un teletipo con teclas alfanuméricas para generar señales en código Morse para la transmisión telegráfica ([34], vol. VI, p. 223).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) se interesa en desarrollar una forma de enviar simultáneamente varios mensajes por una línea telegráfica. La idea subyacente es la de utilizar la frecuencia de resonancia de unas lengüetas para separar los diferentes mensajes. Nunca llega a desarrollar tal sistema satisfactoriamente. Pero mientras su asistente, Thomas Augustus Watson (1854-1934; Estados Unidos), trata de hacer vibrar una de las lengüetas, Bell escucha el sonido producido. La reacción magnética entre la lengüeta y el electroimán transmite el efecto al otro imán, el cual reproduce el sonido en su lengüeta. Bell se da cuenta de que esto es lo que ha estado buscando ([25], p. 134).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) descubre que el sonido se puede convertir en electricidad ([40], pp. 469-470).

Munzinger desarrolla un gobernador y regulador de presión eléctrico para gas; indica la presión en las tuberías principales y proporciona los medios para controlarlo ([53]).

C. Montefiore-Levi describe⁽⁹⁸⁾ las aplicaciones industriales de la aleación fósforo/bronce -formada por cerca de 0.1 % de fósforo y hasta 5% de estaño; mencionada por primera en 1871 por C. Künzel. Dicha aleación llegaría a tener considerable importancia en las aplicaciones eléctricas; su alto coeficiente de ruptura en las condiciones de trabajo en frío la hacen especialmente adecuada para la fabricación de resortes y contactos eléctricos ([17], vol. I, p. 608).

1873-98

Carl Gottfried Neumann (1832-1925; Prusia) publica *Die elektrischen Kräfte* (Las fuerzas eléctricas), en 2 volúmenes ([40], p. 1248).

1874

Karl Ferdinand Braun (1850-1918; Alemania) publica "On the Conduction of Current Through Sulpho-Metals" ("Sobre la conducción de una corriente a

⁹⁷⁾ Edison utilizaría esta idea para su teléfono de 1877.

⁹⁸⁾ J. Iron St. Inst., 7, pp. 408-413.

(continúa 1874)

través de los sulfo-metales"⁹⁹⁾, en el que describe cómo se puede producir una corriente cuyo paso sea muy fácil en una dirección, pero muy difícil en sentido contrario. Coloca cristales de sulfuro de plomo o hierro en contacto con la punta de un alambre y aplica un cierto voltaje entre alambre y cristales. El valor de la corriente depende de si el valor del voltaje del alambre es mayor o menor que el voltaje de los cristales. Es decir, muestra la dependencia del flujo de la corriente a través de una juntura de metal semiconductor con la intensidad y polaridad de la corriente. En un principio este descubrimiento no tiene una aplicación práctica inmediata ([10], p. 104; [24], p. 1301; [34], vol. II, p. 427).

Aparentemente, George Johnstone Stoney (1826-1911; Irlanda) es el primero en hablar de la existencia del electrón, como una entidad por separado. Stoney esperaba que mediante la elección cuidadosa de un sistema de unidades fundamentales se simplificara la ciencia. En la reunión de la *British Association for the Advancement of Science*, Londres, Inglaterra, de este año, presenta su trabajo "On the Physical Units of Nature" ("Sobre las unidades físicas de la naturaleza"), en el cual sugiere que este sistema se base en la velocidad de la luz, en la constante gravitacional y en la carga que lleva el ión del hidrógeno. Calcula dicha carga experimentalmente de la siguiente manera. Se conoce el peso del hidrógeno liberado en la electrólisis por una cantidad dada de electricidad y, calculando el número de átomos asociado a este peso, Stoney encuentra la carga eléctrica correspondiente a cada átomo. Su proposición resulta irrealizable, ya que nadie le da crédito ([16], p. 304; [34], vol. XIII, p. 82).

Zygmunt Florenty von Wróblewski (1845-1888; Lituania-Polonia) publica *Untersuchungen über die Erregung der Electricität durch mechanische Mittel* (Análisis sobre la excitación de la electricidad por medios mecánicos) ([34], vol. XIV, p. 522).

Georg Adolph Erman (1806-1877; Alemania) publica *Die Grundlagen der Gaussischen Theorie und der Erscheinungen des Erdmagnetismus* (Las bases de la teoría gaussiana y los fenómenos del magnetismo terrestre) ([40], p. 529).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania), como muchos de la escuela continental europea, todavía distingue, en electrodinámica, entre *fuerzas inductivas* (las que tienden a poner en movimiento la electricidad dentro de los conductores) y *fuerzas ponderomotrices* (aquellas que tienden a poner el conductor en movimiento). Publica un artículo en el cual demuestra que su fórmula potencial generalizada (véase 1870) puede servir como potencial para ambos tipos de fuerzas. Además, extiende la verificación que F. E. Neumann hiciera hecho en 1848, para incluir el caso tridimensional, así como a conductores y corrientes abiertas.

En el curso de este análisis, Helmholtz describe un método factible para comprobar experimentalmente las diversas teorías electrodinámicas. La ley de Ampère predecía fuerzas ponderomotrices sólo entre elementos infinitesimales de conductores con corrientes cerradas. La ley de fuerzas de Helmholtz añade a la expresión de Ampère otros términos que predicen efectos ponderomotores debidos a la electricidad libre que se acumula en los extremos de los circuitos abiertos.

Junto con su alumno N. N. Schiller, Helmholtz realiza una serie de experimentos y concluye que el extremo de una corriente abierta (simulada por una descarga electrostática) no produce efectos ponderomotores, por lo que se ve obligado a aceptar que la ley potencial es incorrecta o que las suposiciones son

⁹⁹⁾ *Annalen de Poggendorf*, 102

(continúa 1874)

incompletas. En estos experimentos nota que el movimiento convectivo de las partículas del aire, constantemente remueve las cargas del punto de descarga de la máquina electrostática. Según la ley potencial, las corrientes por convección no deberían producir ningún efecto electrodinámico; sin embargo, **Helmholtz** llega a la conclusión de que la ley puede estar incompleta ([34], vol. 17, pp. 251-252).

Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910, Alemania) y **Otto Grotrian** escriben un artículo en el cual muestran que la conductividad de las soluciones se incrementa al aumentar su temperatura ([34], vol. 17, p. 449). Basan sus resultados descritos por **Hittorf** descritos entre 1853 y 1859 (véase **Hittorf**, 1853-59) ([34], vol. 17, p. 439).

Clamond presenta a la *Académie française des sciences*, de París, Francia, una pila termoelectrica calentada con gas. Utiliza una aleación de cinc y antimonio de **Marcus**, que es buen conductor de la electricidad. Esta pila se emplea en la imprenta del Banco de Francia y en los talleres de heliograbado de *Gouppil et Cie.*, en Asnières ([18], pp. 62-64).

Lantini patenta una máquina electrodinámica de corriente continua en la que los inductores están en el mismo circuito que el inducido y el circuito exterior. Esta máquina difiere de la de **Gramme** (véase 1870) en la forma del inducido, compuesto de cuarenta pequeñas bobinas cuyos ejes están dirigidos en sentido radial a la manera de los dientes de un engrane, lo que hace que se le de esta forma de inducido el nombre de piñón magnético ([18], p. 86).

N. Lodyguine exhibe en Londres, Inglaterra, una lámpara incandescente de varilla de carbón en vacío. Su demostración tiene tal éxito que poco después se instalan alrededor de 200 lámparas de éste tipo en los astilleros de San Petersburgo, Rusia ([18], p. 127). **Lodyguine** recibiría el premio **Lomonosov**, de 50,000 rublos, de la *Academia Russa* ([42], p. 135).

Henry Woodward y **Mathew Evans** obtienen la patente canadiense de una lámpara incandescente. También la patentan en Estados Unidos (no. 181,613) como la lámpara de **Woodward**. La lámpara utiliza un elemento de carbón en una atmósfera de nitrógeno ([25], p. 135).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) publica *Group Flashing Lights* ([40], p. 826).

Charles Joseph Van Depuele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) demuestra la factibilidad del transporte eléctrico con conductores subterráneos o aéreos ([40], p. 1708).

Emile Baudot (1845-1903; Francia) inventa un telégrafo automático basado en un código de cinco elementos binarios, en el que todos los signos requieren el mismo tiempo de transmisión; el sistema sería muy utilizado en Europa ([18], p. 225). Incorpora en su dispositivo un método de multiplex de tiempo, con el cual, varios operadores pueden utilizar la línea, uno a continuación de otro, sin interrupción ([10], p. 11).

(continúa 1874)

Stephen Dudley Field (1846-1913; Estados Unidos) inventa un sistema telegráfico de distribución múltiple de mensajes (*multiple call distribution telegraph box*) ([40], p. 564).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos), bajo los auspicios de la empresa *Western Union* diseña el telégrafo cuádruplex, dispositivo capaz de enviar cuatro mensajes simultáneamente, pero el financiero de Wall Street, J. Gould, quien es el rival más acérrimo de la *Western*, le paga más de 100,000 dólares (al contado, en bonos y en acciones), con lo cual le arrebató el invento a la *Western*. Este pago es uno de los más altos hasta este entonces. Con este hecho empezarían muchos años de litigio entre ellos ([3], vol. 17, p. 1050).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) inventa el arpa eléctrico, el cual es un primer intento de un teléfono. Varias lengüetas se colocan a lo largo del núcleo de un electroimán, con la idea de que el sonido producido, al hablar cerca del dispositivo, ponga en vibración las lengüetas. Se intenta que un dispositivo similar, en el otro extremo de la línea reproduzca el sonido original. Sin embargo, el dispositivo todavía no resulta práctico ([18], pp. 229-230; [25], p. 134).

Se realizan varias proposiciones sobre la transmisión inalámbrica tanto por inducción como por conducción ([16], p. 61).

Max Hermann Bauer (1844-1917; Alemania) utiliza por primera vez la mica como el dieléctrico de un condensador. Publica "Physical properties of mica" ("Propiedades físicas de la mica")⁽¹⁰⁰⁾ ([52], p. 54).

1874-79

James Clerk Maxwell (1831-1879; Escocia) recopila la obra de Cavendish y publica *The Electrical Researches of the Honorable Henry Cavendish* (*Las investigaciones eléctricas del honorable Henry Cavendish*). Maxwell siente que el trabajo de Cavendish debe ser conocido y reconocido por toda la comunidad científica ([6], p. 41; [25], p. 143).

ca. 1875

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) empieza a hablar de una fuerza etérica como base para la comunicación inalámbrica ([3], vol. 17, p. 1050). Se da cuenta de que un tren de chispas asociado con los aparatos eléctricos provoca ciertos efectos que pueden percibirse a alguna distancia, sin necesidad de alambres. Edison concluye que estos efectos son una *nueva fuerza* (véase Thompson, ca. 1876) ([34], vol. XIII, p. 356).

Josef Stefan (1835-1893; Austria) anuncia su teoría de los efectos magnéticos mutuos entre dos circuitos eléctricos. Muestra que, en oposición a Ampère y Grassmann, sólo se pueden obtener resultados claros mediante la teoría de acción contigua. En este sentido, él y Helmholtz son los únicos exponentes en la Europa continental de la teoría de Faraday-Maxwell. Realiza importantes cálculos en la teoría de corrientes alternas, en particular, respecto a los coeficientes de inducción en las bobinas de alambre ([34], vol. XIII, p. 11).

Balfour Stewart (1828-1887; Escocia) estudia el geomagnetismo y lo relaciona con los ciclos de las manchas solares y otros ciclos cósmicos. En el artículo de la 9ª edición de la *Enciclopedia Británica*, propone mecanismos para

¹⁰⁰⁾ *Z. diät. geol. Ge.*, 26, p. 137.

(continúa ca. 1875)

algunas de estas relaciones. En particular, algunas variaciones del campo magnético terrestre se deben referir, dice **Stewart**, a las corrientes eléctricas variables en la alta atmósfera: suponiendo que el aire enrarecido de esta región posee una conductividad eléctrica apreciable, las corrientes térmicas de aire y de las mareas, moviendo el aire conductor a través del campo magnético, generan corrientes eléctricas. Por este mecanismo se explica la variación diaria del campo geomagnético. También se explican la variación estacional, las analogías entre los patrones de vientos globales y los patrones magnéticos globales ([34], vol. XIII, p. 52).

Marie Alfred Cornu (1841-1902; Francia) demuestra que una teoría electromagnética se puede derivar de la ley de **Laplace**. Muestra la forma de la superficie de las ondas de luz (en una atmósfera isotrópica) que están en campos magnéticos uniformes ([40], p. 374).

Mayer desarrolla la teoría matemática correspondiente a la amplitud modulada ([10], p. 27).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) inventa un regulador automático de tipo embrague para las lámparas de arco eléctrico. Dicho regulador se convertiría en uno de los más populares, tanto en Estados Unidos como en Europa ([18], pp. 125-126).

Thomas Sanders, comerciante, le propone a **Alexander Graham Bell** (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) para financiar sus experimentos telegráficos. Llegan a un acuerdo tentativo. Poco después, el abogado **Gardiner G. Hubbard** le propone a **Bell** algo similar (véase 1875) ([52], p. 55).

1875

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos), mientras realiza ciertos experimentos con un cable subacuático para su telégrafo automático, encuentra que la resistencia y la conductividad eléctricas del carbón, llamado plumbagina, varían de acuerdo con la presión a la cual es sometido. Este hecho constituye un descubrimiento teórico muy importante que lo llevaría a diseñar un relé de presión (en 1877), utilizando carbón, en lugar de los imanes normales, para variar y balancear las corrientes eléctricas ([3], vol. 17, p. 1050; [16], p. 6).

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania), en su artículo de este año y en el último (no publicado), trata de desarrollar las ideas de 1852, sobre la resistencia eléctrica en un intento por derivar una expresión para la conductividad eléctrica, en términos de parámetros moleculares¹⁰¹⁾ ([34], vol. XVII, p. 208).

Peter Guthrie Tait (1831-1901; Escocia) y **James Dewar** (1842-1923; Escocia) estudian el radiómetro de **Crookes** (véase arriba) y dan la primera explicación satisfactoria ([34], vol. XIII, p. 237).

Carl Anton Bjerknes (1825-1903; Noruega) demuestra que dos esferas armónicamente pulsantes, moviéndose en un fluido sin fricción, reaccionan como si estuvieran eléctricamente cargadas; es decir, se atraen (cuando alcanzan un volumen máximo o mínimo al mismo tiempo) o se repelen (cuando una tiene un

¹⁰¹⁾ Sin embargo, sólo hasta finales de siglo, **Riecke**, **Brude** (1894) y **H. A. Lorentz** lograrían obtener una expresión correcta.

(continúa 1875)

volumen máximo y la otra uno mínimo) con una fuerza similar a la ley de Coulomb ([34], vol. II, p. 166).

John Kerr (1824-1907, Escocia), en "On a New Relation Between Electricity and Light: Dielectric Media Birefringent" ("Sobre una nueva relación entre la electricidad y la luz: medios birrefringentes dielectrificados")¹⁰²⁾, anuncia su descubrimiento de la birrefringencia en el vidrio y otros dieléctricos, sometidos a un campo eléctrico muy intenso. Como resultado de este *efecto Kerr*, un haz de luz polarizada que incide perpendicularmente al campo eléctrico, adquiere una polarización elíptica. El efecto es máximo cuando el plano de polarización está a un ángulo de 45° respecto al campo, mientras que el efecto es nulo si el plano es paralelo o perpendicular. En estudios posteriores investiga otros materiales, incluyendo fluidos orgánicos y encuentra que la intensidad del efecto es proporcional al cuadrado de la fuerza eléctrica ([34], vol. II, p. 203 y vol. VII, p. 313). Además, descubre el modulador de luz o válvula de luz, llamada celda de Kerr ([25], pp. 135-136).

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928, Países Bajos) recibe su doctorado con una disertación sobre la óptica de Fresnel, a la cual trata desde el punto de vista que Helmholtz da a la teoría de Maxwell. Basándose en la teoría de acción a distancia, Lorentz deriva electromagnéticamente las amplitudes de Fresnel para la luz reflejada en una interfase dieléctrica. Concluye que, por su mayor simplicidad y comprensibilidad, la teoría de Maxwell es superior a las otras teorías. Su disertación es el primer paso hacia la distinción entre campos electromagnéticos y materiales. Interpreta los recientes resultados de Boltzmann (respecto a la relación predicha de la capacidad inductiva específica de los gases) en el sentido de que es en el éter donde se producen las polarizaciones y que las moléculas gaseosas ejercen una pequeña influencia sobre la capacidad inductiva específica del dieléctrico que permea los espacios intermoleculares ([34], vol. VIII, pp. 483 y 492-493).

Hermann von Helmholtz (1821-1894, Alemania) realiza un experimento en el cual hace girar las placas de un condensador cilíndrico, alineado axialmente en un campo magnético uniforme, y observa la fuerza electromotriz inducida sobre las placas. Helmholtz hace notar que este efecto se puede predecir a partir de su ley potencial (1870) sólo si se hace la suposición de que el espacio aislante entre las placas del condensador funciona como el éter dieléctrico de Maxwell.

Aunque según Helmholtz, todos los resultados importantes pueden explicarse con la ley de inducción de F. E. Neumann, sin tener que recurrir al éter dieléctrico, gradualmente iría llegando a la conclusión de que el éter es necesario y que la teoría de Maxwell es correcta ([34], vol. IV, p. 252).

Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888, Prusia), en "Ueber eine neues Grundgesetz der Elektrodynamik" ("Sobre un nuevo estatuto de la electrodinámica")¹⁰³⁾, establece los postulados fundamentales de su razonamiento: 1) la ley de Weber es incorrecta para el caso en que se mueve sólo un tipo de electricidad, ya que la ecuación supone que una corriente ejerce una fuerza sobre una carga en reposo; 2) esta ecuación se corrige si se supone que la acción electrodinámica ocurre a través de un medio, ya que entonces las partículas eléctricas que no están en movimiento unas respecto a otras (moviéndose con velocidades iguales) aun pueden ejercer una fuerza entre sí,

¹⁰²⁾ *Philosophical Magazine*, 50.

¹⁰³⁾ *Annalen der Physik*, 156.

(continúa 1875)

gracias a su movimiento absoluto en el medio, y 3) las fuerzas no deben estar restringidas a la línea que une las dos cargas (*[34]*, vol. III, p. 309).

Erik Edlund (1819-1888; Suecia) diseña un depolarizador que corresponde *grosso modo* a un conmutador giratorio manual (*[34]*, vol. I, pp. 297-298).

Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; Luxemburgo) inventa, como uno de los resultados de sus experimentos de los últimos dos años, un electrómetro capilar, dispositivo sensible a los cambios de potencial del orden de 1/1000 V. En esencia, consiste en un tubo capilar, inclinado unos cuantos grados de la horizontal, que contiene una interfase de mercurio y ácido diluido. Aun cuando puede ser calibrado, generalmente se usa en potenciómetros y mediciones en puente y no como indicador de ceros. Es independiente de los campos eléctricos y magnéticos.

Lippmann publica "Sur une propriété d'une surface d'eau électrisée" ("Sobre una propiedad de una superficie de agua electrificada")⁽¹⁰⁴⁾, trabajo por el cual la Universidad de la Sorbonne le otorga un doctorado (*[34]*, vol. VIII, p. 387).

Lippmann publica además *Relation Between Electric Phenomena and Capillaries* (*Relación entre los fenómenos eléctricos y la capilaridad*) (véase 1873) (*[40]*, p. 1051).

Dosloff diseña una lámpara incandescente que quema barras de grafito en nitrógeno. Al consumirse la barra, otra se conecta automáticamente (*[25]*, p. 136).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra), basándose en los resultados de Crookes (véase 1875) y de Geissler (véase 1857), continúa intentando producir una lámpara práctica de filamento. Monta en tubos de vidrio un número de filamentos de carbón, similares a los que ya había usado en 1860. Charles H. Stearn, quien colabora con él, produce vacío en el interior de los tubos, con una bomba de Sprengel (1865), y los sella. Swan obtiene en general buenos resultados, aunque en las pruebas a altas temperaturas los filamentos se desintegran y la superficie interior de los bulbos se oscurece con una película negra. Considera que el problema reside en la pérdida del vacío perfecto, debido al aire residual que se desprende del carbón cuando éste alcanza muy altas temperaturas. Para superar el problema calienta el filamento mientras se aplica la bomba de vacío, para tratar de sacar hasta el último vestigio de aire (*[18]*, p. 131).

Moses Gerrish Farmer (1820-1893; Estados Unidos) sugiere que los sistemas de iluminación eléctrica por arco se operen en paralelo, para dividir la corriente y reducir la intensidad. Logra así reducir el tamaño de las unidades. Instala 42 lámparas en circuitos paralelos (*[18]*, p. 128; *[25]*, p. 135).

En la estación de ferrocarril «Gare du Nord», de París, Francia, se instala un generador de electricidad Gramme para alimentar las lámparas de arco del alumbrado. Otras empresas, como una fábrica en Mülhansen y la fábrica de chocolate de Menier en Noisiel-sur-Marne, también adoptan el sistema (*[5]*, p. 906).

En París, Francia, se instala el sistema de iluminación por arco eléctrico, el cual obtiene su energía mediante un generador (*[3]*, vol. 18, pp. 202-204).

⁽¹⁰⁴⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 81.

(continúa 1875)

Alexandre Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) nota, por serendipia, que las corrientes electromagnéticas generadas por la vibración de una armadura frente a un electroimán pueden producir efectos utilizables en sistemas de telegrafía múltiple y para la transmisión del habla. Poco después, con base en dicha observación, construye un sistema rudimentario de micrófono y audífono. Al poco tiempo mejora su invento (adopta una placa delgada de acero como diafragma y coloca las bobinas como piezas polares extendidas sobre un imán permanente), y ensambla transmisor y receptor en sendas cajas separadas, cada una con una boquilla en un extremo. Finalmente, diferencia la forma del transmisor (micrófono) y del receptor (audífono) (véase 1874) ([18], pp. 230-231). Aunque su micrófono magnético resuelve el problema de la transmisión de voz inteligible, todavía no es lo suficientemente sensible para ser empleado en un sistema telefónico ([61], p. 57).

Bell recibe la patente de Estados Unidos (no. 161,739) por el telégrafo armónico. Realiza una demostración ante la *Western Union*, señalando que se pueden mandar dos mensajes al mismo tiempo ([25], p. 136).

El 27 de febrero, Bell, Gardiner G. Hubbard y Thomas Sanders escriben un acuerdo para que los dos últimos financien los experimentos telegráficos del primero (véase Sanders, ca. 1875) ([52], p. 55).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) ayuda a diseñar, mediante su compañía, el primer barco para la instalación de cables submarinos, el *Faraday*. En los siguientes años instalará cinco cables ([34], vol. XII, p. 425).

Louis-Victor Manlioux (1843-1913; Francia) inventa un dispositivo de arranque automático (*starter*) para el telégrafo de Hughes ([40], p. 1103).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) funda la *Cleveland Telegraph & Supply Company* ([62], p. 127).

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) se da cuenta de que si puede enviar varios tonos simultáneamente, también le sería factible transmitir voz humana (véase 1873) ([25], p. 136).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) inventa el primer teléfono portátil de campo ([40], p. 552).

George R. Carey (Estados Unidos) hace la primera propuesta para construir un receptor de televisión. Concibe el uso de un mosaico similar al de la retina humana, consistente en un gran número de diminutas celdas de selenio eléctricamente sensitivas a la influencia de la luz. Cada celda estaría conectada con un alambre y una pila a una pequeña lámpara de un arreglo paralelo al del mosaico de celdas ([18], p. 285). A pesar de que todavía es un sistema burdo e impráctico, éste muestra los principios básicos de la fotodetección ([25], p. 136).

George F. Green inventa el taladro eléctrico dental ([11], p. 382).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) inventa una alarma eléctrica contra incendios (véase Farmer, 1848) ([40], p. 552).

(continúa 1875)

Richard Caton (1842-1926; Inglaterra) demuestra que la actividad eléctrica está presente en el cerebro durante periodos tanto de reposo como de movimiento⁽¹⁰⁵⁾ ([25], p. 135; [40], p. 312).

Como resultado de dos años de experimentación, William Crookes (1832-1919; Inglaterra) construye un *molino de luz*, o *radiómetro*, consistente en cuatro brazos suspendidos sobre una aguja de acero, de tal forma que pueden girar horizontalmente; cada extremo de los brazos termina en un disco de médula, ennegrecido en una de sus caras; todo queda encerrado en una ampolla de vidrio al vacío más alto alcanzado hasta este entonces y herméticamente sellado (véase 1873). Para obtener el vacío, Crookes emplea la bomba de vacío de Sprengel de 1865. Crookes describe sus resultados en "On the Attraction and Repulsion From Radiation" ("Sobre las atracciones y repulsiones de la radiación")⁽¹⁰⁶⁾ ([34], vol. III, p. 477; [59], vol. 2, p. 375). Como consecuencia de estas investigaciones y de su trabajo anterior, Crookes inventa el *tubo de rayos catódicos*, ampolla de vidrio, o tubo de Geissler, cuyo interior está casi al vacío (.001 mm de mercurio) y en uno de cuyos extremos se encuentra un sistema llamado cañón electrónico. Crookes nota que en el electrodo se desarrolla una fluorescencia. Aun cuando Hittorf ya había trabajado en lo mismo en 1869 y encontrado los mismos efectos, Crookes mejora el equipo, permitiéndole construir un dispositivo superior ([18], p. 130; [23], p. 30; [25], p. 135).

1875-77 Se publican las últimas investigaciones de Carlo Matteucci (1811-1868; Italia) en *Gesamelte Abhandlungen zur allgemeine Muskel- und Nervephysik* ([34], vol. IV, pp. 201-202).

1875-78 James Prescott Joule (1818-1889; Inglaterra) vuelve a experimentar en torno a la medición de la unidad de resistencia eléctrica, confirmando la discrepancia encontrada en 1867, lo cual demuestra la necesidad de mejorar y precisar la definición de esta unidad ([34], vol. VII, p. 182).

1875-80 Carl Anton Bjerknes (1825-1903; Noruega) y su hijo Vilhelm Frimann Koren Bjerknes (1862-1951; Noruega) tratan de desarrollar la misma analogía encontrada en 1875, por el primero de ellos, pero en esta ocasión para incluir la teoría general de Maxwell para los fenómenos electrodinámicos, con resultados negativos. Es decir, tratan de explicar las fuerzas magnéticas mediante la hidrodinámica ([34], vol. II, pp. 166-167).

1875-81 Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) es encargado de todo lo relacionado a las patentes de la *Western Union Telegraph Company* ([40], p. 1362).

1875-82 Antoine-Henri Becquerel (1852-1908; Francia) estudia la rotación del plano de polarización de la luz debida a los campos magnéticos ([34], vol. I, p. 558).

ca. 1876 Durante sus estudios de posgrado en el *Botham School*, en York, Inglaterra, Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) diseña un cuidadoso experimento para investigar los efectos señalados por Edison (véase ca. 1875), respecto a que puede percibir a distancia ciertos efectos provocados por un tren

⁽¹⁰⁵⁾ Lo que llevaría al desarrollo del electroencefalograma.

⁽¹⁰⁶⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 23.

(continúa en 1876)

de chispas eléctricas. Thompson muestra que de hecho sí son eléctricos, pero por no continuar con esta investigación, pierde la oportunidad de demostrar experimentalmente la propagación electromagnética de la teoría de Maxwell (J34], vol. XIII, p. 356).

1876

Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; Luxemburgo) publica el artículo "Extension du principe de Carnot à la théorie des phénomènes électriques" ("Extensión del principio de Carnot a la teoría de los fenómenos eléctricos")⁽¹⁰⁷⁾, en donde investiga la aplicación de los principios termodinámicos a los sistemas eléctricos (J34], vol. VIII, p. 387).

Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910; Alemania) publica "Ueber das Leitungsvermögen der in Wasser gelösten Electrolyte in Zusammenhang mit der Wanderung ihrer Bestandtheile"⁽¹⁰⁸⁾, en el cual, siguiendo los trabajos de Hittorf sobre la migración de iones, de 1853-59, establece que «en una solución diluida, cada elemento electroquímico tiene una resistencia perfectamente definida que le pertenece, independientemente del compuesto a partir del cual es electrolizado.» Así, soluciones electroquímicamente equivalentes de dos electrolitos que tienen un componente común, varían inversamente a los números de transporte de dicho componente (J34], vol. VII, p. 449).

Adolfo Bartoli (1851-1896; Italia) confirma la predicción de la teoría de Maxwell de la presión de la luz (J40], p. 121).

Eugen Goldstein (1850-1930; Silesia) denomina rayos catódicos a los rayos aparecidos en los tubos de Geissler (véanse Plücker 1858 y Hittorf, 1869) (J15], p. 48). Muestra que estos rayos producen sombras definidas y que son emitidos perpendicularmente a la superficie del cátodo, lo cual sugiere la construcción de cátodos cóncavos para concentrar los rayos⁽¹⁰⁹⁾. A raíz de estos hechos, empiezan a surgir dudas de que esta radiación esté constituida por ondas electromagnéticas (J34], vol. V, p. 458).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) publica *Traité d'électricité statique* (Tratado de electricidad estática) (J34], vol. IX, p. 155).

George Francis FitzGerald (1851-1901; Irlanda) publica "On the Rotation of the Plane of Polarisation of Light by Reflection from the Pole of a Magnet" ("Sobre la rotación del plano de polarización de la luz por la reflexión desde un polo de un imán") (J40], p. 574).

Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888; Prusia), en "Ueber das Verhalten des elektrodynamischen Grundgesetzes zum Prinzip von der Erhaltung der Energie und über eine noch weitere Vereinfachung des ersteren" ("Sobre el comportamiento de los estatutos electrodinámicos bajo el principio de conservación de la energía y sobre una todavía amplia simplificación de los primeros")⁽¹¹⁰⁾ simplifica la ecuación que había propuesto el año anterior, al tomar en consideración la conservación de la energía; sin embargo, ignora la posibilidad de que puedan ocurrir cambios energéticos en el medio (J34], vol. III, p. 309).

⁽¹⁰⁷⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 82.

⁽¹⁰⁸⁾ *Göttingen Nachrichten*.

(continúa 1876)

Wilhelm Eduard Weber (1804-1891; Alemania) desarrolla algunas ideas, tales como el concepto de que toda la materia está compuesta por partículas cargadas eléctricamente, las que se mantienen juntas en varias configuraciones estables, gracias a la acción de la fuerza descrita por su ley de 1846. Más aún, adoptando en esencia las hipótesis de Aepinus y de Mossotti, en el sentido de que las fuerzas electrostáticas atractivas entre partículas de diferente signo, contrarrestan ligeramente las fuerzas repulsivas entre partículas de igual signo, se puede incluir la gravitación en esta visión unitaria de la naturaleza. Estas ideas aparecen en libro de Zöllner (véase abajo) (J34J, vol. XII, p. 209).

J. K. F. Zöllner publica *Die Principien einer elektrodynamischen Theorie der Materie* (Principios de una teoría electrodinámica de la materia), en el cual expone las concepciones de Weber (véase arriba) (J34J, vol. XII, p. 209).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) inventa un dinamo práctico y económico para su empresa *Cleveland Telegraph & Supply Company* (J62J, p. 127).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) crea la primera celda de selenio, la cual consiste de dos alambres de platino enrollados en espiral sobre una mica, recubiertos con selenio derretido; después hornea el dispositivo (J25J, p. 137).

Georges Leclanché (1839-1882; Francia) construye una celda con placas móviles (J40J, p. 1014).

El 2 de septiembre, D. G. Fitzgerald (Reino Unido) recibe la patente británica (no. 3,466) por el invento del condensador de papel enrollado. Está formado con capas alternantes de papel y un conductor (generalmente estaño), enrolladas en forma de cilindro y sumergido en cera de parafina. La patente se titula "Improvements in Electrical Condensers or Accumulators" ("Mejoras a los condensadores o acumuladores eléctricos") (J52J, p. 54).

A. Appes fabrica un tipo de bobina de Rühnkorf, con unas 140,000 vueltas de alambre. Dicha bobina puede producir chispas de hasta 1 m de largo (J25J, p. 137).

Friedrich Wilhelm Georg Kohtrausch (1840-1910; Alemania) inventa un galvanómetro, con un núcleo de hierro móvil dentro de un solenoide que mueve una aguja sobre una escala vertical (J18J, p. 305).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) obtiene la patente para su brújula de marino compensada, la cual permite que la influencia del barco sobre la aguja sea corregida. Es la primera brújula realmente satisfactoria (J25J, p. 136).

Bouliguine diseña un tipo de lámpara incandescente usando una barra de grafito que avanza automáticamente, conforme se va consumiendo (J25J, p. 137).

¹⁰⁹⁾ Estos resultados los describe en *Monatsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin* (1876), p. 284.
¹¹⁰⁾ *Annalen der Physik*, 157.

(continúa 1876)

Pavel Nikoláievich Yablojkov (1847-1914; Rusia), trabajando en la fábrica de Gramme, de París, Francia, inventa una lámpara de arco eléctrico. El dispositivo consiste en dos barras de carbón paralelas separadas por una sustancia aislante (principalmente arcilla de caolín) que se quema mientras se desintegra el carbón, produciendo una luz brillante y estable. La bujía está sostenida en posición vertical. El arco se forma en el extremo superior debido a un corto circuito de corta duración a través de una tira delgada de carbón, fija a una banda de papel, que permanece ardiendo por varias horas. La sustancia separadora se consume gradualmente en la misma proporción que los carbones. Para asegurar que ambos carbones se consuman homogéneamente y que sus extremos permanezcan opuestos uno al otro, se emplea corriente alterna. Una simple bujía de 23 cm de largo dura alrededor de hora y media. Para conseguir iluminación continua por más tiempo, se montan varias bujías en un farol esférico, con un interruptor automático que las va conectando conforme se terminan (véase 1877) (*[18]*, p. 127; *[25]*, pp. 136-137 y 138).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) y Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) desarrollan, independientemente, un micrófono para teléfono. Ambos modulan la corriente por medio de una resistencia variable en un circuito de batería. La resistencia variable está constituida por una varilla unida al diafragma y sumergida en un líquido. Encuentran apropiados los alambres de platino y líquidos como el ácido sulfúrico diluido o una solución salina, obteniendo micrófonos capaces de reemplazar a los inductivos, que para entonces están ya ampliamente establecidos (véase 1875) (*[18]*, p. 233).

Clément Ader (1841-1923; Francia) inventa un micrófono (*[3]*, vol. 1, p. 97; *[40]*, p. 14) con el cual la telefonía se hace práctica. Su campo magnético está constituido por los dos polos de un imán en forma de herradura al que se le enrollan los hilos de la línea en sentido contrario (*[35]*, vol. 1, p. 177).

Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) propone nuevos métodos para que el telégrafo dúplex se convierta en un instrumento práctico (*[34]*, vol. 14, p. 211).

La Western Union instala el sistema telegráfico cuádruplex de Edison (véase 1874). Dicho sistema dobla la capacidad de las líneas existentes (*[26]*, p. 127).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) y J. Sivewright publican *Textbook of Telegraphy* (Libro de texto de la telegrafía) (*[40]*, p. 1372).

A Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos), siguiendo las ideas sobre su máquina parlante de 1864, se le ocurre utilizar un imán permanente en el receptor, con lo que logra diseñar tanto un transmisor como un receptor en el mismo dispositivo, un magnetoteléfono. A pesar de ser parecido al primer teléfono de Bell, este dispositivo no requiere de una batería (*[25]*, p. 137; *[40]*, pp. 469-470).

El 14 de febrero, Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) solicita la patente estadounidense por su teléfono, resultado de los estudios realizados en el *Massachusetts Institute of Technology*, en Massachusetts, Estados Unidos. El 7 de marzo recibe dicha patente (no. 174,465). Tres días después, el 10 de marzo, Bell llama a su asistente «Mister Watson, come here. I want you» («Sr. Watson, venga aquí. Lo necesito»), realizando así la primera transmisión inteligible de voz humana (*[52]*, p. 55). Este mismo año se celebran

(continúa 1876)

las fiestas por el centenario de la independencia del país. **Bell** realiza una demostración ante algunas personalidades, entre las cuales se encuentra **Dom Pedro**, emperador de Brasil, quien comenta «[...] han creado un invento que cambiará la forma de vida de todo el mundo.» ([11], p. 381; [25], p. 137).

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos), tres horas después de **Bell** (véase arriba), solicita la patente para un sistema de transmisión de voz, o teléfono ([10], p. 12).

La *American Speaking Telegraph Company*, subsidiaria de la *Western Union*, compra las patentes del micrófono de carbón (para teléfonos) de **Edison** ([62], p. 127).

Marey publica "Des variations électriques des muscles et du coeur en particulier étudiées au moyen de l'électromètre de M. Lippmann" ("De las variaciones eléctricas de los músculos y del corazón en particular estudiados por medio del electrómetro del Sr. Lippmann")⁽¹¹⁾, en donde describe los resultados de sus investigaciones de eventos bioeléctricos utilizando el electrómetro capilar de **Lippmann** (véase 1875) ([52], p. 53).

Charles Vincent Walker (1812-1882; Inglaterra) inventa un dispositivo para que desde un disco distante se puedan enviar indicaciones a los trenes ([40], p. 1749).

G. W. Adams y **R. E. Day** observan el efecto fotovoltaico en una estructura semiconductor de selenio ([58], p. 138).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) patenta el mimeógrafo.

Por otra parte, **Edison** establece su laboratorio en Menlo Park, Nueva Jersey, Estados Unidos, el cual llegaría a ser el primer laboratorio de investigación en el mundo. Se le unen **Charles Batchelor** y **John Kruesi** (1843-1899; Suiza-Estados Unidos) ([3], vol. 17, p. 1050; [11], p. 382; [25], p. 136).

1876-79

Richard Tetley Glazebrook (1854-1935; Inglaterra) trabaja como asistente de **Maxwell** en el Laboratorio Cavendish ([34], vol. V, p. 423).

1876-95

Emil Gabriel Warburg (1846-1931; Alemania) estudia la conducción eléctrica en sólidos, líquidos y gases. Establece que la conductibilidad en el cuarzo es 100 veces mayor en la dirección de su eje, que en la dirección perpendicular a este eje. Descubre la migración electrolítica de los iones de magnesio y litio a través del vidrio. Utiliza el corrimiento de las impurezas electrolíticas hacia el cátodo para purificar eléctricamente los materiales. Descubre la caída de cátodo, lo que le permite una mayor comprensión del proceso de las descargas en los gases, reconoce su importancia en la ruptura de voltaje y mide, para muchos gases, esta cantidad característica ([3-1], vol. XIV, p. 171).

ca 1877

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) y **Friedrich Franz von Hefner-Alteneck** (1845-1904; Alemania) patentan un dinamo, el cual consta de núcleos de madera, con alambre enredado sobre la superficie antes de aplicar los

⁽¹¹⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 82, pp. 975-977.

(continúa ca. 1877)

conductores. Los imanes de campo están compuestos por catorce barras de hierro forjado, siete arriba de la armadura y siete abajo, dobladas para formar el túnel de la armadura. Las barras se conectan en ambos extremos mediante yugos de hierro formando cuatro secciones donde se colocan las cuatro bobinas de campo, de tal forma que las porciones curvas del centro superior e inferior tengan polaridades opuestas, produciendo así un campo vertical en el cual rota la armadura. La máquina tiene una salida de 20 A a 50 V. Una de estas máquinas se instala en el *Museo de Ciencias* al sur de Kensington, Londres, Inglaterra, suministrando corriente para su iluminación entre 1878 y 1899 ([18], p. 113).

1877

Achille Auguste Cazin (1832-1877; Francia) publica *L'Étincelle électrique* (*La descarga eléctrica*) ([40], p. 314).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) aplica las teorías electromagnéticas de Maxwell al análisis de la carga y el desplazamiento residuales en la capacidad electrostática ([34], vol. VI, p. 504).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), bajo la dirección de B. Stewart, realiza su primera investigación experimental y publica "Experiments on Contact Electricity Between Non-Conductors" ("Experimentos sobre la electricidad por contacto entre no conductores")⁽¹¹²⁾ ([34], vol. XIII, p. 362).

John Kerr (1824-1907; Escocia), en "On the Rotation of the Plane of Polarisation by Reflection From the Pole of a Magnet" ("Sobre la rotación del plano de polarización por la reflexión desde el polo de un imán")⁽¹¹³⁾, informa de su descubrimiento de la rotación óptica del plano de polarización cuando la luz es reflejada por el polo de un imán ([25], p. 138; [34], vol. VII, p. 313).

Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822-1888; Prusia), en "Ueber die Ableitung eines neuen elektrodynamischen Grundgesetzes" ("Sobre la deducción de nuevos estatutos electrodinámicos")⁽¹¹⁴⁾ describe un tratamiento de la teoría electrodinámica más elaborado que el de 1876. Critica la ecuación de Riemann de la misma forma en que lo hizo con Weber. La expresión que propone se parece mucho a la de Riemann, excepto que sus fuerzas no centrales son paralelas y proporcionales a las velocidades y aceleraciones absolutas, en lugar de serlo a sus valores relativos. Esta ecuación no está restringida al caso de una sola electricidad móvil, sino que también es válida para dos electricidades, no importando si sus intensidades son iguales o diferentes.

Las tesis de Clausius se rigen por la tradición y por dos principios, el de la conservación de energía y el de la simplicidad. Después de obtener una forma muy general de su ecuación, aplicando el principio de conservación, introduce una constante simplificadora, la cual hace tender a cero para obtener la forma deseada, argumentando que así queda «en la forma más simple y, por lo tanto, más probable.» ([34], vol. III, p. 309).

J. E. Kempe, rector de *St James's, Piccadilly*, en Inglaterra, realiza una traducción al inglés del tratado de Oersted de 1820 –escrito originalmente en

¹¹²⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 25.

¹¹³⁾ *Philosophical Magazine*, ns. 3.

¹¹⁴⁾ *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 81.

(continúa 1877)

latin, sobre el descubrimiento de la relación entre electricidad y magnetismo-, para la *Society of Telegraph Engineers*¹¹⁵⁾ (*J18*, p. 55; *J51*, p. 11).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) intenta predecir teóricamente la fuerza electromotriz de una celda galvánica para diferentes concentraciones de una solución salina. Bajo ciertas situaciones, argumenta Helmholtz, esta celda puede ser tratada como un ciclo reversible, por lo que se pueden aplicar las leyes de N. L. S. Carnot (de 1824) y Clapeyron (de 1834-37) de (*J34*, vol. 17, p. 244).

William Grylls Adams (1836-1915; Inglaterra) Adams y R. E. Day publican "The Action of Light on Selenium" ("La acción de la luz sobre el selenio")¹¹⁶⁾ (véase 1876) (*J58*, p. 135).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos), en una de las clases que toma en la Universidad de Graz, observa la mala producción de chispas entre el conmutador y las escobetas de un dinamo de Gramme, que se opera como un motor. En una de las clases, Tesla sugiere que probablemente podría construirse un motor sin el conmutador, ante dicha proposición, el profesor lo ridiculiza frente a sus compañeros (*J34*, vol. XIII, p. 286).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia la eficiencia de varios motores eléctricos (*J34*, vol. IX, p. 153).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) descubre que se puede producir un mecanismo de motor con una bobina circular colocada en un campo magnético radial. El 14 de diciembre recibe la patente alemana (no. 2,355) por dicho mecanismo (*J52*, p. 57).

Pavel Nikolaievich Yablojkov (1847-1894; Rusia) menciona por primera vez la aplicación de una bobina de inducción (después llamada transformador) para transferir potencia eléctrica a las diversas lámparas. La bobina es el primer transformador realmente práctico y utiliza una pieza que data de 1831 (*J52*, p. 45).

Tomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) estudia la posibilidad de producir carbón incandescente para una lámpara eléctrica. En sus primeros experimentos emplea cintas de papel carbonizado, con no muy buenos resultados (las cintas se oxidan rápidamente al aplicar la corriente, incluso bajo la campana de vidrio de una bomba de vacío). Experimenta también con cromo, boro y otros metales (*J18*, p. 132).

Emile Reynier inventa una lámpara eléctrica de combustión basada en la incandescencia de una barra de carbón atravesada por una corriente eléctrica. La lámpara consiste en una barra de carbón empujada por un contacto fijo y puesta en incandescencia, entre este tope y un punto de contacto colocado a cierta distancia del primero (*J56*, pp. 173-174).

¹¹⁵⁾ *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, 5, pp. 459-473.

¹¹⁶⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 25, p. 113.

(continúa 1877)

El 22 de mayo, Pavel Nikolaievich Yablojkov (1847-1894; Rusia) solicita una patente para su sistema de iluminación por arco eléctrico de 1876 (*J52*, p. 45).

Se instala el sistema de iluminación por arco eléctrico de Yablojkov de 1876, en la Avenida de la Opera, en París, Francia. Este hecho estimularía la investigación en el campo de este tipo de iluminación (*J3*, vol. 1, p. 523; *J25*, p. 138).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) patenta el recubrimiento de cobre para los filamentos de carbón de las lámparas de arco eléctrico (*J62*, p. 128).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) funda la *Van Depoele Electric Light Company, Inc.*, en Hamtramck, Michigan, Estados Unidos (*J40*, p. 1708; *J62*, p. 129).

Louis-Victor Mandrux (1843-1913; Francia) inventa un relé polarizador para los cables telegráficos submarinos (*J40*, p. 1103).

Emile Berliner (1851-1929; Alemania-Estados Unidos) descubre que un contacto suelto, o libre, actúa como receptor telefónico (*J40*, p. 161), por lo que solicita la patente para un micrófono o transmisor con este tipo de contacto. Vende dicho micrófono de carbón a la compañía *Bell Telephone Company* (*J25*, p. 138).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos), partiendo de sus resultados obtenidos alrededor de 1875 y basándose en las ideas de E. Gray de 1873, diseña un relé de presión, que mejora la audibilidad del teléfono (dispositivo este último sobre el cual él mismo ha trabajado). Los experimentos quedan concluidos hacia finales de este año con el transmisor de botón (o micrófono) de carbón granulado (utiliza el hecho de que la resistencia entre dos piezas de carbón depende de la presión ejercida entre ellas), el cual llegaría a ser el estándar para el sistema Bell¹¹⁷). Los granos de carbón están hechos con carbón "anthraxylon" negro profundo (*deep-black "anthraxylon" coal ground*), los cuales se hacen pasar por una malla, se tratan químicamente y se calcinan en diferentes etapas bajo un chorro de hidrógeno. Este proceso quita la materia volátil, lava los compuestos extraños y carboniza el carbón. El último paso del proceso es un filtrado magnético y por chorro de aire para eliminar las partículas de hierro y las que tienen forma plana. El 27 de abril recibe las patentes estadounidense (nos. 474,230 y 474,231/2) (*J3*, vol. 17, p. 1050; *J18*, p. 233; *J51*, p. 40; *J52*, p. 57).

John Kruesi (1843-1899; Suiza-Estados Unidos) construye el primer fonógrafo Edison (véase arriba) (*J40*, p. 973).

¹¹⁷) Todavía se utiliza en los auriculares de los teléfonos y los micrófonos modernos. Los granos de carbón están hechos con carbon anthraxylon negro profundo (*deep-black "anthraxylon" coal ground*), los cuales se hacen pasar por una malla, se tratan químicamente y se calcinan en diferentes etapas bajo un chorro de hidrógeno. Este proceso quita la materia volátil, lava los compuestos extraños y carboniza el carbón. El último paso del proceso es un filtrado magnético y por chorro de aire para eliminar las partículas de hierro y las que tienen forma plana.

(continúa 1877)

Emile Baudot (1845-1903; Francia) inventa un telégrafo de imprenta, el cual transmite de 3 a 4 veces más mensajes y reemplaza al dispositivo de Hughes en la línea París-Roma (véase 1870) ([40], p. 128).

Pocos meses después de su invención, se considera al teléfono como una variación del telégrafo acústico (dispositivo para convertir las señales recibidas en voz, para luego ser enviadas como mensajes telegráficos) y no se piensa en él como medio de comunicación masiva de persona a persona. En el verano de este año, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) empieza a trabajar en un telégrafo de este tipo. Algunos investigadores anteriores, como Léon Scott, habían supuesto que cada sonido, si se pudiese registrar gráficamente, tendría una forma característica y única. En un principio, Edison emplea un papel cubierto con parafina y un transmisor de carbón en forma de pluma, para hacer las impresiones de las señales recibidas. Al terminar la impresión de los sonidos, vuelve a pasar la banda de papel por la pluma y puede escuchar la reproducción sonora, muy débilmente, de las muescas en la parafina. Al poco tiempo, Edison reemplaza la banda de papel por un cilindro cubierto con una hoja de papel aluminio, al cual hace girar por medio de una manivela. En el transmisor grita el principio de la canción de niños *Mary had a little lamb*. El 24 de diciembre solicita la patente por la invención del fonógrafo ([3], vol. 17, p. 1050; [25], p. 139; [52], p. 37).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) propone la idea del multiplex de frecuencia, el cual da la posibilidad de enviar varios mensajes a la vez por una misma línea telefónica ([10], p. 26).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) patenta el teléfono de imán permanente, el que, básicamente, es el mismo dispositivo que el de Dolbear de 1876 ([10], p. 26).

El 13 de febrero, el diario *Boston Globe* de Estados Unidos, publica las primeras noticias recibidas por línea telefónica ([25], p. 138).

Se realiza la primera llamada telefónica de larga distancia entre Salem y Boston, Massachusetts, Estados Unidos ([25], p. 138).

Un banquero de Boston, Massachusetts, Estados Unidos, arrienda dos instrumentos telefónicos, cada uno consistente en una caja de madera que contiene tanto un transmisor como un receptor. La personas en comunicación tiene que hablar y escuchar en forma alternada. Con estos instrumentos, en abril se instala la primera línea telefónica comercial, entre la casa y la tienda de un comerciante, distantes unos 5 km. Para junio, hay 250 teléfonos más en uso y para septiembre el número se ha elevado a 1,300 ([25], p. 139; [52], p. 55).

La *Western Union Telegraph Company* forma la *American Speaking Telephone Company*, y utiliza las patentes de Gray y Dolbear ([25], p. 138).

El 9 de julio, Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos), Gardiner G. Hubbard, Thomas Sanders y Thomas Augustus Watson (1854-1934; Estados Unidos) firman la escritura mediante la cual fundan el fideicomiso de la *Bell Telephone Company*, quedando Hubbard como fideicomisario ([52], p. 37).

(continúa 1877)

55). Unos tres meses después, en octubre, comienza a operar la primera *Bell Telephone Company* en Alemania, entre Berlín y Schöneberg ([25], p. 135).

Constanten **Senlecq** construye un modelo rudimentario de un sistema facsimilar, utilizando un dispositivo de selenio como recolector para la transmisión gráfica de las imágenes. Utiliza uno de los primeros tipos de mosaico ([25], p. 138).

Ivan Alekseevich **Vyshegradski** (1831-1895; Rusia) inventa un regulador para corriente directa ([40], p. 1742).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos), alumno de la *Central High School*, de Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, demuestra que la *plata alemana* puede emplearse en los elementos resistentes al calor ([62], p. 128).

John Ambrose **Fleming** (1849-1945; Inglaterra) empieza a trabajar bajo la supervisión de **Maxwell**, en el nuevo Laboratorio **Cavendish**, de la Universidad de Cambridge ([34], vol. I, p. 33).

1877-99

Gustav Heinrich **Wiedemann** (1826-1899; Alemania) es editor de *Annalen der Physik und Chemie*, publicación que incluye todos los conocimientos sobre la electrotecnia ([40], p. 1795).

1878

Friedrich Wilhelm Hubert **Von Beetz** (1822-1886; Alemania) publica *Grundzüge der Elektrizitätslehre* (*Rasgos esenciales de las lecciones en electricidad*) ([40], p. 1729).

Hermann von **Helmholtz** (1821-1894; Alemania), para alentar el trabajo experimental en el área de las corrientes eléctricas abiertas, propone un problema para el premio de la *Facultad Filosófica de Berlín*, relacionado con una de las implicaciones de la teoría de **Weber**: al hacer que la electricidad oscile en un circuito abierto, la hipotética inercia eléctrica de **Weber** debería manifestarse como un retardo en las oscilaciones. **Helmholtz** pide a su alumno **Hertz** que participe en el concurso y lo ayuda a realizar sus experimentos ([34], vol. IV, p. 344).

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) comienza a trabajar con **Helmholtz**. Aun cuando lleva sólo un año de estudios universitarios, al enterarse de que la *Facultad Filosófica de Berlín* ofrece un premio para quien resuelva un problema respecto a la inercia eléctrica (véase **Helmholtz**, arriba), decide inscribirse al concurso.

Mediante los experimentos sugeridos por **Helmholtz**, sobre autoinducción en espirales dobles, **Hertz** demuestra que la inercia de la electricidad es o cero, o menor que un valor muy pequeño, con lo cual apoya experimentalmente la posición de su maestro respecto a la imposibilidad de la teoría de **Weber** ([34], vol. VI, p. 341).

Wilhelm **Holtz** (1836-1913; Alemania) publica *Teoría e instalación de pararrayos* (en alemán) ([40], pp. 821-822).

(continúa 1878)

Erik Edlund (1819-1888; Suecia) deriva la ley fundamental de Weber, asumiendo un único fluido eléctrico constituido por partículas (probablemente el propio éter luminífero) y suponiendo que la acción eléctrica se propaga a velocidad finita (*J34*, vol. VIII, p. 492).

Henry Augustus Rowland (1848-1901; Estados Unidos), estimulado por los estudios de *Electrical Researches (Investigaciones eléctricas)*, de Faraday, quiere averiguar si el efecto magnético producido por una corriente eléctrica es resultado directo de las cargas en movimiento a través del espacio, o es algún tipo de interacción entre la corriente y el cuerpo conductor. Realiza dichos experimentos en el laboratorio de Helmholtz. Utiliza un disco de vulcanita cargado y sobre él suspende una aguja estática para registrar los efectos. Cuando mantiene estacionaria la carga y hace girar el disco, no detecta ninguna acción; sin embargo, cuando la carga gira con el disco, el movimiento de la aguja está correlacionado con el sentido de rotación de la carga (véase Röntgen, 1888).

Aun cuando este experimento no es decisivo para poder inclinarse por alguna de las teorías electrodinámicas, Rowland es el primero en demostrar que las corrientes eléctricas por convección producen efectos electromagnéticos (*J34*, vol. VI, p. 252 y vol. XI, p. 576). Sin embargo, nadie más lograría repetir con éxito tal experimento (*J34*, vol. XI, p. 530).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania), a partir de los resultados de Rowland (véase arriba), concluye que estos fenómenos pueden predecirse tanto de la teoría de Maxwell, como de su ley potencial generalizada de 1870 (*J34*, vol. VI, p. 252).

James Moser realiza algunos experimentos y comprueba⁽¹¹⁸⁾ la teoría de Helmholtz sobre la aplicación de las leyes de la termodinámica al ciclo de una celda galvánica (véase 1877) (*J34*, vol. VI, p. 244).

Alfred Marshall Mayer (1836-1897; Estados Unidos) describe⁽¹¹⁹⁾ sus experimentos en los cuales inserta agujas magnetizadas en corchos, que están flotando en un balde de agua, con su polo sur hacia arriba, bajo el polo norte de un electroimán muy potente. En dichas condiciones pueden observarse ciertas configuraciones estables «que sugieren la forma en la cual los átomos de las moléculas se pueden agrupar en la formación de algunos compuestos» y que ilustran varias propiedades de la estructura de la materia (*J34*, vol. IX, p. 230).

Éleuthère Étie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia la propagación de electricidad en los conductores (*J34*, vol. IX, p. 155).

Adolfo Bartoli (1851-1896; Italia) muestra que si utiliza electrodos de oro o de platino una corriente débil puede provocar la disociación del agua (*J40*, p. 121).

La conferencia bakeriana de William Crookes (1832-1919; Inglaterra) versa sobre algunos de sus descubrimientos con las descargas eléctricas en tubos al vacío. Habla ya de ciertos rayos moleculares (véase 1879) (*J52*, p. 58).

¹¹⁸⁾ *Annales der Physik*, III, p. 216.

¹¹⁹⁾ *American Journal of Sciences*, 15 y 16, *Scientific American*, sup. 5.

(continúa 1878)

Henry Augustus Rowland (1848-1901; Estados Unidos) publica "Research on the Absolute Unit of Electrical Resistance" ("Investigación sobre la unidad absoluta de resistencia eléctrica") ([40], p. 1432).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) se ve estimulado a estudiar la radiación del calor por el libro *Heat Considered as a Mode of Motion* (*El calor considerado como un modo de movimiento*) de J. Tyndall. En lugar de los conceptos «acorde» y «disorde» para la absorción del calor, adoptados por Tyndall, Planck introduce, particularmente en el caso de los gases, el principio de la conservación de la energía para explicar el equilibrio entre el movimiento del éter y el cuerpo caliente (después llegaría a ser su «resonador») ([34], vol. XI, p. 10).

Alfred Niaudet publica un libro sobre diferentes baterías, en el cual describe más de mil tipos de equipos ([25], p. 140).

Gaston Planté (1834-1889; Francia) realiza una demostración de su acumulador de 1859, por lo que éste empieza a popularizarse ([25], p. 140).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) diseña un dinamo para circuitos de luz de arco eléctrico, que llama «dinamo de bobina abierta». La máquina tiene dos imanes de campo en forma de U con sus polos uno frente al otro a través de una abertura en la que la armadura gira sobre un eje horizontal. Tiene cuatro bobinas, una en cada brazo de los dos imanes, y los núcleos de los imanes tienen extensiones de hierro colado en los polos. La armadura, de hierro colado, es de tipo anillo y tiene ocho bobinas, cuyos pares opuestos están conectados en serie y llevados a un par de segmentos en un conmutador especial. Un dispositivo especial reduce el voltaje si se apagan una o más lámparas de la serie a la que suministra energía. La máquina opera a 1,200 rpm y entrega una corriente de 10 A a 50 V, o de 10 A a 90 V si la velocidad se eleva a 1,325 rpm (véase 1875) ([18], pp. 118-119; [25], p. 140; [40], p. 262).

De Meritens desarrolla una máquina electromagnética de corriente alterna, que difiere de la máquina de la empresa *Compagnie de l'Alliance* por la disposición del inducido. Está compuesta de un anillo formado de 16 secciones montadas sobre una rueda de bronce, fija a un eje. Alrededor de la rueda están dispuestos los inductores, formados de ocho imanes en forma de herradura de acero de Avellard, siguiendo las generatrices de un cilindro horizontal, presentando de un mismo lado sus polos alternados e igualmente espaciados. La corriente desarrollada cambia de sentido 16 veces por giro y es colectada por escobillas ([56], pp. 100-101).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y Edwin James Houston (1847-1914) demuestran su dinamo de corriente alterna, o alternador, y su transformador, en el *Franklin Institut*, en la ciudad de Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos. Los dispositivos constan de una armadura esférica de triple embobinado ([62], p. 128).

Marcel Deprez (1843-1918; Francia) inventa el enrollado compuesto para la estabilización del voltaje y velocidad en las máquinas de corriente directa. Muestra cómo se puede determinar totalmente la operación de tales máquinas a partir de las características en circuito abierto y en cortocircuito ([34], vol. IV, p. 40).

(continúa 1878)

Théodore Achille Louis **Du Moncel** (1821-1884; Francia) publica *Exposé des applications de l'électricité* (*Exposición de las aplicaciones de la electricidad*). Escribe sobre el fracaso de las mal llamadas máquinas electromagnéticas del segundo tercio del siglo 19 (debería llamarse solamente magnéticas): «Se han realizado intentos [...] para emplear los efectos atractivos de los electroimanes [...] como fuerza motriz. Este asunto ocupa todavía hoy a mucha gente y, considerando el ardor demostrado para resolver el problema, uno podría decir que no es menos importante que el descubrimiento de la piedra filosofal en la mecánica. Sin duda alguna la creación de un motor no explosivo, el cual no necesitaría de operador, que podría situarse en donde fuera más conveniente sin necesidad de un edificio especial, que podría construirse para operar con mayor o menor fuerza de acuerdo al trabajo requerido y, finalmente, el tamaño del cual no sería problemático, sería muy importante [...] pero casi se puede predecir que esos motores, que tienen más éxito cuando son pequeños, son aquellos para los cuales se han obtenido los peores resultados cuando son de gran tamaño [...]»⁽¹²⁰⁾ (*[51]*, p. 60).

Antoine **Bréguet** (1851-1882; Francia) escribe el artículo *Aperçu historique sur la lumière produite par l'électricité* (*Resumen histórico sobre la luz producida por electricidad*), aparecido en la revista *La Nature*, en el que afirma que Otto von **Guericke** (1602-1686; Alemania) obtuvo el primer resplandor producido por la electricidad (*[56]*, p. 119).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos), a petición de varios científicos, entre los cuales se encuentran Langley y Draper, que desean registrar cambios muy pequeños de temperatura durante un eclipse de Sol, inventa el microtermómetro, el cual utiliza un botón de carbón. Durante la expedición al eclipse, los científicos discuten la posibilidad de subdividir las intensas luces producidas por las lámparas de arco, de tal forma que se tenga el equivalente eléctrico de los mecheros de gas. Edison les dice que él puede inventar tal dispositivo. Un sindicato de financieros -entre los que se encuentran G. P. Lowrey, Consejero Jefe de la empresa *Western Union*, otros altos ejecutivos de dicha empresa, E. P. Fahri, socio del banquero J. P. Morgan- establece la *Edison Electric Light Company*, adelantándole 30,000 dólares para el desarrollo de la lámpara eléctrica incandescente. Edison propone conectar las luces en un circuito en paralelo, subdividiendo la corriente para que así, en contraposición a las luces por arco, que están conectadas en serie, si hay una falla en una de las bombillas, no cause que todo el sistema falle. Algunos científicos vaticinan que tal sistema nunca será factible, pero sus conclusiones se basan en los sistemas de lámparas con baja resistencia, único tipo de luz eléctrica disponible hasta ahora. Francis Upton⁽¹²¹⁾ se une al grupo en diciembre (*[3]*, vol. 17, p. 1050; *[25]*, p. 140).

Joseph Wilson **Swan** (1828-1914; Inglaterra) inventa la primera lámpara incandescente eléctrica de utilidad práctica, consistente en un conductor de carbón de forma recta (de 1 mm de diámetro) encerrado herméticamente en un bulbo tubular de vidrio con extremos cónicos (véase 1875) (*[3]*, vol. 18, pp. 202-204; *[18]*, p. 131).

Swan inventa también el proceso de atomización para hacer fibras de nitrocelulosa para los filamentos de las lámparas. Swan trabaja junto con C. H. Stearns, experto en la producción de altos vacíos, y con F. Tojhan, experto soplador de vidrio que fabrica los globos de vidrio. El proceso viscoso para las fibras lo inventó Charles Frederick Cross (1855-1935; Inglaterra) (*[52]*, p. 38).

⁽¹²⁰⁾ No conoce la teoría moderna de las máquinas, que establece que mientras más pequeñas sean las máquinas magnéticas y mas grandes las electromagnéticas, los resultados son mejores.

⁽¹²¹⁾ Recién egresado de la carrera de matemáticas, en Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos.

(continúa 1878)

Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) patenta la primera lámpara de arco eléctrico en serie (162), p. 128).

Rooke Evelyn Bell **Crompton** (1845-1940; Inglaterra) mejora la lámpara de arco eléctrico (eleva la posición del mecanismo para evitar que se proyecten sombras indeseables). Comercializa sistemas de alumbrado que incluyen un dinamo **Crompton-Burgin** con una lámpara. Asociando cada lámpara a una resistencia, produce cadenas estables de ocho lámparas, mismas que vende para iluminar los patios de los ferrocarriles y espacios abiertos (118), p. 147).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa una lámpara de arco eléctrico vibrante, operada con un dinamo **Thomson** (162), p. 128).

Friedrich Franz von **Hefner-Alteneck** (1845-1904; Alemania) inventa un regulador diferencial de doble corriente para las lámparas de arco que facilita las conexiones en serie y en paralelo de las lámparas. Esto hace posible la inmediata instalación de la iluminación eléctrica callejera (134), vol. VI, p. 223).

En Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, se instala un sistema de iluminación por arco eléctrico en la tienda departamental *Wanamaker's Store*, siendo, probablemente, la primera aplicación comercial. Muy pronto, las plantas industriales siguen este ejemplo, y con ello sería posible el trabajo nocturno (125), p. 140; (55), p. 906).

Se instala un sistema de iluminación eléctrica en las calles de Inglaterra (11), (25), p. 141).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) y St. George Lane-**Fox** proponen la idea de transmitir energía eléctrica a los clientes, con propósitos de iluminación (13), vol. 18, p. 494).

David Edward **Hughes** (1831-1900; Inglaterra), ante la *Royal Society of London*, Inglaterra, lee un artículo en el cual describe su investigación acerca del efecto que la presión de contacto entre elementos de un circuito eléctrico tiene sobre el valor de la corriente. El dispositivo consiste en una barra de carbón afilada en ambos extremos y sostenida débilmente en bloques de carbón, los cuales están amarrados a un tablero de sonido. Conectándolo en serie a una batería y a un receptor de teléfono, se pueden amplificar considerablemente los ruidos recibidos. La fidelidad para la recepción de la voz es mala. Nombra a su invento como «micrófono» (10), p. 12; (18), p. 234; (25), p. 141; (40), p. 840).

Emile **Berliner** (1851-1929; Alemania-Estados Unidos) es el primero en usar una bobina de inducción en los transmisores, con lo que perfecciona el transmisor de **Blake** (véase arriba) y llega a convertirse en el modelo estándar (25), p. 141; (40), p. 161).

Francis **Blake** (1850-1913; Estados Unidos) diseña el primer transmisor telefónico comercial de éxito, el cual utiliza platino y carbón como los elementos resistivos (25), p. 141). A este dispositivo se le conocería como el transmisor de **Blake** (40), p. 186).

(continúa 1878)

El 19 de febrero, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 200,521) por su fonógrafo (véase 1877) (J52, p. 57).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) desarrolla un registrador eléctrico de votos; un repetidor automático para el telégrafo; varias máquinas para transmisión telegráfica cuádruplex y séxtuplex (J40, p. 308).

Ernest Mercadier (1836-1911; Francia) es nombrado profesor de la *Escuela Nacional de Telegrafía* de Francia (J40, p. 1162).

Elisla Gray (1835-1901; Estados Unidos) publica *Experimental Researches in Electro-Harmonic Telegraphy and Telephony* (Investigaciones experimentales en telegrafía y telefonía electroarmónicas) (J40, p. 492).

Se aplica el sistema de Muirhead para la duplexación en el cable transatlántico. Este sistema incrementa la velocidad de transmisión a unos 90 palabras por minuto, doblando la capacidad del cable (J25, p. 140).

Probablemente, Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) y Charles Sumner Tainter (1854-1940; Estados Unidos) son los primeros en utilizar la pila de selenio, la cual emplean en el fonógrafo, especie de teléfono que, en lugar de alambre, usa un haz de luz para enviar las modulaciones de la voz (J25, p. 141).

Clément Ader (1841-1923; Francia) instala en París el primer sistema telefónico de Francia (J40, p. 14).

En New Haven, Connecticut, Estados Unidos, empieza el servicio telefónico comercial con 22 subscriptores (J11, p. 383; J25, p. 141).

Théodore Achille Louis Du Moncel (1821-1884; Francia) publica *Le téléphone, le microphone et le phonographe* (El teléfono, el micrófono y el fonógrafo), su obra más popular (J34, vol. IV, p. 248).

Se instalan en Manchester y en Liverpool las primeras centrales telefónicas de Inglaterra (J11; J25, p. 141).

A. de Paiva realiza unos planos para la construcción de un telescopio eléctrico. Sugiere que la imagen se puede proyectar sobre una placa recubierta de selenio y realizar un barrido de esta placa con un estilete metálico. Se debía utilizar una lámpara incandescente, la cual se movería en movimiento acoplado al punto de observación para reproducir la imagen. Este sistema solo es práctico para imágenes muy simples pero, probablemente, es la primera sugerencia de que se realice un barrido para una televisión (J25, p. 140).

Mahlon Loomis (1826-1886; Estados Unidos) realiza una demostración, en Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, de su sistema transmisión inalámbrica de 1872. Cuando los papalotes están a la misma altura, se puede establecer una comunicación tan buena como si éstos estuvieran conectados por un alambre (J25, p. 141).

(continúa 1878)

David Edward **Hughes** (1831-1900, Inglaterra) experimenta con un cohesor metálico, con el que probablemente logra detectar ondas eléctricas a partir de una descarga. Algunos autores consideran que **Hughes** es el inventor del cohesor ([16], p. 61).

Stephen Dudley **Field** (1846-1913, Estados Unidos) inventa un elevador eléctrico ([40], p. 564).

Charles E. **Scribner** inventa el interruptor de cuchilla ([25], p. 140).

ca. 1879

August Adolph **Kundt** (1839-1894, Alemania) publica sus investigaciones sobre el espectro de los relámpagos y sobre un procedimiento para determinar la termo, actino y piezoelectricidad de los cristales ([34], vol. VII, p. 256).

1879

August Adolph **Kundt** (1839-1894, Alemania) y Wilhelm Conrad **Röntgen** (o **Roentgen**) (1845-1923, Alemania) publican "Ueber die electromotorische Drehung der Polarisationsseben des Lichtes in Gasen" ("Sobre la rotación electromotriz del plano de polarización de la luz en los gases")⁽¹²²⁾, en el cual demuestran el efecto *Faraday* en los gases ([34], vol. VII, p. 256).

Edwin Herbert **Hall** (1855-1938, Estados Unidos), estimulado por Rowland para cuestionarse uno de los enunciados descritos en el libro *Electricity and Magnetism* (*Electricidad y magnetismo*), de **Maxwell**, en el sentido de que la fuerza ejercida sobre un conductor en un campo magnético actúa directamente sobre el conductor y no sobre la corriente eléctrica, **Hall** realiza una investigación que se ve coronada con el descubrimiento de que una corriente eléctrica de partículas de un solo signo forzadas a moverse en una sola dirección que pasa por un conductor perpendicular a un campo magnético produce un gradiente de potencial eléctrico perpendicular tanto a la corriente como al campo. Al principio cree que este efecto se debe simplemente a la interacción entre la corriente y el campo; sin embargo, tiene que cambiar de idea, ya que encuentra que en otros materiales la dirección del efecto es contraria a la predicha. A este fenómeno se le conocería como efecto *Hall*. Este estudio es la base de su disertación doctoral y lo publica como "On a New Action of the Magnet in Electric Currents" ("Sobre una nueva acción del imán en corrientes eléctricas")⁽¹²³⁾ ([34], vol. VI, p. 51; [40], p. 737; [52], p. 58).

Johann Philipp Ludwig Julius **Elster** (1854-1920, Alemania) escribe su tesis doctoral, "Die in freien Wasserstrahlen auftretenden elektromotorischen Kräfte" ("Sobre el chorro libre que sale de las fuerzas electromotrices") ([34], vol. IV, p. 354).

Hermann von **Helmholtz** (1821-1894, Alemania), para motivar aún más los experimentos tendientes a poder tomar una decisión entre las teorías electrodinámicas en boga, propone un segundo prenio, a través de la *Academia de Ciencias de Berlin*, Alemania. Dicha proposición se relaciona con el comportamiento de los circuitos cerrados en la teoría de **Maxwell**. Una tesis central de esta teoría es la de que los cambios en la polarización dieléctrica conllevan efectos electromagnéticos, exactamente en la misma forma que las corrientes eléctricas. **Helmholtz** quiere una prueba experimental de tales efectos

¹²²⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 8.

¹²³⁾ *American Journal of Mathematics*, 2.

(continúa 1879)

o, de manera inversa, la producción electromagnética de la polarización dieléctrica ([34], vol. VI, p. 344). Originalmente quiere incluir en el problema la comprobación de si el aire y el vacío se comportan electromagnéticamente como un dieléctrico sólido, como lo requiere la teoría de Maxwell, sin embargo, considera que los experimentos necesarios son demasiado complicados, por lo que elimina esta opción ([34], vol. VI, p. 345).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) gana el premio ofrecido el año anterior por la *Facultad Filosófica de Berlín*. Mientras está terminando este trabajo, Helmholtz le pide que compita por un premio de mucho más valor, propuesto por la *Academia de Ciencias de Berlín* (véase arriba). Este premio es para poder tomar una decisión experimental sobre las suposiciones críticas de la teoría de Maxwell. Hertz rechaza tal petición, argumentando que le llevaría tres años terminarlo y con resultados inciertos, ya que las oscilaciones eléctricas de las botellas de Leyden y las bobinas de inducción abierta no son capaces de producir efectos observables. En lugar de esto, escribe su disertación doctoral sobre la inducción electromagnética en conductores en rotación. Este no es un trabajo pionero, pero sí es un estudio profundo sobre un problema que había sido tratado parcialmente por Faraday, Arago, Jochmann y el propio Maxwell ([34], vol. VI, p. 341).

La *Academia de Ciencias de Berlín*, Alemania, ofrece un premio para quien logre detectar las ondas electromagnéticas, cuya existencia se predice en la teoría de Maxwell ([16], p. 61).

David Edward Hughes (1831-1900; Inglaterra) detecta, en los contactos sensibles de su micrófono, ondas eléctricas invisibles, provenientes de bobinas o máquinas eléctricas de fricción, que permean grandes distancias. Se da cuenta de la influencia que su cohesor, del año pasado, ejerce sobre unas barras de carbón que están sobre una placa de acero. Observa que cuando se interrumpe el paso de la corriente eléctrica por una bobina, se genera una forma de onda eléctrica, la cual puede ser detectada en un receptor telefónico en un circuito que contiene un contacto metálico suelto. Dichas ondas presentan un rango de 600 m (véase 1880) ([16], p. 61; [25], p. 144).

William Crookes (1832-1919; Inglaterra), basado en el concepto de Faraday de la *materia radiante* se refiere a un «cuarto estado de la materia» en el que la trayectoria libre media de las moléculas es tan grande que las colisiones entre ellas pueden ser ignoradas. En su conferencia para la *British Association for the Advancement of Science*, Londres, Inglaterra, y continuando lo expuesto en la conferencia bakeriana del año pasado, Crookes muestra que en los tubos de descarga, la *materia radiante* induce una fosforescencia en los minerales como el diamante, así como en el propio vidrio. Encuentra que la trayectoria de esta emisión se puede desviar con un imán. Además, dado que la emisión (que viaja en línea recta) produce sombras cuando se interponen cuerpos opacos y estos objetos se calientan, deduce que es de naturaleza corpuscular. En "Radiant Matter" ("Materia radiante")⁽¹²⁴⁾ establece que «con toda seguridad, estas pequeñas partículas indivisibles constituyen las bases físicas del universo» ([34], vol. III, p. 477; [52], p. 58).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) trata de extender la teoría de los procesos cíclicos a un número arbitrario de cuerpos arbitrarios.

¹²⁴⁾ *Chemical News*, 40.

(continúa 1879)

Prefiere basar sus análisis en la distinción entre procesos neutrales y naturales (irreversibles). Aunque trata de continuar el trabajo de Clausius, se desvía del cálculo de los «valores de equivalencia» de su predecesor, los cuales elimina al incluir todos los reservorios de calor, y simplifica el enunciado de la segunda ley al requerir la compensación de todas las pérdidas tales como aquellas causadas por la fricción y la conducción del calor durante un cambio completo de fase, de tal forma que el proceso sea reversible. Planck todavía emplea implícitamente el concepto de «estado» para referirse a una función de una condición dependiente de la temperatura, la presión y el volumen (*[34]*, vol. XI, pp. 9-10).

Josef Stefan (1835-1893; Austria) da a conocer su ley empírica que establece que el calor radiado de un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta (*[34]*, vol. XIII, p. 11).

Clamond desarrolla una pila termoeléctrica calentada con coque. La pila consta de tres partes: a) el hogar y el colector, que tienen como objeto calentar las soldaduras interiores de la pila (el calentamiento se hace con coque o hulla); b) la pila propiamente dicha, dispuesta en corona alrededor del colector, misma que cuenta con 6,000 parejas de barras (barras termoeléctricas de una aleación de bismuto y antimonio unidas entre sí por armaduras de fierro con soldadura autógena) que, a una temperatura de 360 °C para la soldadura caliente y 80 °C para la fría, desarrollan una fuerza electromotriz de 109 V con una resistencia interior de 15.5 Ω , y c) el difusor, cuya función es mantener las soldaduras exteriores a una temperatura de menos de 80 °C. La pila consume de 9 a 10 kg de coque por hora (véase 1874) (*[56]*, pp. 64-67).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y Edwin James Houston (1847-1914) construyen el primer dinamo trifásico de corriente alterna (*[25]*, p. 142).

Stephen Dudley Field (1846-1913; Estados Unidos) realiza la primera aplicación de un dinamo a la telegrafía (*[40]*, p. 564).

Walter Baily produce un campo magnético giratorio sin la ayuda de movimiento mecánico. Construye un electroimán de cuatro polos colocados verticalmente en un yugo común, alimentados con corrientes pulsantes producidas por un conmutador que las invierte periódicamente. Sin ningún movimiento del imán, consigue producir un campo magnético en la punta de los polos que gira en un plano horizontal, y que es capaz de hacer girar con él a un disco de cobre (*[16]*, p. 80; *[18]*, pp. 187-188).

William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) y John Perry inventan el primer amperímetro portátil, basado en una aguja magnética ligera, pivotada entre los polos de un poderoso imán de herradura dentro de una bobina. Pronto producen otros instrumentos, como el amperímetro de resorte, en el que un núcleo de hierro dulce colocado en el centro de una bobina de eje vertical comprime una larga espiral de metal plano, produciendo un movimiento giratorio del apuntador sobre una escala circular horizontal (*[18]*, pp. 305-306).

George John Murdock (1858-1942; Estados Unidos) descubre que los filamentos de carbón de las lámparas eléctricas tienen una vida más larga si se aíslan del aire atmosférico (*[40]*, p. 1228).

(continúa 1879)

En el verano, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) y Francis Upton han logrado ya suficientes progresos en un generador eléctrico, el cual, mediante acción inversa, puede utilizarse como motor ([3], vol. 18, pp. 202-204).

El dinamo es para suministrar energía a la desafortunada expedición ártica *Jeannette*. La máquina está diseñada para operar una lámpara de arco con 15 lámparas incandescentes en serie. Tiene un imán bipolar simple con una armadura de barril de alambre de hierro suave.

Pocos meses después, en su laboratorio de New Jersey, producen una máquina con imanes de campo de 1.37 m de alto, núcleos de hierro forjado de 15 cm de diámetro, y un peso total de 500 kg. Todas las superficies entre los extremos de los núcleos, el yugo y los polos están cuidadosamente limados para producir el contacto más cercano posible ([18], pp. 119 y 120). A este generador lo llaman «Long Waisted Mary Ann». Su eficiencia está por arriba del 90%. Es una máquina de corriente directa que produce aproximadamente 110 V constantes.

Durante estos días, Edison se ve acosado por los fracasos en los resultados de los experimentos de la lámpara incandescente (véase 1878), por lo que propone un sistema de distribución eléctrica de potencia, basado en su generador.

Unos meses después, hacia octubre, empieza a obtener resultados alentadores en sus trabajos de la luz eléctrica. Diseña una compleja bombilla al vacío, controlada por un regulador y que tiene un filamento de platino; pero el costo del platino hace que el dispositivo resulte impráctico. Descubre el efecto de gases ocluidos sobre los filamentos por lo que abandona totalmente la idea de emplear filamentos de metal. Contrata a Boehm, un soplador de vidrio alemán que había trabajado con Geissler en Bonn, Alemania, y construye una batería de bombas de Sprengel (véase Sprengel, 1865) para producir vacío en las lámparas. Después de estudiar filamentos de diferentes fibras naturales (cerdas de caballo, bambú, arreglos de fibras de pasto, fibras de árboles, etc.) Edison y su equipo descubren que el carbón se consume más lentamente, sin necesidad de utilizar elaborados aparatos de regulación. Desarrollan filamentos de hilo de algodón carbonizado, que producen una luz aceptable y, además, presentan una alta resistencia, requerida para la subdivisión (véase 1878).

Conforme avanzan los días, se van alcanzando progresos continuos. En noviembre, Edison recibe la patente británica de este sistema. El 3 de diciembre se realiza la primera demostración ante los patrocinadores de la *Edison Electric Light Company*. Esta bombilla dura unas 45 horas en consumirse, lo cual resulta suficiente para probar que la iluminación eléctrica es comercialmente factible. El foco produce 1.4 lúmenes por watt. El diario *New York Herald* proclama el éxito de la lámpara incandescente y las acciones de la *Edison Electric Light Company* suben a 3,500 dólares por cada una. El último día del año, Edison alquila un tren especial para que la gente vaya al laboratorio de Menlo Park y vea el sistema de iluminación, tanto dentro de las habitaciones como en los alrededores ([3], vol. 17, p. 1050; [18], p. 133; [23], pp. 142-143; [52], p. 58; [62], p. 127).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) recibe la patente que cubre la manera de evacuar una lámpara incandescente mientras está caliente, para remover los gases que puedan estar dentro. Este procedimiento da una vida más larga a las lámparas y disminuye el ennegrecimiento interno ([25], p. 143).

Charles Joseph Van Depocle (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) trabaja en la regulación de las vibraciones para las luces de arco eléctrico y demuestra públicamente la iluminación mejorada (véanse E. Thomson y Houston, 1878) ([40], p. 1708).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y Edwin James Houston (1847-1914) muestran su sistema de iluminación por arco eléctrico T-H

(continúa 1879)

(que emplea corriente alterna trifásica), en *Fuller's Bakery*, en la ciudad de Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos ([62], p. 128).

Friedrich Franz von **Hefner-Alteneck** (1845-1904; Alemania) construye una lámpara de arco eléctrico diferencial ([40], p. 1736).

George M. **Saybolt** desarrolla su luz eléctrica y probador de fuego, que es adoptado como de uso estándar en la *Bolsa de Productos* de Nueva York, Estados Unidos, que entonces es centro almacén para las ventas de aceites de petróleo ([53]).

John **Rapieff** recibe una patente británica (no. 211) para un sistema de lámparas de arco eléctrico de mercurio. Sin embargo, no hay evidencia de que llegue a construirlo ([52], p. 52).

Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) instala su sistema de iluminación por arco eléctrico en el *Monumental Park*, de la ciudad de Cleveland, Ohio, y en las cataratas del Niágara, Estados Unidos. Este sistema, basado en su sistema de 1878, es superior al de **Yablojkov**, debido a su mayor tiempo de vida ([25], p. 142; [53]; [62], p. 128).

Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) patenta su sistema de distribución secundario para la iluminación por arco eléctrico ([62], p. 128).

Galileo **Ferraris** (1847-1897; Italia) publica *Sulla illuminazione elettrica* (Sobre la iluminación eléctrica) ([40], p. 559).

John **Hopkinson** (1849-1898; Inglaterra) publica *On Electric Lighting* (Sobre la iluminación eléctrica) ([40], p. 826).

Se realiza la primera extrusión directa de un cable eléctrico en una prensa **Borel**, empleando palanquillas (*billets*) sólidas huecas precalentadas a 120 °C. En esta época no se considera buena práctica la recarga con plomo fundido ya que es posible un daño térmico al aislante, por lo que el proceso se limita a una carga con palanquillas ([52], p. 49).

Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) patenta su sistema de cableado eléctrico compuesto ([62], p. 128).

William Edward **Ayrton** (1847-1908; Inglaterra) demuestra por primera vez que la potencia eléctrica puede ser distribuida con mayor seguridad y economía mediante el empleo de pequeñas cantidades de corriente de alta tensión ([40], p. 80).

Se funda la empresa *California Electric Light Supply Company*, en San Francisco, California, Estados Unidos. Dicha compañía se precia de ser la primera en el mundo en producir y vender servicios de electricidad al público. Desde su estación central, provee de potencia para las luces de arco eléctrico ([25], p. 142). Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) es uno de sus principales promotores ([62], p. 128).

(continúa 1879)

Louis-Victor Mandroux (1843-1913; Francia) emplea el telégrafo de Hughes en un sistema submarino ([40], p. 1103).

La *Southern Bell Telephone and Telegraph Company* se incorpora bajo las leyes de Nueva York, Estados Unidos. Sus operaciones empezarían el año siguiente (en 1880) ([25], p. 143).

La *Society of Telegraph Engineers* (véase 1872) empieza a interesarse en la iluminación eléctrica ([51], p. 39).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) inventa el teléfono estático, primer dispositivo en usar los micrófonos condensadores¹²⁵⁾ ([25], p. 143; [40], pp. 469-470).

Samuel Ward Francis (1835-1886; Estados Unidos) diseña una señal para las líneas telefónicas y telegráficas ([40], p. 597).

C. M. Perssimo sugiere un sistema de visualización eléctrica, en el que utiliza un barrido secuencial con una sola línea de transmisión. El registrador es un tambor que tiene un papel tratado químicamente para hacerlo electrosensitivo ([25], p. 143).

Denis Redmond describe y lleva a la práctica lo que se considera como el primer sistema real de televisión. Se le llama telescopio eléctrico. Utiliza un mosaico con circuitos individuales entre los extremos transmisor y receptor. Las áreas claras de la imagen se reproducen mediante elementos de lámparas incandescentes. El sistema puede reproducir patrones muy simples ([25], pp. 143-144).

George Du Maurier publica una caricatura¹²⁶⁾ en la cual se observa a una pareja mirando un evento deportivo en una pantalla situada arriba del hogar de su chimenea. Se considera que esta caricatura es la primera descripción gráfica de una televisión ([25], p. 144).

Ernst Werner Siemens (1816-1892; Alemania) y Johann Georg Halske (1814-1890; Alemania) construyen el primer tren eléctrico del mundo. En la *Exhibición de Comercio* de Berlín, Alemania, instalan una línea de demostración de algunos cientos de m de longitud. La corriente (a 130 V) es recogida desde un riel central, sujeto a un durmiente longitudinal, y regresa por la vía de los rieles de corrida. Una locomotora eléctrica en miniatura, impulsada por un motor de 3 hp, jala un tren de cinco pequeños carros. El aislamiento del sistema es insuficiente para climas húmedos, por lo que el tren transporta pasajeros sólo en días secos. A pesar de ello, durante el corto periodo de la exhibición, el tren transporta más de 100,000 pasajeros y alcanza una velocidad de unos 13 km/h ([1]; [18], p. 181; [25], p. 142).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) muda su residencia a la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos, cambia el nombre de su compañía *Van Depoele Electric Light Company* (fundada en 1879) a *Van*

¹²⁵⁾ Los cuales serían muy usados después, en las transmisiones de radio.

¹²⁶⁾ En la revista *Punch*.

(continúa 1879)

Depoele Electric Light Company of Chicago para especializarse en los tranvías (162], p. 129).

Un granjero francés utiliza energía eléctrica para arar (118], p. 180).

Charles William (Carl Wilhelm) Siemens (1823-1883, Alemania-Inglaterra) inventa un horno eléctrico (140], p. 1546).

En sus primeras investigaciones, Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) estudia las propiedades eléctricas de las contracciones musculares. Se le ocurre que el reciente invento de Bell, el teléfono, es un medio perfecto para detectar las corrientes en los tejidos musculares, ya que los teléfonos operan con corrientes extremadamente débiles, al igual que la electricidad animal. D'Arsonval utiliza un músculo de una rana para unir el micrófono del teléfono con una bobina de inducción, para así completar el circuito de un teléfono funcional.

D'Arsonval publica "Les nouvelles applications et les perfectionnements du téléphone" ("Las nuevas aplicaciones y perfeccionamiento del teléfono")⁽¹²⁷⁾ (134], vol. I, p. 303).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) publica *Life and Work of Joseph Henry* (Vida y obra de Joseph Henry) (140], p. 1362).

ca. 1880

Georges Leclanché (1839-1882; Francia) inventa un contacto eléctrico de mercurio y una celda galvánica (que lleva su nombre) (140], p. 1014).

1880

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die elektrischen Elementargesetze" ("Sobre las leyes eléctricas elementales") y "Ueber die sogenannte unipolare Induction" ("Sobre la llamada inducción unipolar")⁽¹²⁸⁾ (134], vol. XI, p. 447).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) y Jacques-Paul Curie (1855-1941; Francia) descubren que la presión mecánica o tensión sobre los cristales no conductores que no tienen un centro de simetría, genera una carga eléctrica en algunas superficies del cristal. Publican "Developement, par pression, de l'électricité polaire dans les cristaux hémiedres à faces inclinées" ("Desarrollo, por presión, de la electricidad polar dentro de los cristales semiédricos en las caras inclinadas")⁽¹²⁹⁾. Entre estos cristales citan el sulfuro de cinc, el clorato sódico, la boracila, la turmalina, el cuarzo, el topacio, el azúcar y la sal de Rochelle (124], p. 1301; 125], p. 147; 134], vol. III, pp. 503 y 504).

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) nombra al fenómeno descubierto por los hermanos Curie (véase arriba), piezoelectricidad (del griego, que significa presión) (125], p. 147).

Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; Luxemburgo), tan pronto como se publica la investigación de los hermanos Curie (véase arriba), establece que, basándose en las leyes de la termodinámica, debe existir el fenómeno inverso al

⁽¹²⁷⁾ *Revue scientifique*, I.

⁽¹²⁸⁾ *Annalen der Physik*, 11, pp. 278-315 y 413-432, respectivamente.

⁽¹²⁹⁾ *Compte rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 91 (julio-diciembre), pp. 294-295.

(continúa 1880)

piezoeléctrico; es decir, la generación de una tensión bajo la acción de un campo eléctrico ([34], vol. III, p. 504).

Éleuthère Élie Nicolas **Mascart** (1837-1908; Francia) estudia la teoría de las corrientes inducidas ([34], vol. IX, p. 155).

Augusto **Righi** (1850-1920; Italia) descubre el fenómeno de la histéresis magnética¹³⁰⁾ ([34], vol. XI, p. 460).

El estado de la teoría óptica puede resumirse como sigue: sus fundamentos están basados en la teoría elástico-sólida del éter luminífero, teoría que fue desarrollada por **Fresnel**, **Cauchy**, **F. E. Neumann**, **Stokes** y otros. Una de las mayores dificultades de dicha teoría es la de que en los sólidos elásticos existen ondas longitudinales y transversales, mientras que en los fenómenos ópticos sólo se presentan estas últimas. Otro problema es la incapacidad de los sólidos elásticos para explicar la fracción de **Fresnel** de la luz reflejada en la interfase de dos medios ópticos. Para poder resolver éstas y otras dificultades, se empezaron a acumular varias hipótesis, como la de que se pueden descartar las ondas longitudinales si se supone que su velocidad es infinita, o la de que el éter tiene diferentes densidades dentro y fuera de la materia, con lo cual se explican algunas propiedades del paso de la luz a través de los medios ópticos. En conclusión, en estos momentos la teoría óptica resulta insatisfactoria.

Respecto a la teoría electrodinámica se tiene la misma situación. La teoría de **Weber**, surgida a mediados de la década de los años de 1840, se basa en la hipótesis de que la corriente eléctrica está constituida por dos fluidos de partículas eléctricas de signo opuesto y moviéndose en direcciones contrarias. Se basa también en la suposición de una fuerza central, instantánea y de acción a distancia, entre pares de partículas eléctricas. Esta fuerza es análoga a la atracción gravitacional, excepto que depende del movimiento relativo, así como de la separación de las partículas y es atractiva o repulsiva, dependiendo del signo de la carga. Esta fuerza tiene una relación poco clara con el principio de conservación de la energía, por lo que se le ha atacado mucho. Por otro lado, la teoría de corrientes eléctricas inducidas de **Neumann** se basa en la hipótesis de una fuerza dependiente de la posición y del movimiento entre dos elementos de corriente eléctrica.

Ambas teorías explican el magnetismo a la manera de **Ampère**: corrientes eléctricas circulares elementales.

Existen otras teorías, las cuales surgieron a raíz de la de **Weber**. Por ejemplo, la de **Riemann** en 1858, y la de **C. G. Neumann** en 1868; su diferencia radica en la postulación de una velocidad finita de propagación de la acción eléctrica y, para tal efecto, introducen potenciales retardados. Debido a la cercanía en los valores de la velocidad de la luz y el cociente de las unidades electromagnética y electrostática, **Riemann** identifica la luz con una propagación de la acción eléctrica. Por el contrario, **C. G. Neumann** argumenta que ambos fenómenos son diferentes.

En 1867, **L. V. Lorentz** mostró que, a partir de las ecuaciones de **Kirchhoff** y empleando potenciales retardados, las corrientes eléctricas periódicas se comportan como las vibraciones de la luz y concluye que la luz en sí, consiste de corrientes eléctricas. **Edlund**, en 1878, derivó la ley fundamental de **Weber**, asumiendo un único fluido eléctrico constituido por partículas (probablemente el propio éter luminífero) y que la acción eléctrica se propaga a velocidad finita.

¹³⁰⁾ Dicho descubrimiento lo hace pocos meses antes que **Warburg** (1881), a quien normalmente se le da el crédito por tal descubrimiento.

(continúa 1880)

Mientras **Lorentz** descartó la acción a distancia, **Edlund** no lo hizo así; **Edlund** asumió un éter eléctrico, no así **Lorentz**.

Por otro lado, en este año, **Clausius** introduce otra variante de la teoría de **Weber**, asumiendo un único fluido eléctrico móvil y una fuerza entre dos partículas eléctricas, no central y dependiente del movimiento absoluto de las partículas (véase arriba).

En resumen, las divergencias de las teorías son muchas y se centran en varios puntos: número de fluidos eléctricos (uno o dos); existencia o no de un éter eléctrico; identidad o diferencia de la acción eléctrica con la luz; naturaleza de la fuerza entre partículas del fluido eléctrico (central o no central, dependiente del movimiento relativo o del absoluto, etc.); relación de las fuerzas con los principios dinámicos (en particular, el de la conservación de la energía).

Durante los últimos 15 años, **Maxwell** ha establecido su teoría, basada en el concepto de un medio electromagnético, rechaza la acción a distancia y los fluidos eléctricos particulares asociados. En este medio se dan las vibraciones transversales que se propagan con velocidad de la luz. Su teoría toma en cuenta los fenómenos ópticos, pero es incapaz de explicar la refracción y reflexión de la luz. **Maxwell** no define la naturaleza de la carga eléctrica, algunas veces habla de un proceso de polarización eléctrica, y otras de polarización como resultado del movimiento de la electricidad. Tampoco establece el concepto de campo magnético.

En 1870, **Helmholtz** inició un intento para esclarecer esta situación. Generalizó el potencial electrodinámico de **F. E. Neumann** entre dos elementos de corriente para integrar las teorías de **Weber** y **Maxwell**; cada una de las tres teorías estaba caracterizada por un parámetro numérico que entra en la fórmula de su teoría general. **Helmholtz** aplicó esta ley general de inducción al caso en el que está presente un medio polarizable eléctrica y magnéticamente. Basándose en la acción a distancia, supuso que la interacción eléctrica depende en parte de fuerzas de distancia directa y en parte de la polarización del medio, la cual, a su vez, depende de fuerzas a distancia y genera fuerzas a distancia. Mostró que el desplazamiento en un dieléctrico obedece la misma ecuación de onda que el desplazamiento de partículas ponderables en un sólido elástico. Concluyó que, sin cambios básicos en los fundamentos de la electrodinámica de acción a distancia, es posible la propagación de ondas transversales de polarización en un medio dieléctrico. Su teoría general también conduce a ondas longitudinales, las cuales, en el caso particular de la teoría de **Maxwell**, se propagan a velocidad infinita. **Helmholtz** argumenta que la teoría electromagnética de la luz de **Maxwell** es superior a las teorías de sólidos elásticos ([34], vol. VIII, pp. 490-492).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) recibe su doctorado con distinción *summa cum laude* (véase 1879) ([34], vol. VI, p. 341).

Surge un contraejemplo a la ecuación electrodinámica de **Rudolf Julius Emanuel Clausius** (1822-1888; Prusia) de 1877, mismo que establece que debería existir una fuerza sobre una carga en reposo sobre la Tierra, dado que ésta se mueve en el espacio. **Clausius** responde que la velocidad absoluta de su ecuación es relativa al medio circundante y no al espacio en general; así que si el medio se mueve con la Tierra, entonces ésta es el marco de referencia para el movimiento absoluto. Este argumento aparece en "Ueber die Vergleichung der elektrodynamischen Grundgesetze mit der Erfahrung" ("Sobre la comparación de los estatutos electrodinámicos con su práctica")¹³¹⁾.

Por conducto de **Wiedemann**, **Clausius** conoce la respuesta que **Bulde** da a estas objeciones (véase abajo) y en un pie de página escribe que esta respuesta

¹³¹⁾ *Annalen der Physik*, 170.

(continúa 1880)

sería suficiente; sin embargo, prefiere dar sus propios razonamientos ([34], vol. III, pp. 309-310).

Emil Arnold Budde (1842-1921; Alemania) responde a las objeciones hechas en contra de la ecuación de Clausius, argumentando que el movimiento de la Tierra en el éter causaría que las electricidades se separaran, lo cual, a su vez, provocaría el surgimiento de fuerzas electrostáticas iguales y opuestas a las fuerzas electrodinámicas inducidas, eliminando así la supuesta fuerza debida al movimiento de la Tierra. Publica dichos argumentos en "Das Clausius'sche Gesetz und die Bewegung der Erde in Raume" ("Los estatutos de Clausius y el movimiento de la Tierra en el espacio")⁽¹³²⁾ (véase arriba) ([34], vol. III, p. 310).

En febrero, David Edward Hughes (1831-1900; Inglaterra) demuestra sus transmisiones aéreas (como él las llama) (véase 1879) a la *Royal Society of London*, ante un grupo de destacados científicos, entre los que se encuentran Spottiswode, Huxley y Stokes. Las señales detectadas tienen un rango de hasta unos 500 m. Sin embargo, los científicos atribuyen este fenómeno a efectos inductivos. Stokes declara que no hay nada que no se pueda explicar mediante la inducción electromagnética. La actitud de los científicos desilusiona a Hughes a tal grado que decide no publicar sus resultados ([10], pp. 13-14; [18], pp. 268-269; [25], p. 146).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) recibe de la Universidad de Munich, Alemania, la *venia legendi* por su artículo *Gleichgewichtszustände isotroper Körper in verschiedenen Temperaturen*. En este trabajo extiende la teoría mecánica del calor, utilizando el concepto de entropía para tratar las fuerzas elásticas que actúan sobre los cuerpos a diferentes temperaturas ([34], vol. XI, p. 8).

George Frederick Barker (1835-1910; Estados Unidos) publica *Conversion of Mechanical Energy into Heat by Dynamo-Electric Machines* (Conversión de energía mecánica en calor mediante maquinaria dinamoeléctrica) ([40], p. 111).

George Francis FitzGerald (1851-1901; Irlanda) es uno de los primeros científicos en tomar en serio la teoría electromagnética de Maxwell. Uno de los primeros trabajos en el que utiliza dicha teoría es "On the Electromagnetic Theory of the Reflection and Refraction of Light" ("Sobre la teoría electromagnética de la reflexión y refracción de la luz")⁽¹³³⁾ ([34], vol. V, p. 15). En este artículo realiza, por primera vez, un tratamiento teórico del efecto Kerr (1875) ([34], vol. VII, p. 313). Además, traduce el análisis de la reflexión óptica de MacCullagh al lenguaje de la teoría electromagnética ([34], vol. VIII, p. 40).

Hans Peter Jörgen Julius Thomsen (1826-1909; Dinamarca) señala⁽¹³⁴⁾ que en sus experimentos químicos realizados con celdas galvánicas ha encontrado que se puede usar la fuerza electromotriz para calcular el trabajo mecánico necesario para separar un compuesto en sus partículas elementales. En muchos casos, al medir la fuerza electromotriz, Thomsen obtiene el mismo valor para la afinidad que en experimentos calorimétricos anteriores, pero en otros casos encuentra cierta diferencia⁽¹³⁵⁾.

⁽¹³²⁾ *Annalen der Physik*, 170.

⁽¹³³⁾ Trabajo revisado por Maxwell y aparecido en *Philosophical Transactions*, 171.

⁽¹³⁴⁾ *Annalen der Physik* de Wiedemann, 11, pp. 246-269.

⁽¹³⁵⁾ Ahora se sabe que las mediciones electroquímicas son teóricamente correctas, pero no las calorimétricas.

(continúa 1880)

Por otro lado, **Thomsen** discute la constitución del benceno y propone la teoría de que los átomos de un elemento están constituidos por partículas elementales más pequeñas (véase 1895) (*J34*, vol. XIII, p. 339).

Shelford Bidwell (1848-1909; Inglaterra) investiga las propiedades fotoeléctricas del selenio (*J40*, p. 173).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y **F. K. Hans Geitel** (1855-1923; Alemania) empiezan una serie de investigaciones que son la base del desarrollo de los tubos al vacío. Observan e identifican la emisión de partículas electrificadas de un alambre que presenta un cierto brillo (*J25*, p. 145).

Eugen Goldstein (1850-1930; Silesia), al igual que otros científicos, demuestra que los rayos catódicos pueden ser desviados por campos magnéticos¹³⁶⁾, lo cual apoya la idea, principalmente británica, de que dichos rayos están constituidos por partículas negativas (*J34*, vol. V, p. 458).

William Crookes (1832-1919; Inglaterra) publica su artículo "Radiant Matter or the Fourth Physical State" ("Materia radiante o el cuarto estado físico") (*J34*, vol. VIII, p. 180).

Se introduce en el mercado el acumulador con armazón de rendijas (*J3*, vol. 18, pp. 202-204).

James Wimshurst (1832-1903; Inglaterra) publica *The Particulars of Several Forms of Electrical Machines* (Las particularidades de diversas formas de máquinas eléctricas) (*J40*, p. 1809).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) inventa un generador electromagnético, al que nombra *Giant* (*J40*, p. 1708).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y **Edwin James Houston** (1847-1914) reciben la patente por su dinamo de corriente alterna de 1878 (*J62*, p. 128).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930), siguiendo una sugerencia de **W. Thompson**, diseña, para un dinamo, un inducido de un sólo hilo de cobre enrollado (*J55*, p. 904).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) perfecciona el electrómetro de cuadrante de **W. Thomson** (*J40*, p. 1122).

La compañía *Siemens und Halske*, de Alemania, comercializa el electrodinamómetro de torsión de **Weber**.

El desarrollo de la industria de energía eléctrica provoca una demanda creciente de medidores de energía, para determinar la cantidad de energía eléctrica suministrada a los consumidores. Se desarrollan sistemas electrolíticos y electromagnéticos de medición. En los primeros, utilizados por **Edison**, la

¹³⁶⁾ *Annalen der Physik* de **Wiedemann**, (1880), p. 850

(continúa 1880)

corriente pasa a través de una solución de sulfato de cinc entre placas de cinc ([18], p. 310).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) patenta un cortacircuito automático para las lámparas de arco eléctrico ([62], p. 128).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) empieza a fabricar, en Newcastle, Inglaterra, la lámpara de filamento que había inventado un par de años antes (en 1878) ([18], p. 113). En una conferencia que dicta en la *Newcastle Literary Philosophical Society*, en Londres, ordena que se apaguen los 70 surtidores de gas que iluminan la sala y, hecha la oscuridad, enciende 20 de sus propias lámparas, produciendo un efecto muy brillante (véase 1878) ([18], p. 131). Patenta su procedimiento para retirar los últimos vestigios de aire de los filamentos de una lámpara, poniéndolos al rojo antes de que la bombilla sea sellada definitivamente, dándoles así una vida más larga y reduciendo el ennegrecimiento interior de la ampolla de cristal ([55], p. 931).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) cambia el nombre de su empresa *Cleveland Telegraph & Supply Company* (fundada en 1876) por el de *Brush Electric Company* ([40], p. 262). Brush ha vendido ya más de 5,000 de sus dinamos y sistemas de iluminación por arco eléctrico ([62], p. 128).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y Edwin James Houston (1847-1914) fundan la *American Electric Works*, en New Britain, Connecticut, Estados Unidos, para manufacturar los dinamos y sistemas de iluminación por arco eléctrico ([62], p. 128).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) funda la *Swan Electric Lighting Company* ([25], p. 147).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) funda la *Edison Lamp Works*, siendo la primera planta en el mundo de manufactura de lámparas incandescentes eléctricas ([25], p. 148).

Ayuda además a fundar la empresa *Sigmund Bergmann & Company* ([62], p. 120).

En abril, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) instala el primer sistema operativo en el mundo de alumbrado eléctrico, en el bote de vapor *Columbia* (utiliza 115 lámparas incandescente), que estaría en operación por 15 años ([18], p. 144).

Las calles de Nueva York, Estados Unidos, se iluminan por primera vez con electricidad ([1]).

Se instala el sistema comercial más grande de lámparas incandescentes, en el *Teatro Savoy* de Londres, Inglaterra. Se utilizan unas 200 lámparas ([25], p. 146).

Durante el verano, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) llega a la conclusión de que las fibras de bambú carbonizado son un buen material para el filamento de las lámparas incandescentes (la vida media de las bombillas se incrementa a 600 horas). Recibe la patente estadounidense (no. 223,898) por su

(continúa 1886)

lámpara. Considera que si las lámparas de alumbrado se conectan a través del conductor principal desde el punto de generación de la energía, en el extremo lejano del sistema habrá una caída excesiva de potencial y las lámparas más alejadas no tendrán suficiente voltaje. Así, divide el sistema en secciones, abasteciendo cada una de ellas con un alimentador conectado directamente al punto de generación ([18], p. 144; [62], p. 127).

Existen sólo diez faros eléctricos en el mundo; cinco en Inglaterra, tres en Francia, uno en Odesa y uno en Port Said, Egipto, en el extremo mediterráneo del Canal de Suez ([18], p. 107).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos) amplía la idea de Gott sobre el retorno por tierra y comienza a trabajar sobre la transmisión inalámbrica, basándose en un estudio sistemático de los efectos de inducción entre los alambres. Logra inducir señales en alambres paralelos a una distancia de 2 km ([16], p. 61).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) experimenta con la transmisión de potencia eléctrica por líneas de 220 V para iluminar sus lámparas; llega a una longitud de alrededor de 1.6 km ([3], vol. 17, p. 1050; [25], pp. 146 y 147). Edison solicita varias patentes para sus sistemas de distribución de energía eléctrica a gran escala (que se le concederían en 1887) ([62], p. 127).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) funda la *Edison Electric Illuminating Company*, en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, para abastecer al público con energía eléctrica ([25], p. 148).

Augusto Righi (1850-1920; Italia) patenta un micrófono que utiliza polvo conductor y una bocina; sin embargo, su invento provoca poco interés ([34], vol. XI, p. 460).

La *Society of Telegraph Engineers* cambia de nombre a *Society of Telegraph Engineers and Electricians* (véase 1879) ([51], p. 39).

Alfred Rosling Bennet (1850-1928; Inglaterra) inventa un traductor telefónico ([40], p. 152).

En Estados Unidos entra en operación la *Southern Bell Telephone System*, con 1,246 teléfonos en once ciudades ([25], p. 147).

Alexander Graham Bell (1847-1922; Escocia-Estados Unidos) recibe del gobierno de Francia el premio *Volta* de 50,000 francos, por su invención del teléfono ([25], p. 147).

Se crean los tipos estándares de teléfonos. El tipo #1 es de pared y el #2 es un modelo de mesa o escritorio⁽¹³⁷⁾ ([25], p. 147).

¹³⁷⁾ Estos estándares se utilizarían por muchos años.

(continúa 1880)

Charles Leonard Armand Maurice **Leblanc** (1857-1923; Francia) sugiere el uso de espejos giratorios colocados sobre ejes perpendiculares entre sí para producir un barrido en el rastreo de imágenes ([25], p. 147).

En abril, William Edward **Ayrton** (1847-1908; Inglaterra) y John **Perry** describen⁽¹³⁸⁾ un plan para «ven» utilizando la electricidad ([25], p. 147).

En junio, William E. **Sawyer** informa⁽¹³⁹⁾ haber descrito un sistema de transmisión visual a través de una sola línea, en 1877. Propone un rastreo espiral y un receptor de entrehierro ([25], p. 147).

En junio, George R. **Carey** describe⁽¹⁴⁰⁾ una cámara de televisión de selenio, siendo el primero en publicar los detalles de su construcción (véase 1875) ([25], p. 147).

Henry **Middleton** diseña un sistema de televisión con base en un mosaico, utilizando elementos termoelectrónicos ([25], p. 147).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) instala en Menlo Park, Nueva Jersey, Estados Unidos, una vía de ferrocarril electrificada experimental, de alrededor de 1 km de longitud, a la que suministra corriente desde dos de sus dinamos tipo Z de 12 hp cada uno. Un tercer dinamo del mismo tipo se fija a un camión simple y se utiliza como motor. La corriente es transportada por los rieles. Emplea con éxito una serie de bobinas de campo para controlar el motor, reduciendo así la carga de resistencia de los furgones jalados. El tren alcanza velocidades superiores a los 64 km/h. Sin embargo, nunca trataría de comercializarlo ([18], pp. 181-182; [25], p. 148).

Elmer Ambrose **Sperry** (1860-1930; Estados Unidos) funda la *Sperry Electric Company* para manufacturar lámparas de arco, dinamos y otros dispositivos eléctricos ([40], pp. 1585-86).

1880-81

Max Karl Ernst Ludwig **Planck** (1858-1947; Alemania) se apega estrechamente al método fenomenológico de **Clausius**. Incluso llega a argumentar que los problemas se pueden resolver «sin la ayuda de suposiciones especiales sobre la constitución molecular de los cuerpos», entonces una base de su proyecto para determinar el efecto de la temperatura en la teoría de la elasticidad. Esta actitud le traería un conflicto interno prolongado sobre la hipótesis corpuscular y la interpretación estadística de la naturaleza, la cual todavía no se ha establecido realmente mediante los experimentos ([34], vol. XI, p. 10).

Edward Leamington **Nichols** (1854-1937; Inglaterra-Estados Unidos) trabaja con **Edison**, en su laboratorio de Menlo Park, Nueva Jersey, Estados Unidos ([40], p. 1254).

1880-83

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) publica sobre las cargas residuales en los dieléctricos y sobre los rayos catódicos ([34], vol. VI, p. 341).

¹³⁸⁾ *Nature*.

¹³⁹⁾ *Scientific American*.

¹⁴⁰⁾ *Scientific American*.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- 1880-85 Augusto Righi (1850-1920; Italia) centra sus investigaciones en el estudio del *efecto Hall* (1879) y del *efecto Kerr* (1875). Righi descubre que el primero de ellos es mucho más intenso en el bismuto que en el oro y que un campo magnético en el bismuto causa variación de las resistencias térmica y eléctrica ([34], vol. XI, p. 460).
- Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos-Inglaterra) patenta diversas invenciones sobre tracción eléctrica ([40], p. 1541).
- 1880-97 Georg Hermann Quincke (1834-1924; Alemania) publica 15 fascículos de sus "*Elektrische Untersuchungen*" ("Investigaciones eléctricas"), en los que estudia el comportamiento de los materiales en campos electrostáticos y magnéticos. Desarrolla un método, llamado de desplazamiento de meniscos, para determinar las susceptibilidades diamagnéticas y paramagnéticas de los líquidos y gases ([34], vol. XI, p. 241).
- 1880-99 Se crea la teoría matemática de los circuitos de corriente alterna, sin ningún responsable individual claramente distinguible ([51], p. 63).
- 1880-1915 El tema principal de investigación de Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) se relaciona con el resurgimiento y establecimiento de las teorías granulares de la electricidad y la estructura cristalina. La naturaleza particulada de la electricidad fue propuesta por Weber y fue severamente criticada y atacada durante las décadas de los años 1860 y 1870. Fue principalmente por los esfuerzos de Helmholtz que la teoría granular de la electricidad sería revivida en los años 1880. Helmholtz pondría hincapié en el hecho de que si se acepta la hipótesis de que la materia es atomística, entonces se debería aceptar también una concepción atomística de la electricidad. Riecke busca la confirmación de esta visión granular con la ayuda de: 1) tubos de Geissler; 2) estudios de la electricidad atmosférica y el movimiento de partículas electrificadas en campos electromagnéticos; 3) estudios matemáticos y experimentales sobre el comportamiento de los cristales; y 4) investigaciones del estado metálico y conducción de la electricidad en metales. Sus investigaciones en estas áreas las realizaría, no en forma continua, sino de vez en cuando por el resto de su vida ([34], vol. XI, p. 446).
- 1881 William Spottiswode (1825-1883; Inglaterra) publica *A lecture on the Electrical Discharge. Its Form and Functions* (*Leción sobre la descarga eléctrica. Su forma y funciones*) ([40], p. 1546).
- Pierre Curie (1859-1906; Francia) y Jacques-Paul Curie (1855-1941; Francia), habiendo establecido las leyes del fenómeno piezoeléctrico (véase 1880), construyen una balanza de cuarzo que utiliza este efecto, que proporciona cantidades de electricidad proporcionales al peso suspendido ([34], vol. III, p. 504).
- Franz Ernst Neumann (1798-1895; Alemania) publica *Vorlesungen über Theorie des Magnetismus* (*Curso sobre la teoría del magnetismo*) ([40], p. 1248).
- Emil Gabriel Warburg (1846-1931; Alemania) realiza el descubrimiento experimental y da la interpretación teórica de la histéresis en la magnetización

(continúa 1881)

cíclica de los materiales ferromagnéticos (véase **Righi**, 1880 y **Ewing**, abajo) ([34], vol. XIV, p. 171).

James Alfred Ewing (1855-1935; Escocia) investiga los efectos de la tensión sobre las propiedades termoeléctricas de los metales y descubre que el efecto termoeléctrico tiene un retraso respecto a la tensión aplicada; esta relación presenta una forma cíclica. Sugiere que otros pares de variables se pueden relacionar de la misma forma. Introduce el término «histéresis» magnética (del griego *υστερω*, posterior o retrasado) para describir este fenómeno (véase **Righi**, 1880 y **Warburg**, arriba). Describe sus resultados en "Effects of Stress on the Thermoelectric Quality of Metals" ("Efectos de la tensión sobre la calidad termoeléctrica de los metales")¹⁴¹⁾.

Ewing estudia las corrientes transitorias producidas por la torsión de un alambre magnetizado y también encuentra el efecto de la histéresis. Estos resultados aparecen en "On the Production of Transient Electric Currents in Iron and Steel Conductors by Twisting Them When Magnetised or By Magnetising Them When Twisted" ("Sobre la producción de corrientes eléctricas transitorias en conductores de hierro y acero mediante su torsión cuando están magnetizados o mediante su magnetización cuando están en torsión")¹⁴²⁾ ([34], vol. IV, p. 300).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Messung der vom Erdmagnetismus auf einen drehbaren linearen Stromleiter ausgeübten Kraft" ("Medición del magnetismo terrestre en un conductor lineal en rotación [...]")¹⁴³⁾ ([34], vol. XI, p. 447).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die Bewegung eines elektrischen Teilchens in einem homogenen magnetischen Felde und das negative elektrische Glimmlicht" ("Sobre el movimiento de las partículas eléctricas en un campo magnético homogéneo [...]") y "Beiträge zur Lehre vom inducirten Magnetismus" ("Contribuciones del magnetismo inducido a la teoría")¹⁴⁴⁾ ([34], vol. XI, p. 447).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica *Elementary Lessons in Electricity and Magnetism* (*Leciones elementales en electricidad y magnetismo*), una de sus obras clásicas y de mayor influencia ([34], vol. XIII, p. 357).

Albert Abraham Michelson (1852-1931; Prusia-Estados Unidos) inventa el interferómetro ([11], p. 383).

John William Strutt (Lord **Rayleigh**) (1842-1919; Inglaterra) publica "On the Electromagnetic Theory of Light" ("Sobre la teoría electromagnética de la luz")¹⁴⁵⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), en "On the Electric and Magnetic Effects Produced by the Motion of Electrified Bodies" ("Sobre los efectos eléctricos y magnéticos producidos por el movimiento de los cuerpos

¹⁴¹⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 31.

¹⁴²⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 33 (1881-1882).

¹⁴³⁾ *Annalen der Physik*, 13, pp. 191-194, 194-204 y 465-507 respectivamente.

¹⁴⁴⁾ *Annalen der Physik*, 13, pp. 191-194, 194-204 y 465-507 respectivamente.

¹⁴⁵⁾ *Philosophical Magazine*, 10.

(continúa 1881)

electrificados")¹⁴⁶⁾, trata de ofrecer una guía teórica para el estudio de los rayos catódicos, los cuales cree, al igual que Crookes (véase 1880), que son «partículas de materia altamente cargadas con electricidad y moviéndose a grandes velocidades». Llega a resultados incorrectos porque atribuye el campo magnético de una esfera cargada en movimiento solamente al desplazamiento dieléctrico fuera de ella, ignorando la convección de la carga ([34], vol. XIII, pp. 364 y 365).

William Joseph Hammer (1858-1934; Estados Unidos), trabajando para Edison en la verificación de los bulbos, se da cuenta de que aparece un brillo azulado alrededor del polo positivo y un ennegrecimiento del alambre y del bulbo en el polo negativo. A dicho fenómeno se le llama la *sombra fantasma de Hammer* (véase Edison, 1883)¹⁴⁷⁾ ([3], vol. 17, p. 1050).

Hermann von Helmholtz (1821-1894; Alemania) sugiere¹⁴⁸⁾ la naturaleza atómica de la electricidad al establecer que «si aceptamos la hipótesis de que las sustancias elementales están constituidas por átomos, no podríamos evitar la conclusión de que la electricidad también está dividida en porciones elementales, las cuales se comportan como los átomos de la electricidad.» ([25], p. 149). Su fundamento experimental se basa en los artículos sobre la electroquímica de Faraday de 1834. Argumenta que si la electricidad no fuera corpuscular, las leyes de la electrólisis de Faraday carecerían de sentido ([34], vol. IV, p. 537).

Helmholtz predice el fracaso de las teorías basadas en la acción a distancia y da su completo apoyo a la teoría de Maxwell ([34], vol. VI, p. 252).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra), utiliza el método de la bobina giratoria para verificar la medida en que las bobinas depositadas en el *Laboratorio Cavendish* como estándares de resistencia corresponden con el ohm teórico. Concluye que la unidad BA (*British Association*) corresponde a 0.9893 del valor real ([18], p. 302). Lord Rayleigh y Arthur Schuster (1851-1934; Alemania) publican "On the Determination of the Ohm [B. A. Unit] in Absolute Measure" ("Sobre la determinación del Ohm [unidad BA] en medidas absolutas")¹⁴⁹⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

Se realiza el primer *Congreso Internacional de Electricistas*, en el que se adoptan varias unidades eléctricas, entre ellas: 1) a la unidad de fuerza electromotriz se le llama *volt*; 2) a la unidad de resistencia se le denomina *ohm*; y 3) a la unidad de fuerza eléctrica se le nombra *ampere*. Hasta antes del congreso existían, al menos, doce unidades distintas de fuerza electromotriz; diez unidades de corriente y quince unidades de resistencia; por ejemplo, solía emplearse el «weber» para denotar la unidad de corriente, el potencial eléctrico se medía en términos del número equivalente de pilas de Daniell (véase Daniell, 1836), y la resistencia en términos de millas de alambre telegráfico -por ejemplo, Wheatstone ha adoptado como su propio estándar de resistencia un alambre de cobre de 30.48 cm (1 pie) y 6 g (100 granos)- (véase 1862) ([18], p. 302; [51], p. 203). Uno de los logros del congreso es la homogeneización de las unidades, así como también, la especificación de la manera en cómo deben ser medidas estas unidades ([3], vol. 12, p. 426, [25], pp. 90 y 149).

¹⁴⁶⁾ *Philosophical Magazine*, 11.

¹⁴⁷⁾ Que después se le conocería como *efecto Edison* (véase 1885) y en la actualidad se le denomina efecto termiónico.

¹⁴⁸⁾ *Journal of the Chemical Society*.

¹⁴⁹⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 32.

(continúa 1881)

René-Prosper **Blondlot** (1849-1930; Francia) publica "Recherches expérimentales sur la capacité de polarisation voltaïque" ("Investigaciones experimentales sobre la capacidad de polarización voltaica") ([34], vol. II, p. 203).

Alfred Rosling **Bennet** (1850-1928; Inglaterra) inventa una batería de hierro y álcali cáustico ([40], p. 152).

Camille A. **Faure** (Francia) perfecciona la pila de **Planté** (véase 1859), cubriendo la rejilla positiva con una pasta de plomo rojo (Pb_3O_4) y ácido sulfúrico, y la rejilla negativa con monóxido de plomo (*litharge*) (PbO). Durante la descarga la pasta positiva es oxidada a peróxido de plomo (PbO_2) y la pasta negativa es reducida a plomo esponjoso ([3], vol. 18, pp. 202-204; [18], p. 155; [25], p. 148).

Achille Auguste **Cazin** (1832-1877; Francia) publica *Traité Théorique des piles électriques* (Tratado teórico de las pilas eléctricas) ([40], p. 314).

Lucien **Gaulard** (1850-1888; Francia) inventa un generador termoelectrónico ([40], p. 636).

Marcel **Deprez** (1843-1918; Francia) y Jules Adrien Marie Louise **Carpentier** (1851-1921; Francia) perfeccionan el dinamo ([40], p. 445).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) exhibe en París, Francia, un gran dinamo con imanes de núcleo múltiple, llamado *Jumbo*. La máquina está planeada para alimentar 1,500 lámparas incandescentes a 110 V. Es impulsado por un motor **Porter-Allen** de 150 hp. La máquina es instalada luego, en el verano, en un sistema central temporal de potencia eléctrica de la estación *Holborn Viaduct*, en Londres, Inglaterra. Máquinas similares se instalan en Milán, Italia, y en la estación *Pearl Street* de Nueva York, Estados Unidos (véase 1879) ([18], p. 121).

Friedrich Franz von **Hefner-Alteneck** (1845-1904; Alemania) publica "Ueber eine neue dynamoelectrische Maschine für kontinuierlichen Strom" ("Sobre una nueva máquina dinamoeléctrica para corriente continua")⁽¹⁵⁰⁾ ([34], vol. VI, p. 223).

Jules-François **Joubert** (1834-1910; Francia) publica *Sur la théorie des machines magneto-électriques* (Sobre la teoría de las máquinas magnetoeléctricas) ([40], p. 895).

A Nikola **Tesla** (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) se le ocurre el principio de campo magnético rotatorio⁽¹⁵¹⁾ ([34], vol. XIII, p. 286).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) recibe las patentes para un regulador de corriente para los dinamos ([62], p. 127).

¹⁵⁰⁾ *Elektrotechnische Zeitschrift*, 2, pp. 163-170.

¹⁵¹⁾ Bajo el cual funcionarían todos los motores polifásicos de inducción.

(continúa 1881)

Alfred Potier (1840-1905; Francia) sugiere el uso del voltímetro electrostático (véase W. Thomson, 1855) como vatímetro. Para ello, Potier conecta la aguja y un par de placas a lo largo de la carga, conectando el segundo par de placas a una resistencia en el circuito. Bajo esas condiciones, la desviación del instrumento es proporcional al producto del voltaje y la corriente; esto es, a la potencia disipada en la carga ([18], p. 294; [25], p. 148).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) forma la *Swan Electric Lighting Company* para manufacturar lámparas y efectuar instalaciones de alumbrado. Rookes Evelyn Bell Crompton (1845-1940; Inglaterra) es nombrado ingeniero principal (véase 1878) ([18], p. 131).

Joseph Wilson Swan (1828-1914; Inglaterra) y Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) forman la *Edison and Swan United Electric Light Company, Ltd* ([18], p. 134; [25], p. 148).

El *Teatro Savoy*, en Londres, Inglaterra, es equipado con 1,200 lámparas eléctricas incandescentes de Swan (véase 1878). La casa de W. Thomson (Lord Kelvin) también es iluminada con lámparas de este tipo ([18], p. 132).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) instala el primer sistema autónomo del mundo de alumbrado eléctrico incandescente (en un solo edificio), en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos. Instala además una exhibición en el *Crystal Palace*, en Londres, Inglaterra ([18], p. 121).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) recibe la patente para un método de tratamiento de los filamentos de carbón para las lámparas incandescentes ([62], p. 127).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) desarrolla un regulador de corriente constante para los sistemas de iluminación por arco eléctrico ([62], p. 128).

W. O. Callender introduce el cable vulcanizado con asfalto. En su fabricación, después de que los tramos de cable son unidos y las uniones aisladas con cinta de asfalto, los coloca dentro de canales de hierro o madera (sosteniéndolos con puentes de madera) que llena con asfalto derretido ([18], p. 257).

Lucien Gaulard (1850-1888; Francia) y John Dixon Gibbs (Reino Unido) obtienen las patentes para un sistema de distribución de corriente alterna de alto voltaje (en el que la corriente varía de positiva a negativa y luego a positiva, un determinado número de veces por segundo). Utilizan transformadores para reducir el voltaje en el extremo receptor de la línea. Dicho sistema de corriente alterna es uno de los más exitosos ([3], vol. 12, p. 605 y vol. 18, p. 494).

Marcel Deprez (1843-1918; Francia) y Jules Adrien Marie Louis Carpentier (1851-1921; Francia) prevén las ventajas de transmisión de potencia de corriente alterna de alto voltaje empleando transformadores. Aunque patentan este principio, nunca lo explotan comercialmente ([34], vol. IV, p. 40).

(continúa 1881)

Marcel Deprez (1843-1918; Francia), convencido de la importancia de transmitir potencia eléctrica de corriente directa, llegaría a presentar cuatro demostraciones públicas, la primera de ellas este año y la última en 1886 (*J34*, vol. IV, p. 40).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) supervisa la instalación del primer sistema central de potencia eléctrica comercial y permanente, en Manhattan, Nueva York, Estados Unidos, el cual entraría en operación en septiembre del siguiente año (en 1882) (*J3*, vol. 17, p. 1050). Los cables son subterráneos y están constituidos por un conductor de cobre, envuelto con cáñamo, dentro de un tubo de hierro. A este dispositivo se le conoce como *tubo de Edison* (véase 1879) (*J3*, vol. 18, p. 506).

William Joseph Hammer (1858-1934; Estados Unidos), trabajando para **Edison**, es enviado a Inglaterra para establecer la primera estación central de iluminación eléctrica en el mundo (*J40*, p. 745).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) inventa un telégrafo dúplex (*J40*, p. 1372).

Thomas Hardy escribe su novela *A Laodician*, basada en la familiaridad de la heroína con el telégrafo. Aunque tiene algunos errores, como la confusión del servicio telegráfico público entre oficinas de telégrafos y el servicio privado de telégrafos ABC, la obra resulta interesante porque se puede apreciar que para esta época el telégrafo eléctrico ha llegado a formar parte de la vida cotidiana de Inglaterra, aun cuando sea un servicio demasiado caro para la mayoría de la gente (*J51*, p. 35).

John J. Carty (1861-1932; Estados Unidos) aplica circuitos metálicos a los teléfonos de uso comercial. Sienta las bases para el desarrollo de las baterías de los sistemas telefónicos (*J40*, p. 306).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) inventa un repetidor telefónico (*J40*, p. 1639).

La *American Bell Telephone Company* adquiere la *Western Electric Company* (*J25*, p. 148).

Shelford Bidwell (1848-1909; Inglaterra) escribe *On Telegraphic Photography*. Diseña un instrumento para transmitir eléctricamente imágenes de objetos naturales (*J40*, p. 173).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) propone un telégrafo inalámbrico (*J40*, pp. 469-370).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) cambia el nombre de su compañía *Van Depoele Electric Light Company, Inc.* (véase 1879) a *Van Depoele Electric Railway Company* (*J62*, p. 129).

Al parecer, **De Meritens** utiliza por primera vez la soldadura eléctrica en el ensamblaje de las placas de los acumuladores (*J25*, p. 149).

(continúa 1881)

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) participa en la fundación de una sociedad nacional (francesa) para la investigación eléctrica ([34], vol. I, p. 304).

Leo Graetz (1856-1941; Alemania) se convierte en asistente de Kundt, en la ciudad alemana de Estrasburgo ([40], p. 688).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) funda las empresas *Edison Machine Works* y *Edison Electric Tube Company* ([62], p. 120).

1881-84

Edward Goodrich Acheson (1856-1931; Estados Unidos), trabajando para Edison, instala los primeros sistemas de iluminación eléctrica en Italia, Bélgica y Francia ([3], vol. I, p. 62).

1882

Jacques-Paul Curie (1855-1941; Francia) y Charles Friedel (1832-1899; Francia) muestran que las cargas eléctricas observadas en una placa de cuarzo caliente se originan como resultado de las tensiones internas, causadas, a su vez, por el calentamiento heterogéneo; si la temperatura permanece homogénea, no se detecta carga alguna. Demuestran así que el cuarzo es piezoeléctrico y no piroeléctrico ([34], vol. III, p. 505).

James Alfred Ewing (1855-1935; Escocia) encuentra que el área encerrada por el ciclo de la histéresis (véase 1881), es proporcional al trabajo realizado durante un ciclo completo de magnetización y desmagnetización ([34], vol. IV, p. 500).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), a raíz del tenía propuesto para el Premio Adams, comienza a estudiar la teoría de los vórtices atómicos, guiado y estimulado por la interpretación de W. Thomson sobre los experimentos de A. M. Mayer de 1878 ([34], vol. XIII, p. 362).

Carl Anton Bjerknes (1825-1903; Noruega) escribe *Phénomènes hydrodynamiques, inversement analogues à ceux de l'électricité et du magnétisme* (Fenómenos hidrodinámicos, inversamente análogos a los de la electricidad y el magnetismo), en 8 volúmenes ([40], p. 182).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) y H. Sidgwick publican "On the Specific Resistance of Mercury" ("Sobre la resistencia específica del mercurio")⁽¹⁵²⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

Adolfo Bartoli (1851-1896; Italia) publica *Sulla costituzione degli elettroliti* (Sobre la constitución de los electrólitos) ([40], p. 121).

Eugen Goldstein (1850-1930; Silesia) demuestra que los rayos catódicos pueden ser reflejados difusamente de los ánodos⁽¹⁵³⁾ ([34], vol. V, p. 458).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) establece un programa de investigaciones, con R. T. Glazebrook y W. N. Shaw como asistentes, entre las cuales se trata de redeterminar los tres estándares eléctricos

¹⁵²⁾ *Philosophical Transactions*, 174.

¹⁵³⁾ El experimento pudo llevar a conclusiones erróneas, ya que los rayos reflejados pudieron haber sido rayos X blandos, producidos en el ánodo, debido al haz catódico incidente.

(continúa 1882)

(ohm, ampere y volt), por lo que requiere la construcción de equipo más sofisticado que el existente. La importancia de dicho trabajo influye para el establecimiento de un laboratorio gubernamental para la determinación de estándares. Publica "Experiments to Determine the Value of the British Association Unit of Resistance in Absolute Measure" ("Experimentos para determinar el valor de la unidad de resistencia de la British Association en medidas absolutas")⁽¹⁵⁴⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

Alfred Rosling **Bennet** (1850-1928; Inglaterra) publica *A Cheap Form of Voltaic Battery* (Una forma barata de batería voltaica) ([40], p. 152).

James **Wimshurst** (1832-1903; Inglaterra) diseña la «máquina de inducción» más conocida y de mayor éxito. En su forma más simple, este aparato consiste en dos discos circulares delgados de vidrio que giran muy juntos en direcciones opuestas sobre un eje horizontal. Los discos se hacen girar por bandas de grandes poleas operadas manualmente, una de las bandas es cruzada de tal forma que se obtengan las direcciones de giro opuestas. Los discos están barnizados y cada uno tiene una docena o más de sectores de papel de estaño pegado a intervalos iguales en la periferia de sus superficies. Dos escobetas metálicas presionan ligeramente sobre el papel de estaño conforme los discos giran y algunos peines metálicos recolectan las cargas. Una máquina con discos de 36 cm de diámetro produce fácilmente chispas de 10 cm de largo. Este tipo de máquinas de influencia serían muy populares entre los físicos a finales de este siglo porque producen un voltaje alto para investigar diversos fenómenos, tales como las descargas de alto voltaje en los gases. Sin embargo, pronto serían superadas por bobinas y transformadores de inducción de alto voltaje, y serían relegadas al estado de curiosidades científicas espectaculares pero obsoletas ([25], p. 140; [51], pp. 5-6; [52], p. 58).

Sebastian Ziani **De Ferranti** (1864-1930; Inglaterra) y William **Thomson** (Lord Kelvin) (1856-1940; Inglaterra) construyen un generador de corriente alterna, llamado *generador Thomson-Ferranti* ([40], pp. 430-431).

Nikola **Tesla** (1856-1943; Croacia-Estados Unidos), trabajando para la *Continental Edison Company*, en París, Francia, es enviado a reparar una planta eléctrica en Estrasburgo. Allí construye un prototipo de un motor, en el que la rotación se efectúa por medio de corriente alterna y sin conmutador, bajo el principio del campo magnético rotatorio (véase 1881) ([34], vol. XIII, p. 286).

Se introducen devanados compuestos en las bobinas de campo de los dinamos. Se agregan a las bobinas derivadas, usuales, devanados en serie para compensar la caída de voltaje en la carga ([18], p. 113).

Jacques Arsène d'**Arsonval** (1851-1940; Francia) y Marcel **Deprez** (1843-1918; Francia) diseñan un galvanómetro de bobina móvil. Utilizan un arreglo en el que la bobina, que abraza a un núcleo cilíndrico de hierro, está alojada en una pequeña abertura entre las piezas polares de un imán ([18], p. 308). Lo emplean para medir corrientes eléctricas débiles⁽¹⁵⁵⁾ ([3], vol. I, p. 594).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) diseña un medidor de potencia electromagnético (véase 1880), del tipo de motor con núcleo de aire.

¹⁵⁴⁾ *Philosophical Transactions*, 173.

¹⁵⁵⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 94.

(continúa 1882)

con disco para eliminar corrientes parásitas. Dos largas bobinas fijas con núcleo de aire actúan como imanes de campo y transportan la corriente principal. La armadura, montada sobre un eje vertical, está enrollada con alambre fino y gira entre las bobinas, conectadas en serie con una resistencia a través de los circuitos principales. El extremo inferior del eje de la armadura transporta un disco de cobre horizontal que gira libremente entre los polos adyacentes de varios imanes permanentes. El freno debido a corrientes parásitas produce un retraso proporcional a la velocidad del disco, de manera que, como el momento de giro es proporcional al producto voltaje-corriente, la velocidad es proporcional a la potencia y el número total de revoluciones registra el número de unidades de energía consumidas (118), p. 311).

William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) y John Perry desarrollan un medidor de suministro de energía eléctrica de tipo electromagnético (véase 1880). Tiene dos péndulos de reloj operando sobre un tren de engranes. Uno de los péndulos emplea como pesa a una bobina de alambre fino que se desliza dentro de una bobina fija de alambre pesado. La bobina interior está conectada en serie con el suministro de energía a través de los circuitos principales y la bobina exterior. Así, el efecto unido de las dos corrientes sobre la razón de deslizamiento del péndulo es proporcional a la potencia consumida en el circuito. La diferencia entre los dos péndulos, registrada en las carátulas, es una medida del consumo (118), pp. 310-311).

La demanda de focos incandescentes rebasa la capacidad de la planta de la *Edison Lamp Work*, en Menlo Park, por lo que Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) decide mudarse a Harrison, Nueva Jersey, donde dispone de mayores facilidades (125), p. 150).

Se funda la *Canadian Edison Company*, en Canadá (125), p. 151).

Friedrich Franz von Hefner-Alteneck (1845-1904; Alemania) publica "Ueber elektrische Beleuchtungs Versuche in den Strassen Berlins"⁽¹⁵⁶⁾ ("Sobre el experimento de iluminación artificial en las calles de Berlin") (134), vol. 11, p. 223).

Uno de los primeros recintos públicos en utilizar la iluminación eléctrica es el *Teatro Bijou*, en Boston, Massachusetts, Estados Unidos (125), p. 150).

La potencia de las luces eléctricas callejeras en Estados Unidos es generada por dinamos construidos por E. Thomson (véase 1879) (111), p. 384).

John Kruesi (1843-1899; Suiza-Estados Unidos) patenta un método para tender cables subterráneos, a prueba de agua y aislados (140), p. 793).

La empresa *Berthoud-Borel Co.* fabrica en Europa cables aislados con yute. Están contruidos con cordel de yute colocado sobre el conductor central en capas sucesivas orientadas en direcciones opuestas. El núcleo así cubierto es impregnado después con un compuesto caliente de aceite de linaza hirviendo y resina, y recubierto con plomo (118), p. 258).

¹⁵⁶⁾ *Elektrotechnische Zeitschrift*, 3, pp. 443-450.

(continúa 1882)

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) instala cables de transmisión, o distribución, en conductos subterráneos. Al final del año se han conectado ya a la red 193 edificios, con un total de más de 4,000 lámparas eléctricas incandescentes instaladas (véase 1881) ([18], pp. 144-145).

Marcel Deprez (1843-1918; Francia), Oskar von Miller y C. Hertz tratan de transmitir corriente eléctrica directa desde una mina de carbón en Miesbach hasta la Exhibición Eléctrica de Munich, Alemania, a una distancia de unos 56 km. Instalan un pequeño dinamo impulsado por vapor (de alrededor de 1.5 kW de salida y 1,500 a 2,000 V) y emplean una línea estándar de telégrafo (alambre de 0.46 cm de diámetro). Un duplicado del dinamo es usado como motor en el extremo receptor en la exhibición, para impulsar a una bomba centrífuga que surte a una caída de agua de 2 m de altura ([18], p. 159). El experimento no da resultados positivos, por lo que Deprez concluye que para este tipo de transmisiones se necesita trabajar con voltajes muy altos ([25], p. 150; [40], p. 445).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) obtiene la patente para el sistema de distribución de potencia de corriente directa de tres alambres. Dicho sistema ahorra un 50% del cobre del conductor ([25], p. 151).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) solicita la patente para un sistema de distribución de potencia eléctrica de 3 cables, con dicho sistema, los requerimientos de cobre se reducen 2/3 partes ([62], p. 127).

Lucien Gaulard (1850-1888; Francia) y John Dixon Gibbs (Reino Unido) introducen su sistema de distribución de energía eléctrica a 2,000 V de corriente alterna unifásica, en el que conectan en serie varios transformadores primarios. El arreglo convierte la corriente transmitida de 13 a 40 A. Los transformadores tienen un núcleo de alambre de hierro dulce con una bobina primaria de alambre aislado (de 3 mm de diámetro), rodeado por seis bobinas secundarias iguales (de alambre de 1 mm de diámetro). Las bobinas secundarias están conectadas a terminales separadas en un lado, para que puedan usarse seis secciones, si así se requiere ([18], p. 175).

Se publica la primera ley inglesa referente al suministro público de energía eléctrica (*Electricity Lighting Act*). Otorga atribuciones para poder romper las calles de las ciudades para tender las líneas principales ([53]).

En enero, se inaugura en Londres, Inglaterra, la primera planta de generación de energía eléctrica pública del mundo que emplea un generador eléctrico ([3], vol. 4, p. 425).

Entra en operación la primera planta hidroeléctrica del mundo, en Appleton, Wisconsin, Estados Unidos (véase 1880), diseñada por Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) ([1]). En la planta, Edison emplea su generador bipolar ([62], p. 127).

Se inaugura en Nueva York, Estados Unidos, una planta de generación de energía eléctrica pública con un generador eléctrico ([3], vol. 4, p. 425).

(continúa 1882)

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) instala su primera estación de generación de energía eléctrica en Pearl Street, Nueva York, Estados Unidos, donde coloca seis de sus dinamos *Jumbo* de corriente directa, que producen unos 900 hp, acoplados directamente a motores de vapor Porter-Allen (véase 1881). Sirve a 230 consumidores y a 7,200 lámparas eléctricas incandescentes (de 16 candelas) en 0.432 km² (1/6 mi²) ([1]; [3], vol. 17, p. 1050; [25], p. 151).

Henry Charles Fleeming Jenkin (1833-1885; Inglaterra) inventa un dispositivo al que nombra *telefringe* ([40], p. 878).

Robert Stirling Newall (1812-1889; Escocia) publica *Facts Relating to the Submarine Cable* (Hechos relacionados al cable submarino) ([40], p. 1249).

Louis-Victor Mandroux (1843-1913; Francia) realiza la adaptación de los cables telegráficos de la línea que corre desde Marsella, Francia, hasta Argelia ([40], p. 1103).

William Lucas, inspirado por los trabajos de Bidwell de 1881, describe un sistema para un receptor de televisión y propone la modulación y la desviación del haz mediante prismas. Esta es la primera idea de la cuadrícula de barrido y de retroceso ([25], p. 151).

Alexander Graham Bell (1847-1922, Escocia-Estados Unidos) trata de establecer comunicación entre tierra y un barco localizado en el Río Potomac, Maryland, Estados Unidos, empleando placas aterrizadas. Se logran detectar señales hasta a una distancia de entre 1.5 y 2.25 km ([25], p. 150).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos), ante la *American Association for the Advancement of Science*, lee su artículo "Telegraphy Without Wires" ("Telegrafía sin alambres"), en una sesión celebrada en Montreal, Canadá. Dolbear demuestra la comunicación inalámbrica por inducción, pero la oficina de patentes considera que esta aplicación es contraria a la ciencia y, además, que el sistema no funcionaría (véase 1886) ([25], p. 150; [40], pp. 469-470).

Elitha Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) desarrolla un supresor (*arrester*) de chorro de aire para los interruptores de corriente eléctrica alta ([62], p. 128).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) inventa el sistema básico de contacto por presión ascendente para los trolés y un cable aéreo ([62], p. 130).

Winfield Scott Sims (1844-1918; Estados Unidos) patenta la primera aplicación de la electricidad a la propulsión de torpedos ([40], p. 1551).

(continúa 1882)

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia), en "Les sciences physiques en biologie" ("Las ciencias físicas en la biología")¹⁵⁷⁾, establece que el potencial eléctrico es una de las características fisicoquímicas de las células ([34], vol. I, p. 303).

A instancias de Charles Robert Cross (1848-1921; Estados Unidos), el *Massachusetts Institute of Technology*, Massachusetts, Estados Unidos, establece el primer curso en dicho país (y uno de los primeros en el mundo) que otorga un grado en ingeniería eléctrica ([11], p. 384; [38], vol. 8, p. 229).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) es miembro del jurado en la *Exposición del Palacio de Cristal*, en Londres, Inglaterra; se encarga de las pruebas de las máquinas dinamoeléctricas, motores a gas y de la iluminación eléctrica. Debe informar de sus resultados al *Departamento de la Armada* de Estados Unidos ([40], p. 1589).

Friedrich Wilhelm Hubert Von Beetz (1822-1886; Alemania) es el presidente de la *Exhibición Internacional de Electricidad*, en Munich, Alemania ([40], p. 1729).

La empresa *American Electric Works*, fundada por E. Thomson y E. J. Houston en 1880, cambia de propietarios, se muda a la ciudad de Lynn, Massachusetts, Estados Unidos, y cambia de nombre a *Thomson-Houston Electric Company* ([62], p. 129).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) funda la empresa *Edison Company for Isolated Lighting* ([62], p. 120).

1882-83 Johann Friedrich August Max Eschenhagen (1858-1901; Alemania) realiza observaciones sobre el campo magnético terrestre en las Estaciones Alemanas. Publica *Ergebnisse der deutschen Stationen des Internationalen Polarjahres* ([40], p. 530).

1882-86 Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) y Jules-François Joubert (1834-1910; Francia) publican *Leçons sur l'électricité et le magnétisme* (Lecciones sobre electricidad y magnetismo), el cual es el primer libro de texto en francés que trata sistemáticamente el trabajo de Maxwell, W. Thomson y Helmholtz ([34], vol. LX, p. 155; [40], p. 895).

ca. 1883 Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928; Países Bajos) publica un artículo sobre el efecto Hall (1879) y la rotación del plano de polarización de la luz. Además publica otro trabajo sobre la fuerza electromagnética entre dos elementos de corriente, desde el punto de vista de la electrodinámica de la Europa continental ([34], vol. VIII, p. 493).

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) estudia las corrientes termoeléctricas entre metales y minerales, así como la respuesta eléctrica de la fluorita a la luz y la actinoelectricidad del cuarzo ([34], vol. I7, p. 96).

¹⁵⁷⁾ *La Lumière électrique*, 6

1883

Bradley Allen Fiske (1854-1942, Estados Unidos) publica *Electricity in Theory and Practice (Electricidad en teoría y práctica)* ([40], p. 573).

Leo Graetz (1856-1941, Alemania) publica *Die Elektrizität und ihre Anwendungen (La electricidad y sus usos)* ([40], p. 688).

En su primer artículo, Joseph Larmor (1857-1942, Irlanda) trata la inducción electromagnética en placas y sólidos conductores. Se encuentra con el problema de los efectos del movimiento de la materia a través del éter ([34], vol. VIII, p. 40).

George Francis FitzGerald (1851-1901, Irlanda) calcula la cantidad de energía transferida al éter por una corriente variable, y muestra que es proporcional a la cuarta potencia de la frecuencia ([25], p. 153).

Ludwig Boltzmann (1844-1906, Austria) conoce los trabajos de Bartoli sobre la presión de radiación, que lo estimulan a desarrollar, basado en la segunda ley de la termodinámica y en la teoría electromagnética de Maxwell, una derivación teórica de la ley de Stefan de 1879. En un principio, este resultado parece ser aislado y sin mayores consecuencias, que muestra sólo una posible conexión entre la termodinámica y el electromagnetismo⁽¹⁵⁸⁾ ([34], vol. II, p. 266).

Svante August Arrhenius (1859-1927, Suecia) escribe su primera investigación independiente, "The Disappearance of Galvanic Polarization in a Polarization Vessel, The Plates of Which Are Connected by Means of a Metallic Conductor" ("La desaparición de la polarización galvánica en un recipiente de polarización cuyas placas están conectadas mediante un conductor metálico"). En el invierno de 1882-1883 determina la conductibilidad de los electrolitos, cuyos resultados constituirían su tesis doctoral de 1884 ([34], vol. I, pp. 296-297).

Charles D. Fritts (Estados Unidos) describe la primera celda fotovoltaica de selenio ([58], p. 138).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894, Alemania) concluye que los rayos catódicos no son haces de partículas eléctricas, sino perturbaciones invisibles del éter, las cuales producen luz cuando son absorbidos por un gas ([34], vol. VI, p. 341).

Antoine-Henri Becquerel (1852-1908, Francia) investiga el espectro infrarrojo realizando observaciones visuales por medio de la luz liberada por ciertos cristales fosforescentes bajo iluminación infrarroja ([34]).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907, Irlanda) escribe *Sobre el tamaño de los átomos (On the size of atoms)* (véase 1851) ([1]).

Joseph John Thomson (1856-1940, Inglaterra), en "On a Theory of Electric Discharge in Gases" ("Sobre la teoría de la descarga eléctrica en los gases")⁽¹⁵⁹⁾,

⁽¹⁵⁸⁾ Años después esta relación sería explotada por la física cuántica y, en 1926, S. Eddington la usaría para explicar el equilibrio en las atmósferas estelares.

⁽¹⁵⁹⁾ *Philosophical Magazine*, 15.

(continúa 1883)

vuelve a tratar el tema de las descargas eléctricas en los gases, pero esta vez bajo la teoría de los vórtices atómicos. Introduce la idea (muy importante para su trabajo posterior) de que la descarga es análoga al proceso electrolítico, es decir, por ruptura de enlaces químicos ([34], vol. XIII, p. 365).

Thomson publica *Treatise on the Motion of Vortex Rings* (Tratado sobre el movimiento de los anillos de vórtices), estudio de la teoría de los vórtices atómicos iniciada el año pasado, trabajo con el que gana el Premio Adams ([34], vol. XIII, p. 362).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) está inquieto porque el efecto de la sombra fantasma de Hammer (ennegrecimiento del bulbo de una lámpara de filamento de carbón; véase Hammer, 1881) reduce la eficiencia de las bombillas. Observa que si suspende una plaquita de metal dentro del bulbo y la conecta externamente al polo positivo del filamento usando un galvanómetro, en la placa fluye una corriente estática conforme el filamento se va calentando. Cuando conecta la placa al terminal negativo, no existe corriente alguna, hecho que no puede explicar (dado que no tiene conocimiento de la existencia de los electrones) ([10], p. 31).

Edison identifica por primera vez (sin reconocerla como tal) la emisión termiónica. Solicita una patente para este dispositivo como indicador de voltaje ([58], p. 157; [25], pp. 152-153).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) publica "On the Determination of the Number of Electrostatic Units and the Electromagnetic Unit of Electricity" ("Sobre la determinación del número de la unidad electrostática y la unidad electromagnética de electricidad")⁽¹⁶⁰⁾, en el cual especifica, a sugerencia de Lord Rayleigh, el coeficiente entre las unidades electrostática y electromagnética. Sin embargo, el valor calculado es incorrecto (véase 1889) ([34], vol. XIII, p. 365).

Se define oficialmente el *ohm*, pero hay problemas para que se adopte (véase Francia, 1881) ([16], p. 80).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) establece, en su libro *Some Points on Electric Lighting* (Algunos puntos de la iluminación eléctrica), que los generadores eléctricos de corriente alterna no tienen por qué ser enormes y que es importante que se tengan formas de onda similares (por lo que la forma senoidal se adopta normalmente). Señala que se pueden obtener buenos resultados haciendo funcionar pequeños alternadores en paralelo. Poco después presenta algunos resultados experimentales obtenidos al operar dos generadores en paralelo (para alimentar faros), haciendo referencia a pruebas similares efectuadas con éxito total por Wilde en 1869 ([18], p. 168; [40], p. 826; [51], p. 63).

Steward Perry fabrica rotores multipala para molinos de viento acoplados a una bomba de pistón con álabes metálicos. Llegan a ser el arreglo más extendido de cuantos hayan existido para aprovechar la energía eólica. El rotor (de 3 m de diámetro) está montado sobre un eje horizontal en la parte superior de una torre metálica. Alcanza potencias de 125 W con velocidades de viento de 25 km/h, con una capacidad para bombear 150 litros de agua/minuto a 8 m de altura. Se llegan a fabricar 6 millones de unidades, de las que todavía podrían estar en funcionamiento unas 150,000 ([66], p. 145).

¹⁶⁰⁾ *Proceedings of the Royal Society of London*, 35.

(continúa 1883)

Théodore Achille Louis **Du Moncel** (1821-1884; Francia) escribe "Les Moteurs Electriques de M. Froment" ("Los motores eléctricos del Sr. Froment")¹⁶¹ ([51], p. 61).

David Edward **Hughes** (1831-1900; Inglaterra) inventa una balanza de inducción ([40], p. 840).

Philip **Carlew** (1851-1910; Inglaterra) inventa un voltímetro de alambre caliente que basa su operación en el hecho de que cuando un alambre se calienta incrementa su longitud. En una de las versiones del voltímetro de **Cardew**, los dos extremos de un fino alambre de plata y platino (con un diámetro de cerca de 2.5 mm y alrededor de 3 m de largo) se fijan a bloques terminales detrás de una carátula indicadora, pasando el alambre por un sistema de poleas contenido en un tubo metálico ([18], p. 309; [25], p. 152).

Sebastian Ziani **De Ferranti** (1864-1930; Inglaterra) inventa un medidor electrolítico ([40], pp. 430-431).

Joseph Wilson **Swan** (1828-1914; Inglaterra) patenta un método mejorado para preparar los filamentos de lámparas incandescentes. Disuelve celulosa hasta formar un líquido espeso que extrae a través de una hendidura muy fina, formando una hebra. Esta es enrollada en matrices, dándole forma característica de lazo, y carbonizada después en un horno (véase 1880) ([7], pp. 931-932).

George John **Murdock** (1858-1942; Estados Unidos) obtiene la primera patente de Estados Unidos por una lámpara de arco eléctrico sellada (bulbo)¹⁶² (véase 1879) ([40], p. 1228).

Elmer Ambrose **Sperry** (1860-1930; Estados Unidos) erige un faro eléctrico de aproximadamente 105 m de alto en el lago Michigan, Estados Unidos ([40], pp. 1585-86).

Inicia operaciones la línea de tranvías eléctricos de Portrush, Irlanda del Norte, empleando corriente directa a 550 V, suministrada a través de un cable elevado para trole. Los 9.6 km de vías tienen gradientes importantes y curvas pronunciadas. Los motores son construidos por la empresa *Siemens Bros* e impulsan las cuatro ruedas de las pequeñas locomotoras a través de engranes de reducción. Los tranvías alcanzan velocidades de hasta 14 km/h. Alexander **Siemens** y Edward **Hopkinson** (Inglaterra) publican un análisis teórico del sistema (elaborado por el segundo) ([18], pp. 191-192; [40], p. 1546).

Magnus **Volk** instala una vía de rieles eléctrica, experimental, de medio kilómetro de longitud, en Brighton, Inglaterra. La corriente es proporcionada por un tercer riel a 140 V corriente directa ([18], p. 191).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) recibe la patente para su sistema de distribución de potencia de tres cables, el cual ahorra 60% en el cobre usado (véase 1882) ([58], p. 157; [25], pp. 152-153). **Edison** instala la primera

¹⁶¹) *La Lumière Electrique*, pp. 193-198

¹⁶²) Usada comúnmente en la actualidad

(continúa 1833)

estación que emplea dicho sistema, en Sunbury, Pensilvania, y el primer sistema subterráneo, en Brockton, Massachusetts, Estados Unidos (*[62]*, p. 127).

Marcel Deprez (1843-1918; Francia), en un segundo intento de transmitir potencia eléctrica por un cable largo (véase 1882), utiliza alambre de 0.2 cm de diámetro, siendo la longitud de éste de 14 km. El experimento lo realiza entre Grenoble y Vizille, Francia. El voltaje utilizado es de 3,000 V, teniendo una pérdida del 62% de la potencia. Eventualmente logra transmitir 52 caballos de fuerza a una distancia de 56 km con un conductor de 0.51 cm de diámetro (*[25]*, p. 152).

Se introduce un sistema de transmisión de corriente directa de tres alambres. Este sistema tiene una ventaja económica sobre el de dos alambres, dado que tres conductores en el primero pueden llevar una carga equivalente a dos circuitos del segundo sistema, esto es, de cuatro conductores. Sin embargo, sus desventajas inherentes hacen que se reemplace por el sistema más flexible de corriente alterna (*[3]*, vol. 18, p. 502).

Rookes Evelyn Bell Crompton (1845-1940; Inglaterra) instala el sistema de alumbrado de la *Vienna Opera House*, Austria. Construye una pequeña planta en un sitio disponible a unos 1.6 km del edificio (*[18]*, pp. 147-148). Crompton y P. W. Willans (1851-1892) desarrollan las máquinas verticales de alta velocidad que impulsan los dinamos. Instalan sistemas *Crompton-Willans* acoplados directamente, con una salida de 700 a 1,000 kW. La corriente directa es generada a 440 V y transmitida por un sistema de 5 cables a la *Vienna Opera House*, donde una batería de 200 celdas apropiadamente conectadas suministra energía a lámparas incandescentes de 100 V en 4 circuitos separados (véase 1878) (*[18]*, pp. 147-148).

Se inaugura en la *Grosvenor Gallery*, Londres, Inglaterra, un sistema de suministro público de energía eléctrica. Se instalan dos motores de vapor semiportátiles con transmisión por bandas a dos alternadores *Siemens* de 2,000 V de una fase excitados separadamente. La galería se ilumina con lámparas de arco en un circuito en serie, con un regulador automático que mantiene una corriente estática de 10 A. De la galería salen cables que pasan por los techos de las casas, distribuyendo la corriente de alta tensión. Cada consumidor cuenta con un pequeño transformador, cuyo devanado primario está conectado en serie al circuito de suministro de 2,000 V (*[18]*, pp. 142-143).

A partir de este año, Moses Greeley Parker (1842-1917; Estados Unidos) es director y miembro ejecutivo del comité de la *North East Telephone and Telegraph Company* (*[40]*, pp. 1308-09).

Se funda la *American Telephone and Telegraph Company* con el propósito de construir una red de servicio telefónico de larga distancia entre varias ciudades de Estados Unidos (*[25]*, p. 151).

Entra en operación el primer servicio telefónico de larga distancia, entre Nueva York y Chicago, Estados Unidos (*[25]*, p. 151).

(continúa 1881)

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica una biografía de Johann Philipp Reis, de quien afirma insistentemente es el verdadero inventor del teléfono (véase Reis, 1861) ([34], vol. XIII, p. 357).

A Paul Gottlieb Nipkow (1860-1940; Alemania) se le ocurre la idea de utilizar un disco rastreador para el sistema de televisión ([25], p. 153).

En Portrush, Irlanda, y en Richmond, Virginia, Estados Unidos, se instalan cables que transportan energía eléctrica para alimentar a tranvías eléctricos con troles ([18], p. 185).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) recibe la patente por un tren eléctrico ([40], p. 1708). La compañía *Van Depoele Electric Railway Company* construye el primer tren eléctrico elevado, en la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos ([62], p. 129).

Charles William (Carl Wilhelm) Siemens (1823-1883; Alemania-Estados Unidos) aplica potencia eléctrica al ferrocarril de Portrush, Inglaterra ([40], p. 1546).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) muestra públicamente el primer trolebús práctico de contacto inferior de muelle presionado (*spring pressed underrunning trolley*) en la *Exposición Industrial Interstatal* en Chicago, Illinois, Estados Unidos ([40], p. 1708).

Comienza a operar el primer tranvía eléctrico de Inglaterra ([25], p. 151).

Empieza a funcionar el primer tranvía eléctrico en Baltimore, Maryland, Estados Unidos ([25], p. 151).

William Arnold Anthony (1835-1908; Estados Unidos) funda el primer curso de ingeniería eléctrica de la Universidad de Cornell, Estados Unidos ([3], vol. 1, p. 445; [38], vol. 2, p. 18).

Emil Rathenau (Alemania), industrial alemán, funda la *German Edison Company for Applied Electricity*, con financiamiento de la compañía *Siemens und Halske* ([3], vol. 1, p. 115).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930; Inglaterra) y Francis Ince (abogado interesado en la electricidad) fundan un negocio para manufacturar aparatos eléctricos ([40], pp. 430-431).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) realiza estudios y experimentos eléctricos en el *Stevens Institute*, en el *Brooklyn Navy Yard* y en la *U.S. Torpedo Station* en Newport, Estados Unidos. Poco después renuncia para dedicarse exclusivamente al trabajo eléctrico ([40], p. 1589).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) patenta diversos sistemas de protección contra sobretensiones de soplador magnético (*magnetic blowout surge protection systems*) ([62], p. 129).

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

- 1883-86 Francis John Bolton (1831-1887; Inglaterra) diseña el sistema de fuentes de colores y luces eléctricas en las exhibiciones en South Kensington, Inglaterra (véase 1884) (*J40*, p. 205).
- 1883-90 John J. Carty (1861-1932; Estados Unidos) recibe 24 patentes que sientan las bases para los sistemas de teléfonos de batería. Además Carty inventa un tablero de batería (*J40*, pp. 306-307).
- ca. 1884 George John Murdock (1858-1942; Estados Unidos) desarrolla un sistema completo de iluminación eléctrica que incluye dinamo, regulador, lámparas de arco y otros accesorios (*J40*, p. 1228).
- Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) es asistente de Edison (*J40*, p. 1589).
- 1884 Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) descubre la precipitación electrostática (*J11*).
- Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia la interacción de dos esferas electrificadas (*J34*, vol. IX, p. 155).
- Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Theorie der electromagnetischen Drehung der Polarisationssebene"⁽¹⁶³⁾ ("Teoría de la rotación electromagnética del plano de polarización") (*J34*, vol. XIV, p. 62).
- En Kiel, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) lleva a cabo un estudio de la teoría de Maxwell, como respuesta teórica al problema general de decidir entre las teorías electrodinámicas rivales. Hertz muestra que se puede llegar a una decisión sobre la base de las predicciones de las corrientes cerradas (en contraposición a Helmholtz, quien argumenta que esta decisión yace en las corrientes abiertas). Hertz muestra que las ecuaciones de Maxwell son compatibles con las suposiciones físicas compartidas por todas las teorías electrodinámicas, mientras que las ecuaciones de las teorías en conflicto no lo son. Concluye que si la selección se basa solamente entre las ecuaciones de Maxwell y las ecuaciones de las otras teorías, entonces las primeras son preferibles; sin embargo, no acepta las interpretaciones físicas que Maxwell hizo de sus ecuaciones, en particular la negación de la acción a distancia (*J34*, vol. VI, pp. 344-345).
- George Francis FitzGerald (1851-1901; Irlanda) publica "On the Possibility of Originating Wave Disturbances in Ether by Means of Electric Forces" ("Sobre la posibilidad de provocar perturbaciones ondulatorias en el éter mediante fuerzas eléctricas") (*J40*, p. 574).
- John Henry Poynting (1852-1914; Inglaterra) muestra⁽¹⁶⁴⁾ que la transmisión de energía eléctrica puede, en general, expresarse en términos de campos eléctricos y magnéticos fuera del alambre. Concluye que el flujo de potencia es proporcional al producto vectorial de ambos campos (*J25*, p. 154).

¹⁶³⁾ *Annalen der Physik*, 23, pp. 493-511.

¹⁶⁴⁾ *Philosophical Transactions*.

(continúa 1884)

A partir de la teoría del campo electromagnético de Maxwell, Poynting deriva la expresión del flujo de energía en este tipo de campos, llamado flujo de Poynting. El término «flujo» aparece en una ecuación que representa el balance de energía en una región cerrada (teorema de Poynting) y el concepto se aplica al flujo de energía alrededor de un alambre conductor; a un condensador en descarga; a una pila voltaica, y a una onda electromagnética (J34, vol. XI, p. 122).

George Francis FitzGerald (1851-1901; Irlanda) publica "On the Analogy between Electric and Thermal Phenomena" ("Sobre la analogía entre los fenómenos eléctricos y térmicos") (J40, p. 574).

Thomas O'Connor Sloane (1851-1940; Estados Unidos) traduce el libro de Algave y Boulard como *Electric Light* (*Luz eléctrica*) (J40, p. 1559).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) determina el equivalente electroquímico de la plata (J34, vol. IX, p. 155).

Svante August Arrhenius (1859-1927; Suecia) estudia, en su tesis doctoral, los resultados obtenidos el año anterior, en donde discute la teoría de la disociación electrolítica. La memoria de estos resultados se titula "Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes" ("Investigación sobre la conductibilidad galvánica de los electrolitos")¹⁶⁵. La primera parte, "La conductibilité des solutions aqueuses extrêmement diluées" ("La conductibilidad de las soluciones acuosas extremadamente diluidas"), contiene sus descubrimientos sobre la conductibilidad de muchas sustancias sumamente diluidas. En lugar de haber medido la conductibilidad con el método de corriente alterna, introducido en 1876 por R. Kohlrausch, Arrhenius utiliza un depolarizador de Edlund de 1875.

Entre las conclusiones de Arrhenius están las siguientes:

- 1) La conductibilidad específica de soluciones salinas muy diluidas es, en muchos casos, casi proporcional a la concentración.
- 2) La conductibilidad de una solución diluida de dos o más sales siempre es igual a la suma de las conductibilidades que las soluciones de cada una de las sales tendría a la misma concentración.
- 3) La conductibilidad de una solución es igual a la suma de las conductibilidades de la sal y del solvente.
- 4) Si estas tres tesis anteriores no se observan, se debe a la acción química entre las sustancias en la solución.
- 5) La resistencia eléctrica de una solución electrolítica aumenta si se incrementa la viscosidad, la complejidad de los iones o el peso molecular del solvente¹⁶⁶.

En la segunda parte de su memoria, "Théorie chimique des électrolytes" ("Teoría química de los electrolitos"), Arrhenius da un tratamiento teórico de su trabajo experimental, el cual contiene el germen de la teoría de disociación electrolítica¹⁶⁷ (J34, vol. I, pp. 297-298).

E. H. Kennard y E. O. Dierich relacionan el efecto fotovoltaico con la existencia de una barrera (J58, p. 138).

¹⁶⁵) *Bihang till kungliga vetenskapsakademins handlingar*, 13 y 14

¹⁶⁶) Esta última condición no es correcta, pero Arrhenius trabaja con muy pocos solventes (agua, algunos alcoholes o éter) para los cuales sí es válida tal conclusión.

¹⁶⁷) Cuyo enunciado definitivo lo establecería tres años después, 1887.

(continúa 1884)

Johann Philipp Ludwig Julius **Elster** (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans **Geitel** (1855-1923; Alemania) investigan la electrificación de las flamas ([34], vol. IV, p. 353).

En Estados Unidos, John Ambrose **Fleming** (1849-1945; Inglaterra) conoce a **Edison**, quien le informa de los resultados de los experimentos sobre el fenómeno de la sombra de **Hammer** y de su indicador eléctrico (véase **Edison**, abajo y 1883)¹⁶⁸⁾ ([34], vol. V, p. 33).

Éleuthère Élie Nicolas **Mascart** (1837-1908; Francia), Justin-Mirande René **Benoit** (1844-1922; Francia) y F. de Neville determinan el valor absoluto del ohm ([34], vol. IX, p. 155).

Gustav Heinrich **Wiedemann** (1826-1899; Alemania) determina, con un buen grado de confiabilidad, la unidad de resistencia eléctrica, el ohm, utilizando una bobina de inducción de **Weber** ([34], vol. XIV, p. 330).

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) publica un artículo sobre las unidades eléctricas y magnéticas ([34], vol. VI, p. 342).

René Justin-Miranda **Benoit** (1844-1922; Francia) publica *Sur la détermination de l'ohm* (Sobre la determinación del ohm) ([40], p. 134).

El 6 de mayo, C. L. **Clarke** (Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 298,175) por una batería alcalina de óxido de cinc mercurio (véase **Ruben**, ca. 1940) ([52], p. 59).

Nathaniel Shepard **Keith** (1838-1925; Estados Unidos) publica *Magnetic and Dynamo-Electric Machines* (Máquinas magnéticas y dinamoeléctricas) ([40], p. 917).

Silvanus Phillips **Thompson** (1851-1916; Inglaterra) publica *Dynamo-Electric Machinery* (Maquinaria dinamoeléctrica) ([34], vol. XIII, p. 337).

Sebastian Ziani **De Ferranti** (1864-1930; Inglaterra) inventa un dinamo con disco sin núcleo ([40], pp. 430-431).

Charles Algernon **Parsons** (1854-1931; Inglaterra) inventa la primera turbina de vapor de utilidad práctica. Su diseño surge de la necesidad de contar con una máquina para mover un dinamo y alternador de muy alta velocidad, lo que hace aconsejable motores de mayor velocidad que la alcanzable por los de vapor alternante. Haciendo pasar el vapor a través de una serie de turbinas elementales de pequeño tamaño, **Parsons** consigue un alto grado de eficacia, y mayor velocidad. Con este arreglo, la caída de presión sufrida por el vapor al dilatarse se divide en una cantidad de pequeñas etapas, que son consideradas necesarias por razones teóricas. La parte exterior de la turbina consiste en una carcasa circular fija, llamada estator, provista de hileras de álabes fijos en su parte interior. Un eje central, denominado rotor, está provisto con una corona de álabes similares. El vapor circula a través del estator en dirección paralela al eje o rotor, y pasa alternativamente a través de los dos juegos de álabes, haciendo girar el eje.

¹⁶⁸⁾ Básicamente es el mismo dispositivo que **Fleming** patentaría en 1904, al cual se le llamaría válvula de **Fleming**.

(continúa 1884)

Parsons construye un pequeño modelo de turbogenerador con un consumo de vapor de cerca de 70 kg/kWh. Opera a una velocidad de 18,000 rpm y produce una corriente directa de 75 A a 100 V (12; 118; p. 197; 140; p. 1312, 155; p. 191).

P. W. Willans (1851-1892) patenta un motor de vapor de expansión múltiple (con los cilindros de alta presión en su parte superior), de efecto simple y movimiento muy uniforme. El vapor es distribuido por un sistema novedoso de válvulas de pistones verticales colocadas en el interior hueco del vástago del pistón, en una serie de lumbreras abiertas en su superficie. Estos motores se fabrican en versiones de expansión simple, doble y triple. **Willans** es además precursor de la normalización, maquinando piezas con un error de menos de 0.025 mm, y haciendo que el cilindro de alta presión para un motor de tamaño determinado corresponda exactamente al cilindro de baja presión de otro. Sus pistones, juntas, válvulas y muchas otras piezas son también intercambiables. Entre 1890 y 1900 se construirían muchos motores de este tipo para mover generadores eléctricos. Hacia finales de siglo la potencia máxima de dichos motores llegaba a 2,400 cv (17; p. 489).

El primer submarino eléctrico de Estados Unidos emplea acumuladores y motores de corriente directa contruidos por **Charles Francis Brush** (1849-1929; Estados Unidos) (162; p. 128).

Lucien Gaulard (1850-1888; Francia) construye el primer transformador de corriente alterna (véanse **Gaulard** y **J. D. Gibbs**, 1881) (140; p. 636).

Francis John Bolton (1831-1887; Inglaterra) publica *Description of the Illuminated Fountain and of the Water Pavilion* (Descripción de la Fuente Iluminada y del Pabellón de Agua) (véase 1883-86) (140; p. 205).

Friedrich Franz von Hefner-Alteneck (1845-1904; Alemania) inventa una lámpara de acetato de amilo como unidad de la intensidad luminosa que, bajo el nombre de «candela de Hefner», sería un estándar en Alemania por más de 40 años. Publica "Vorschlag zur Beschaffung einer konstanten Lichteinheit"⁽¹⁶⁹⁾ (134; vol. VI, p. 223).

En la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, se prohíbe la instalación de líneas eléctricas aéreas, con lo cual se incrementa la investigación de los cables subterráneos (véase **Edison**, 1881) (13; vol. 18, p. 506).

A **Horace H. Eldred** se le concede una patente para un indicador de fin de conversación, para indicar el momento en que una conversación telefónica termina (125; p. 153).

La *Western Electric Company* empieza a manufacturar los primeros cables para teléfono recubiertos con plomo (125; p. 153).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) instala el primer sistema central telefónico de Barcelona, España (140; p. 552).

⁽¹⁶⁹⁾ *Elektrotechnische Zeitschrift*, 5, pp. 20-24.

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

(continúa 1884)

Paul Gottlieb Nipkow (1860-1940; Alemania) propone una solución para el problema de cómo transmitir la información visual contenida en una imagen de dos dimensiones mediante una señal eléctrica. Introduce el concepto de barrido de una imagen. Entre la imagen y una fotocelda interpone un disco giratorio con numerosos agujeros, debidamente espaciados y en espiral alrededor del centro. Hace pasar un haz de luz por los agujeros, lo cual modula la corriente en una fotocelda proporcionalmente a la intensidad de esta luz¹⁷⁰. Sin embargo, debido a que sólo se dispone de una celda de selenio muy lenta y no existen los amplificadores, el sistema no resulta práctico ([10], p. 48; [25], pp. 153-154; [40], p. 1259).

J. H. Holmes (Reino Unido) inventa el interruptor de corte rápido de mango suelto (*loose-handle quick-break switch*). Por este dispositivo recibe la patente británica (no. 3,256) bajo el título "Improvements in or applicable to switches or circuit closers for electrical conducting apparatus" ("Mejoras en, o aplicables a, switches o interruptores de circuito para aparatos de conducción eléctrica") ([52], p. 58).

Edward Goodrich Acheson (1856-1931; Estados Unidos) empieza sus trabajos para fabricar diamantes sintéticos con maquinaria eléctrica ([3], vol. 1, p. 62).

El 21 de octubre, Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 307,031) para un indicador eléctrico, resultado de la investigación sobre el fenómeno conocido como *sombra de Hammer* (véase 1883). Apparently nunca le encuentra una aplicación práctica ([25], p. 153).

En la patente, Edison describe el fenómeno con las siguientes palabras: «Si una sustancia conductora es interpuesta en cualquier lugar en el espacio vacío dentro del globo de una lámpara eléctrica incandescente, y dicha sustancia conductora es conectada fuera de la lámpara con un terminal, de preferencia el positivo, del conductor incandescente, una porción de la corriente pasará, cuando la lámpara esté en operación, a través del circuito derivado así formado, el cual incluye una porción del espacio vacío de la lámpara.» ([16], p. 303).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) cambia nuevamente el nombre de su compañía (véase 1881) a *Van Depoele Electric Manufacturing Company* ([40], p. 1708).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) funda la *Sprague Electric Railway and Motor Company* ([40], p. 1589; [62], p. 129).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) funda la empresa *Edison Shafting Company* ([62], p. 120).

Se realiza la primera *International Electrical Exhibition of the United States*, cuya sede es el *Franklin Institute*, en la ciudad de Filadelfia, Estados Unidos ([3], vol. 4, p. 942).

¹⁷⁰) La idea de enviar la imagen secuencialmente, línea por línea, es la que todavía se utiliza hoy en día, a pesar de que se han desarrollado muchas variantes del sistema original.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1884)	Haddow, de la <i>Cerveceria Hollywood</i>, de Young, Edimburgo, Escocia, es el primero en usar un compás magnético para hacer un levantamiento de agujeros de barreno (<i>borehole survey</i>) para emplearse en los campos petroleros (153f).
1884-85	Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) llega a Estados Unidos y trabaja para Edison; sin embargo, Tesla y Edison no se llevan bien, por lo que el primero se ve obligado a renunciar (162, p. 131). Nathaniel Shepard Keith (1838-1925; Estados Unidos) es editor científico de la revista <i>Electrical World</i> (140, p. 917). Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) logra tener éxito en la operación con circuitos subterráneos y aéreos, en Toronto, Canadá (140, p. 1708).
1884-88	Edmond Bouty (1846-1922; Francia) estudia la conductibilidad de las soluciones de sales concentradas (140, p. 220).
1884-93	Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) es editor de las revistas <i>Electrician and Electrical Engineering</i> y <i>Engineering Magazine</i> (140, p. 1362).
1884-94	Nathaniel Shepard Keith (1838-1925; Estados Unidos) aplica la electricidad a la minería y a la metalurgia (140, p. 917).
ca. 1885	Cargill Gilston Knott (1856-1922; Escocia), durante su estadía en Japón (1883-1891), organiza y supervisa el primer estudio magnético comprensivo de ese país. Sus estudiantes y los estudiantes de éstos llegarían a ser los investigadores líderes en el campo del magnetismo terrestre de Japón (134, vol. VII, p. 413). William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) y John Perry determinan por primera vez la constante dieléctrica de los gases (140, p. 80). William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) inventa un motor de potencia eléctrica (140, p. 80). William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) inventa varios tipos de voltímetros y dinamómetros de transmisión y absorción (140, p. 80). William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) y John Perry inventan un amperímetro (140, p. 80). Emile Baudot (1845-1903; Francia) instala líneas telegráficas desde París, Francia hasta las siguientes ciudades: Viena, Austria; Berna, Suiza; Berlín, Alemania; y Londres, Inglaterra (140, p. 128).
1885	René-Prospér Blondlot (1849-1930; Francia) y Ernest Adolphe Bichat (1845-1905; Francia) publican <i>Introduction à l'étude de l'électricité statique</i> (<i>Introducción al estudio de la electricidad estática</i>). Con la ayuda de un espejo móvil, Blondlot establece que en la descarga oscilatoria de un condensador el

(continúa 1885)

tiempo de respuesta entre el fenómeno eléctrico y la aparición del *efecto Kerr* (véase 1875), es menor a 1/40,000 s. **Blondlot** y **Bichat** miden el mismo tiempo de respuesta para la polarización magnética en rotación ([34], vol. II, p. 203).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y **F. K. Hans Geitel** (1855-1923; Alemania) publican "Observations on the Electrical Processes in Thunder Clouds" ("Observaciones sobre los procesos eléctricos en las nubes de tormenta")⁽¹⁷¹⁾, en el cual describen sus estudios sobre los procesos eléctricos en las tormentas, el desarrollo de la electricidad en la lluvia, la disposición de la electricidad en la atmósfera y su dependencia con el campo eléctrico terrestre, además de las mediciones de dicho campo ([34], vol. IV, p. 355).

Luigi Palmieri (1807-1896; Italia) publica *Les lois et critiques de l'électricité atmosphérique* (*Las leyes y críticas de la electricidad atmosférica*) ([40], p. 1303).

Josiah Willard Gibbs (1839-1903; Estados Unidos) imparte ya cursos sobre la teoría electromagnética de **Maxwell**, en la Universidad de Yale, Estados Unidos ([34], vol. V, pp. 390-391).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die elektromagnetische Rotation einer Flüssigkeit"⁽¹⁷²⁾ ("Sobre la rotación electromagnética en los líquidos") ([34], vol. XI, p. 447).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) publica un trabajo sobre su estudio del año anterior de la teoría electrodinámica de **Maxwell** ([34], vol. VI, p. 342).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), en "Report on Electrical Theories" ("Informe sobre las teorías eléctricas")⁽¹⁷³⁾, puntualiza algunos pasajes oscuros en la formulación de **Maxwell** y discute otros sistemas alternativos. Reemplaza el término «desplazamiento dieléctrico» por el de «polarización» ([34], vol. XIII, p. 364).

Gottlieb Adler (1860-1893; Bohemia) publica *Über die Energie und den Zwangszustand im elektrostatischen Felde* (*Sobre la energía y el estado forzado en un campo eléctrico*) ([40], p. 15).

Durante su investigación sobre bajas temperaturas, **Zygmunt Florenty von Wróblewski** (1845-1888; Lituania-Polonia) encuentra que la conductividad eléctrica del cobre presenta «propiedades extremadamente notables» a tales temperaturas. Llama la atención de la comunidad científica sobre la gran importancia de este fenómeno y específicamente sobre el gran incremento en la conductividad. Publica "Ueber den electrischen Widerstand des Kupfers bei den höchsten Kältegraden"⁽¹⁷⁴⁾ ("Sobre el estado eléctrico del cobre a temperaturas frías máximas"). Sin embargo, **Wróblewski** no podría continuar esta línea de

¹⁷¹) *Philosophical Magazine*, 20.

¹⁷²) *Annalen der Physik und Chemie*, 25, pp. 496-511.

¹⁷³) *Reports of the British Association for the Advancement of Science*.

¹⁷⁴) *Annalen der Physik und Chemie*, 26, pp. 27-31.

(continúa 1885)

investigación tan prometedora, cuando, en 1888, sufriría quemaduras fatales por la explosión de una lámpara de queroseno⁽¹⁷⁵⁾ (*J34*, vol. XIV, p. 523).

Carl Barus (1856-1935; Estados Unidos) publica *The Electrical and Magnetical Properties of the Iron Carbures* (*Las propiedades eléctricas y magnéticas de los carburatos del hierro*) (*J40*, p. 122).

Ernest Adolphe Bichat (1845-1905; Francia) escribe sobre las diferencias de potencial entre los líquidos y los fenómenos actinoeléctricos (*J40*, p. 172).

Johann Jakob Balmer (1825-1898; Suiza) detecta que en el espectro del hidrógeno incandescente existe una serie de líneas cada vez más cercanas, con longitudes de onda más pequeñas. Enuncia una fórmula empírica para determinar estas longitudes de onda. Describe sus resultados en "Notiz über die Spektrallinien des Wasserstoffs"⁽¹⁷⁶⁾. En un principio, Balmer sólo tiene conocimiento de los valores descritos por A. J. Ångström para las cuatro primeras líneas visibles del hidrógeno; con su fórmula, obtiene el valor de la quinta línea. Su amigo Hagen-Bischoff le informa que esta línea ya ha sido observada y que se han medido otras líneas más. La comparación entre los valores teóricos y los experimentales muestra que con las constantes ligeramente diferentes, representan la serie completa. Balmer especula que se pueden generar los valores de otras series del hidrógeno en las regiones ultravioleta e infrarroja, si cambia el valor de una de sus constantes⁽¹⁷⁷⁾ (*J34*, vol. I, p. 425).

William Henry Preece (1834-1913; Gales), en un artículo leído ante la *Royal Society of London* denomina *efecto Edison*, al fenómeno de ennegrecimiento de las lámparas incandescentes, observado por Hammer en 1881 y que hasta ahora se le ha conocido como la sombra de Hammer (*J25*, p. 152).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra), en una carta dirigida al editor de *Engineer*, propone el establecimiento de un conjunto de símbolos, que se recuerden fácilmente, empleando las iniciales de *volt*, *ampere*, *ohm*, etc (*J34*, vol. III, p. 288).

Charles Schenck Bradley (1853-1929; Estados Unidos) recibe la patente británica (no. 8,076) por la resistencia de tipo de composición de barra moldeada (*moulded-rod composition-type resistor*), consistente en una mezcla de carbón y caucho calentada, moldeada y vulcanizada (*J52*, p. 60).

M. Slattery (Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 354,275) por una resistencia de composición moldeada (*J52*, p. 60).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) publica su artículo *Máquinas dinamoeléctricas* (*Dynamo Electric Machines*) en el que compara la curva característica teórica de un dinamo de forma dada, obtenida a partir de las leyes ordinarias del electromagnetismo y las propiedades conocidas del hierro, con la

¹⁷⁵⁾ La existencia de la superconductividad sería demostrada en 1911 por Kamerlingh-Onnes.

¹⁷⁶⁾ *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 7 y *Annalen der Physik*, 3ª ser., 25.

¹⁷⁷⁾ T. Lyman, L. C. H. F. Paschen, Brackett y Pfund encontrarían experimentalmente estas series. Además, en 1913, N. Bohr encontraría que la fórmula de Balmer se ajusta a, y apoya, su teoría de los estados energéticos discretos dentro del átomo de hidrógeno (*J34*, vol. I, p. 844).

(continúa 1885)

obtenida experimentalmente en cuidadosas pruebas realizadas en la compañía *Mather and Platt, Ltd.* ([18], p. 117).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) y **Edwin James Houston** (1847-1914) producen un dinamo de bobina abierta para lámparas de arco eléctrico. El sistema del campo consta de dos bobinas de gran diámetro, con ejes horizontales comunes que rodean a núcleos tubulares de hierro colado, con polos en forma de copa, uno frente a otro, formando un espacio esférico. La armadura, en forma de bola, se acomoda en la abertura. El núcleo está devanado con alambre de hierro barnizado, para mejorar sus propiedades magnéticas. Los conductores tienen la forma de tres bobinas espaciadas una de la otra un ángulo de 60°, unidas en uno de sus extremos y conectadas a un conmutador de tres terminales en el otro. La máquina está diseñada para entregar una corriente constante de 10 A, regulando el voltaje según el número de lámparas de arco conectadas a ella, mediante un ingenioso regulador en el que un imán operado por un relé hace girar el sistema de escobetas. Las bobinas de campo están conectadas en serie y un chorro de aire extingue la chispa en las escobetas cuando éstas rompen el contacto ([18], p. 119).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) desarrolla un dinamo de corriente directa para las lámparas incandescentes ([62], p. 129).

Richard H. Mather recibe la patente estadounidense (no. 321,990) por un sistema de polos conmutantes para generadores de campo de corriente directa. Los polos resultan muy efectivos para reducir las chispas en los conmutadores de los generadores ([25], p. 154).

Se exhiben gran cantidad de dinamos, incluyendo tres que tienen salidas de alrededor de 100 kW ([18], p. 113).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) diseña un devanado secundario aterrizado para evitar los problemas de la rotura del aislamiento de los transformadores de alto voltaje ([62], p. 129).

Galileo Ferraris (1847-1897; Italia) descubre el principio del campo magnético rotatorio (véase Tesla, 1882), lo cual llevaría al desarrollo de los motores polifásicos y de la industria hidroeléctrica en Italia ([40], p. 559).

Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos-Inglaterra) inventa un nuevo motor eléctrico para tranvías ([40], p. 1541).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos), con respaldo de la *Edison Electric Light Company* y utilizando su motor eléctrico de velocidad constante, es el primero en involucrarse en la manufactura general e introducción de motores eléctricos industriales ([40], p. 1589; [62], p. 129).

El 18 de febrero, **Max Deri** (Hungría) solicita en Alemania una patente, con título (traducido) "Mejoras en la distribución de electricidad", por el uso de un transformador en un sistema de distribución de energía eléctrica. Poco después, en este mismo año, recibe la patente alemana (no. 33,951) ([52], p. 60).

(continúa 1885)

El 27 de abril, Carl Zipernowski (Hungría), Max Deri (Hungría) y Otto Titu Blathy (Hungría) solicitan, en Inglaterra, una patente titulada "Improvements in Induction Apparatus for transforming Electric Currents" ("Mejoras en los aparatos de inducción para transformar corrientes eléctricas"). Poco tiempo después, en este mismo año, reciben la primera patente en el mundo (no. 5,201) que cubre la construcción de un transformador ([52], p. 59).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930; Inglaterra) perfecciona el transformador ([40], pp. 430-431).

Carl Ernst Bessel Hagen (1851-1923; Alemania) publica *Die elektrische Beleuchtung mit besonderer Berücksichtigung der in den Vereinigten Staaten verwandten Systeme* (La iluminación eléctrica con consideraciones particulares sobre el estado agregado de sistemas afines) ([40], p. 731).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) funda la *Tesla Electric Light Company*; sin embargo, no tiene éxito ([62], p. 131).

Sidney Howe Short (1858-1902, Estados Unidos-Inglaterra) entra a trabajar a la *U.S. Electric Company*. Perfecciona la iluminación por arco eléctrico ([40], p. 1541).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) adopta su sistema de protección contra sobretensiones de soplador magnético de 1883 para la iluminación por arco eléctrico ([62], p. 129).

George John Murdock (1858-1942; Estados Unidos) tiene desarrollado ya un sistema completo de iluminación eléctrica, que incluye un dinamo, lámparas de arco y un regulador para éstas ([40], p. 1228).

George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos) compra las patentes de Gaulard y de J. D. Gibbs, de 1881, que cubren un de los sistemas más exitosos de distribución de corriente alterna de alto voltaje. Westinghouse y William Stanley (1858-1916; Estados Unidos) perfeccionan un transformador para redes eléctricas basado en dichas patentes y desarrollan un generador de potencial constante de corriente alterna ([3], vol. 12, p. 605 y vol. 18, p. 494; [11], p. 384; [40], p. 1784).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) y Arthur West Heaviside, realizan una comunicación telegráfica, por medios inductivos, a una distancia de unos 1,000 m ([25], p. 154).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) trabaja sobre un método de comunicación entre trenes en movimiento, utilizando la telegrafía por inducción¹⁷⁸⁾ ([25], p. 154).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) descubre la posibilidad de recepción, en los teléfonos, de señales inductivas que son transmitidas a través de una línea telegráfica que corre en un cierto intervalo ([40], p. 1372).

¹⁷⁸⁾ Método que se pondría en práctica dos años después

(continúa 1885)

Paul Gottlieb Nipkow (1860-1940; Alemania) recibe la patente alemana (no. 30,105) por su sistema de televisión de 1884; sin embargo, nunca intentaría explotarlo comercialmente ([25], p. 153).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) recibe la patente por un sistema de circuitos eléctricos aéreos y lo pone en operación en South Bend, Indiana, Estados Unidos ([40], p. 1708).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 321,464) por pararrayos de soplador magnético (*magnetic blow out lightning arrester*) para las líneas de potencia ([25], p. 154).

Alfred Cowles y Eugene Cowles construyen el primer horno industrial de arco eléctrico, en el que emplean un dinamo **Brush** ([62], p. 128).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) inventa un taladro eléctrico. Entre en operación a empresa *Thomson-Van Depoele Electric Mining Company*, de Chicago, Illinois, Estados Unidos, subsidiaria de la empresa *Thomson-Houston Electric Company* ([62], p. 129).

1885-86 Se adopta el sistema de circuitos aéreos de Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos), en las ciudades de Minneapolis, Minesota, y Montgomery, Alabama, Estados Unidos ([40], p. 1708).

1885-87 Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) publica una serie de artículos¹⁷⁹⁾, en los cuales describe sus ideas sobre la transmisión por cable a larga distancia, empleando bobinas inductivas adicionales, colocadas a intervalos regulares, ideas que se oponen a las concepciones oficiales (sostenidas por Preece y Kempe), en el sentido de que los efectos de la inductancia en cables largos deben atenuarse, mientras que la teoría de Heaviside predice que se deben mejorar los resultados (véase Pupin, 1899) ([34], vol. 17, pp. 211-212).

La *Société Française de Physique* edita "Mémoires sur l'électrodynamique" ("Memorias sobre la electrodinámica") de Fresnel ([34], vol. 1, p. 171).

1885-89 Josiah Willard Gibbs (1839-1903; Estados Unidos) publica una serie de artículos¹⁸⁰⁾ sobre la doble refracción y la dispersión, es decir, sobre el comportamiento de la luz al pasar por un medio material. Enfatiza que una teoría de la dispersión requiere se traten las irregularidades locales del desplazamiento eléctrico debido a la constitución atómica del medio. Dado que escribe antes de que aparezca la teoría electrónica de H. A. Lorentz, Gibbs tiene que hacer suposiciones de diferente naturaleza a las de las teorías posteriores y no logra tomar en cuenta la contribución esencial de la estructura atómica al medio -la frecuencia depende de la constante dieléctrica. En los dos últimos artículos de la serie (los de 1888 y 1889) Gibbs aparece como defensor de la teoría electromagnética de la luz, en contra de las más recientes versiones de teorías puramente mecanicistas. Estas se basan en éteres elásticos especiales (todavía propuestas, por ejemplo, por W. Thomson). Gibbs muestra que a pesar de que estas teorías logran explicar el fenómeno, necesitan de suposiciones artificiales

¹⁷⁹⁾ *The Electrician*.

¹⁸⁰⁾ *American Journal of Science*.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1888-89)	respecto a las fuerzas internas, mientras que la teoría de Maxwell «no está obligada a inventar hipótesis.» (véase 1889) ([34], vol. V, p. 391).
1885-90	Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos) perfecciona la iluminación por arco eléctrico y desarrolla un nuevo motor eléctrico para los coches ([40], p. 1541).
DEPRESIÓN (1886-1897)	
ca 1886	Ludwig Valentin Lorentz (1829-1891; Dinamarca), en un artículo no publicado, desarrolla una teoría completa de las corrientes en los cables telefónicos, mostrando que la atenuación de la corriente se puede reducir al aumentar la inductancia por unidad de longitud; por lo que propone el uso de cables recubiertos de hierro dulce ⁽¹⁸¹⁾ ([34], vol. VIII, p. 502).
1886	Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos), pionero en la electrificación de los ferrocarriles, desarrolla un control piloto para motores eléctricos industriales y de otro tipo ([40], p. 1589).
1886	Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die Pyroelektricität des Turmalins" ⁽¹⁸²⁾ ("Sobre la piroelectricidad de la turmalina") ([34], vol. XI, p. 447).
	John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) y Edward Hopkinson (Inglaterra) diseñan reglas prácticas para predecir teóricamente el desempeño de los circuitos magnéticos ([62], p. 126).
	Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) introduce el cálculo operacional semiempirico para resolver las ecuaciones de las líneas de transmisión y de otros circuitos eléctricos excitados por corrientes o voltajes discontinuos, sentando las bases para extender los resultados de Kirchhoff a circuitos compuestos por resistencias, inductores y capacitores ([10], p. 29). Desarrolla su propia notación vectorial, similar a la propuesta por J. W. Gibbs ([34], vol. VI, pp. 211-212).
	Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) es el primero en formular la ecuación del telegrafista para el voltaje, en función de la distancia, el tiempo y la resistencia ([34], vol. VI, pp. 211-212).
	Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) introduce el concepto de impedancia —con el que generaliza la ley de Ohm —; el de inductancia y el de dispersancia ⁽¹⁸³⁾ ([10], p. 29; [34], vol. VI, pp. 211-212).
	Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia el diamagnetismo ([34], vol. IX, p. 155).

⁽¹⁸¹⁾ Idea propuesta independientemente por Heaviside y utilizada posteriormente por C. Krarup. A esta técnica se le llegaría a conocer como *carga continua*.

⁽¹⁸²⁾ *Annalen der Physik*, 28, pp. 43-80.

⁽¹⁸³⁾ Que hoy se conoce como *conductancia*.

(continúa 1886)

Stelford Bidwell (1848-1909, Inglaterra) descubre que los cuerpos cambian de tamaño cuando son magnetizados. A este fenómeno se le conoce como *magnetostricción* y causa un zumbido en los dispositivos de corriente alterna (véase Joule, 1847) ([25], p. 155).

Francis Eugene Nipher (1847-1927, Estados Unidos) publica *Theory of Magnetic Measurements* ([40], p. 1239).

Émil Leonard Mathieu (1835-1890, Francia) publica *Théorie du potentiel et ses applications à l'électrostatique et du magnétisme* (Teoría del potencial y sus aplicaciones a la electrostática y al magnetismo), en el cual aplica su teoría de dos potenciales a los dieléctricos y a la inducción magnética ([34], vol. IX, p. 174).

Hermann von Helmholtz (1821-1894, Alemania), basándose en la ecuación de Gibbs-Helmholtz de 1882, intenta derivar la mecánica, la termodinámica y la electrodinámica a partir del principio de mínima acción de Hamilton. Aunque este problema lo inquietaría por el resto de su vida, nunca lograría llegar a resultados satisfactorios. Dichos estudios influyen, no obstante, de manera importante en su alumno Hertz ([34], vol. VI, p. 245).

Pierre Duhem (1861-1916, Francia) publica *Le potentiel thermodynamique et ses applications à la mécanique chimique et à la théorie des phénomènes électriques* (El potencial termodinámico y sus aplicaciones a la mecánica química y a la teoría de los fenómenos eléctricos). Prefiere las ideas electromagnéticas de Helmholtz a las de Maxwell ([40], p. 490).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894, Alemania), poco después de llegar a Karlsruhe, Alemania, se da cuenta de que las bobinas de inducción de Riess o de Knochenhauer, que utiliza en sus clases, sirven para tomar una decisión experimental sobre las suposiciones críticas de la teoría de Maxwell (proposición que Helmholtz le hiciera en 1879, para ganar el premio de la Academia de Ciencias de Berlín) ([34], vol. VI, p. 344). Hertz comienza a experimentar la influencia que los dieléctricos, tales como la médula o la parafina, tienen sobre la comunicación inductiva entre circuitos primarios oscilatorios y detectores ([34], vol. VI, pp. 344-345), utilizando dos bobinas localizadas muy cerca una de otra y una botella de Leyden ([16], p. 62).

El tema del discurso inaugural de David Edward Hughes (1831-1900, Inglaterra), como presidente de la *Society of Telegraph Engineers and Electricians*, es "La autoinducción de una corriente eléctrica en relación con la naturaleza y forma de su conductor". Es el primero en poner énfasis en las consideraciones teóricas que gobiernan la transmisión de una corriente fluctuante a través de una línea larga ([18], p. 244).

William Crookes (1832-1919, Inglaterra) propone una teoría sobre el surgimiento de los elementos químicos, con sus propiedades periódicas, basada en la acción de un péndulo cósmico imaginario, balanceándose debido a dos fuerzas, la de la electricidad y la del calor (pérdida de temperatura con el tiempo). En el momento de su creación, a los elementos se les dio cierta cantidad definida de electricidad, la cual determina la valencia del elemento y, por ende, sus propiedades químicas ([34], vol. III, pp. 478-479).

(continúa 1886)

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra), impresionado por el trabajo de Arrhenius de 1884, sobre la disociación electrolítica, escribe un resumen y un análisis crítico¹⁸⁴⁾ (*J34*, vol. I, p. 297).

Eugen Goldstein (1850-1930; Sillesia) descubre los rayos de canal o rayos positivos (*Kanalstrahlen*), los cuales emergen de canales o agujeros en el ánodo de los tubos de descarga a baja presión. Describe sus resultados en "Über eine noch nicht untersuchte Strahlungsform an der Kathode inducirter Entladungen" ("Sobre una radiación todavía no explorada del cátodo secundario de descarga")¹⁸⁵⁾ (*J34*, vol. V, p. 458).

Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) sugiere un nuevo sistema de unidades electromagnéticas, similar al sistema MKS, basado en una proposición de Giorgi (*J34*, vol. VI, pp. 211-212).

En Estados Unidos, Charles Martin Hall (1863-1914; Estados Unidos) patenta un proceso electrolítico para fabricar aluminio, al mismo tiempo que Héroult lo hace en Francia (véase C. M. Hall, 1893) (*J40*, p. 737).

Paul Louis Toussaint Héroult (1863-1914; Francia), independientemente de C. M. Hall, inventa un proceso para producir aluminio mediante la electrólisis de este material en criolita (*J40*, p. 789).

J. E. H. Gordon, de la *Telegraph Construction and Maintenance Company*, diseña e instala tres alternadores para el proyecto Paddington de la empresa *Great Western Railway*, que abastece 4,100 lámparas incandescentes y 100 lámparas de arco, cubriendo una área de 28 hectáreas. Instala tres generadores (*Brobdignaglan*) impulsados directamente por motores de vapor verticales. Los generadores pesan 45 toneladas cada uno, y están colocados verticalmente sobre plataformas de 5 m de largo. Los alternadores tienen discos giratorios de 3 m de diámetro, cada uno de los cuales porta 28 electroimanes horizontales, con núcleos cilíndricos de 15 cm de diámetro y 1 m de largo. Sobre cada lado del anillo giratorio central hay dos anillos fijos que transportan 56 bobinas horizontales de armadura. Esas bobinas, conectadas a dos circuitos separados, constituyen virtualmente un arreglo de dos fases, aunque los dos circuitos permanecen separados y sirven a dos diferentes circuitos de lámparas. Las máquinas entregan un voltaje de 150 V a una frecuencia de 68 cps. La instalación se mantendría en operación hasta 1907 (*J18*, p. 161).

Innmisch diseña un motor para tracción, con imanes de campo horizontales dobles y una armadura de Gramme (véase 1870) alargada. Tiene un conmutador peculiar, con dos secciones lado a lado en las que los segmentos se balancean para hacer corto circuito en las bobinas durante su paso a través de la posición neutral, en un intento por reducir la distorsión del campo magnético y el consecuente chisporroteo (*J18*, p. 183).

Charles Gordon Curtiss (1860-1953; Estados Unidos), Francis B. Crocker y Schuyler Skaats Wheeler (1860-1923; Estados Unidos) fundan la *C. & C. Electric Motor Company* (también conocida como la *Curtiss, Crocker, Wheeler Company*). Sus primeros motores son empleados en máquinas de coser, algunos

184) *Reports of the British Association for the Advancement of Science* (1886).

185) *Sitzungsberichte der Königlich Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 39.

(continúa 1886)

son diseñados para operarse con una batería de 6 V y otros con baterías de 100 V (*[40]*, p. 397; *[51]*, p. 253).

Galileo Ferraris (1847-1897; Italia) diseña transformadores de corriente alterna (*[40]*, p. 559).

William Stanley (1858-1916; Estados Unidos), trabajando para Westinghouse, dirige el proyecto del primer sistema de iluminación eléctrica por corriente alterna de una ciudad (Great Barrington, Massachusetts, Estados Unidos). Demuestra la practicabilidad de este tipo de corrientes al transmitir potencia eléctrica a través de una distancia de 1,200 m utilizando un transformador (dispositivo para cambiar el voltaje de una corriente alterna de un valor a otro) para incrementar el voltaje de la fuente a 3,000 V y otro en el extremo receptor para reducir la salida a 500 V (*[3]*, vol. 18, p. 494; *[33]*, vol. 18, p. 494).

Arthur Williams Wright (1836; 1915; Estados Unidos) diseña y construye un amperímetro de hierro móvil y un medidor del consumo de energía eléctrica por los usuarios (*[18]*, p. 310).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) desarrolla y patenta un sistema de iluminación por arco eléctrico (*[40]*, p. 1659).

La empresa *Norwich Wire Company*, Estados Unidos, fabrica cables para conducción de electricidad, en los que el dieléctrico es recubierto con tiras de papel en espiral, impregnadas con aceite aislante y protegidas con una envoltura de plomo (*[18]*, p. 257).

Se han instalado ya seis líneas de circuitos eléctricos aéreos en Estados Unidos y Canadá (véase Van Depoele, 1885) (*[40]*, p. 1708).

Rookes Evelyn Bell Crompton (1845-1940; Inglaterra) convence a propietarios y residentes de Kensington High Street, Londres, Inglaterra, sobre la conveniencia de implantar un sistema común de suministro de electricidad para el alumbrado. Se forma así la *Kensington Court Electric Light Company*. Instala los cables que parten de la planta de energía a través de un sistema de ductos subterráneos, contruidos originalmente para conducir agua. Genera la energía eléctrica con una máquina Willans de alta velocidad y de válvula central, acoplada a un dinamo Crompton de 35 kW que opera a 500 rpm. Cuatro años después, la planta, situada en Kensington Court, incrementaría su capacidad a 550 kW, empleando cuatro sistemas Willans, tres de 100 kW cada uno a 200/240 V sobre un sistema de tres cables, y una batería de 100 V y 600 A, para ayudar durante la carga pico y reemplazar a los dinamos completamente después de las once de la noche (véase 1883) (*[18]*, p. 148).

Se empiezan a construir instalaciones hidroeléctricas en las Cataratas del Niágara, Estados Unidos (*[1]*).

John J. Carty (1861-1932; Estados Unidos) inventa el circuito fantasma, el cual permite que tres conversaciones telefónicas tengan lugar en sólo dos pares de alambres (*[25]*, p. 153).

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1886)

Finalmente se le otorga a Amos Emerson **Dolhear** (1837-1910; Estados Unidos) la patente por su sistema de comunicación inalámbrica por inducción, de 1882 (*[25]*, p. 150).

Frank Julian **Sprague** (1857-1934; Estados Unidos) inventa el primer motor de corriente directa a 220 V para un elevador de carga eléctrico (*[62]*, p. 129).

Schuyler Skaats **Wheeler** (1860-1923; Estados Unidos) inventa el ventilador eléctrico de zumbido (*[40]*, p. 1786).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) obtiene la patente estadounidense (no. 347,140) para un sistema de soldadura de resistencia eléctrica (máquina y transformador), lo cual hace que este tipo de procesos llegue a ser de uso general. El sistema es diferente al resto de los demás porque no se requiere el uso de ningún arco eléctrico, excepto el que surge cuando se juntan las dos piezas de metal. El calor generado se debe a la resistencia de la juntura de los dos metales y a la corriente tan alta que circula entre ellos; sin embargo, el voltaje generado es de una cuantos volts (*[11]*, p. 385; *[25]*, p. 156; *[62]*, p. 129).

Charles Joseph Van **Depoele** (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) experimenta con refrigeración eléctrica (*[40]*, p. 1708).

George **Westinghouse** (1846-1914; Estados Unidos) funda la *Westinghouse Electric Company*, para manufacturar y poner en el mercado sistemas eléctricos de corriente alterna (véase 1885) (*[3]*, vol. 12, pp. 605 y 606).

Thomas Alva **Edison** (1847-1931; Estados Unidos) fusiona sus compañías *Edison Machine Works* y *Edison Electric Tube Company* (fundadas en 1881), y *Edison Shafting Company* (1884) para formar la *United Edison Company* (*[62]*, p. 120).

Galileo **Ferraris** (1847-1897; Italia) funda la primera escuela de ingeniería eléctrica de Italia (*[40]*, p. 559).

Se funda el *American Institute of Electrical Engineers*, en Estados Unidos (*[25]*, p. 155).

1886-87

Hiram Percy **Maxim** (1869-1936; Estados Unidos) trabaja como ingeniero eléctrico en *Ft. Wayne Jenney Electric Company*, en Indiana, Estados Unidos (*[40]*, p. 1133).

1886-88

Antoine-Henri **Becquerel** (1852-1908; Francia) estudia la absorción de luz en cristales, particularmente su dependencia de la polarización plana de la luz incidente y la dirección de su propagación a través del cristal (véanse 1875 y 1883) (*[34]*).

1886-90

La empresa *Westinghouse Electric Company*, de George **Westinghouse** (1846-1914; Estados Unidos), construye 300 estaciones centrales de potencia eléctrica que abastecen a un estimado de 500,000 lámparas incandescentes (de 16 candelas) (*[62]*, p. 131).

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

1886-1904 William Henry Bragg (1862-1942; Inglaterra) publica 3 artículos menores sobre la electrostática y la energía del campo electromagnético ([34], vol. II, p. 397).

ca. 1887 Carl Gassner construye la primera pila seca verdaderamente práctica, lo cual daría lugar al desarrollo de la manufactura de estas pilas a escala comercial. La pila usa una pasta electrolítica hecha con óxido de cinc, sal, amoníaco y agua. El electrodo negativo de cinc sirve como recipiente de la pila. El electrodo positivo es una varilla de carbón localizada en el centro del recipiente. La pila está sellada con una plastita (*paris top*) ([25], p. 156).

1887 William Edward Ayrton (1847-1908; Inglaterra) publica *Practical Electricity* (*Electricidad práctica*) ([40], p. 80).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia los métodos para determinar la posición de los polos de un imán ([34], vol. IX, p. 155).

Hantaro Nagaoka (1865-1950; Japón) comienza a realizar una investigación experimental, que duraría hasta 1893, en el área de la magnetostricción, bajo la dirección del físico inglés C. G. Knott (véase ca. 1885), en la Universidad de Tokio, Japón ([34], vol. IX, p. 606).

Ludwig Christian Friedrich Holborn (1860-1926; Alemania) recibe su doctorado con una disertación sobre la variación diaria promedio de la declinación magnética y la intensidad magnética horizontal ([34], vol. VI, p. 470).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica *The Electromagnet and Electromagnetic Mechanisms* (*El electroimán y los mecanismo electromagnéticos*) ([34], vol. XIII, p. 357).

Paul Karl Ludwig Drude (1863-1906; Alemania) se interesa, a raíz de los experimentos de Hertz relacionados con las ondas electromagnéticas, en el trabajo de Maxwell sobre la teoría electrodinámica ([34], vol. IV, p. 190).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) tiene conocimiento del intento de Helmholtz, de 1871, de medir la velocidad de propagación de los efectos electromagnéticos transitorios en el aire; sin embargo no conoce las discusiones teóricas de FitzGerald sobre la posibilidad de producir ondas eléctricas no transitorias en el éter, ni los intentos de Lodge de detectar las ondas electromagnéticas en los alambres. Probablemente tampoco las observaciones de Edison, G. P. Thomson y Hughes sobre la propagación de la acción electromagnética a distancia¹⁸⁶⁾.

En el salón de conferencias de Karlsruhe, Alemania, Hertz logra producir ondas electromagnéticas utilizando un oscilador (circuito abierto conectado a una bobina de inducción) y las detecta con un resonador (alambre metálico doblado en curva casi cerrada, con los extremos ligeramente separados)¹⁸⁷⁾. Ambos dispositivos son de su invención. Cuando el salón se encuentra en oscuridad,

¹⁸⁶⁾ En cualquiera de estos casos, tales observaciones se interpretaron, generalmente, como efectos ordinarios de inducción y, por lo tanto, carecían de importancia. Por ejemplo, véase Hughes, 1880.

¹⁸⁷⁾ Este oscilador produce voltajes muy altos entre dos esferas metálicas muy próximas, a cada una de las cuales conecta un conductor metálico de gran área. De esta manera se consigue poner una capacitancia relativamente elevada en paralelo con las esferas y con el enrollado secundario de la bobina de inducción.

(continúa 1887)

logra observar que entre estos extremos salta una chispa eléctrica débil. Las chispas del resonador se producen aun cuando éste se encuentre a algunos metros de distancia. El resonador resulta más sensible mientras mejor sintonizado esté, es decir, cuando las dimensiones del resonador son tales que se produce la respuesta a la frecuencia de las ondas emitidas.

Moviendo el resonador a diferentes partes del salón, **Hertz** mide la longitud de las ondas y, con la frecuencia calculada del oscilador, obtiene la velocidad de las ondas, la cual resulta ser igual a la velocidad de la luz. **Hertz** interpreta este resultado como la primera demostración de la propagación finita de una acción supuestamente a distancia. Publica "Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen"⁽¹⁸⁸⁾ ("Sobre oscilaciones eléctricas muy rápidas") (52), p. 60).

Hertz muestra que la naturaleza de su vibración y de su susceptibilidad a la reflexión, a la refracción y a la polarización son iguales a las de la luz y a las de las ondas de calor. Como resultado establece, sin lugar a dudas, que la luz y el calor son radiaciones electromagnéticas⁽¹⁸⁹⁾ (3), vol. 5, p. 892; (6), p. 108-109; (10), pp. 15 y 59; (25), p. 157; (34), vol. VI, p. 345; (52), p. 47 y 60).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) escribe *Princip der Erhaltung der Energie* (El principio de conservación de la energía), trabajo que incluye 91 páginas de introducción histórica del tema (34), vol. XI, p. 8).

Albert Abraham Michelson (1852-1931; Prusia-Estados Unidos) y **Edward Williams Morley** (1838-1923; Estados Unidos) descubren que la velocidad de la luz medida por un observador en movimiento respecto al éter, no se ve afectada por la dirección del movimiento (3), vol. 18, pp. 202-204).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) y **Hugh Frank Newall** (1857-1944; Inglaterra) publican "On the Rate at Which Electricity leaks Through Liquids Which Are Bad Conductors of Electricity" ("Sobre la tasa a la cual la electricidad se fuga en los líquidos que son malos conductores de ella"), en donde estudian con mayor profundidad la analogía de la descarga eléctrica y la electrólisis debida a la ruptura dieléctrica en líquidos que son malos conductores (34), vol. XIII, p. 365).

Svante August Arrhenius (1859-1927; Suecia), a partir de sus investigaciones de los últimos tres años, del trabajo de **Van't Hoff** (véase arriba) y de las investigaciones de **Hittorf** de 1853-59 sobre la migración de los iones durante la electrólisis, enuncia su teoría de la disociación electrolítica, en la publicación titulada "Ueber die Dissociation der im Wasser gelösten Stoffe"⁽¹⁹⁰⁾ (34), vol. I, p. 297).

Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911; Países Bajos) publica "Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen" ("El papel de la presión osmótica en la analogía entre las soluciones y los gases")⁽¹⁹¹⁾ (34), vol. XIII, p. 580).

Svante August Arrhenius (1859-1927; Suecia) conoce a **Nernst**, en el laboratorio de **R. Kohlrausch**. **Arrhenius** realiza una investigación de la acción

⁽¹⁸⁸⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, n.º 31 (15 de mayo), pp. 421-448.

⁽¹⁸⁹⁾ El hecho de que los cuerpos conductores reflejen estas ondas sugirió la idea del radar.

⁽¹⁹⁰⁾ *Zeitschrift für physikalische Chemie*, I.

⁽¹⁹¹⁾ *Zeitschrift für physikalische Chemie*, I, p. 481-508.

(continúa 1887)

de la luz sobre la conductividad electrolítica de las sales de plata de los halógenos ([34], vol. I, p. 297).

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) descubre el efecto fotoemisor de la luz ultravioleta sobre los electrodos metálicos. Desde sus primeros experimentos observa que la chispa del circuito detector es más intensa cuando se expone a la luz de la chispa del circuito primario. Realiza diferentes experimentos interponiendo más de 60 sustancias entre las chispas primaria y secundaria, y llega a la conclusión de que la luz ultravioleta es la responsable de este fenómeno. Está convencido de que tiene un profundo significado teórico para la conexión entre la luz y la electricidad, aun cuando este significado le resulte muy oscuro. Sin embargo, **Hertz** no continúa investigándolo, ya que de hacerlo se desviaría de su propósito original, es decir, el examen crítico de las suposiciones físicas de la teoría de **Maxwell** ([3], vol. 5, p. 892; [6], p. 108-109; [10], pp. 15 y 59; [25], p. 157; [34], vol. VI, p. 345; [52], p. 47 y 60).

Joseph John **Thomson** (1856-1940; Inglaterra) publica "On the Dissociation of Some Gases by the Electric Discharge" ("Sobre la disociación de algunos gases mediante la descarga eléctrica")⁽¹⁹²⁾, en donde investiga la descomposición de gases poliatómicos mediante descargas eléctricas ([34], vol. XIII, p. 365).

Johann Philipp Ludwig Julius **Elster** (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans **Geitel** (1855-1923; Alemania) descubren la electrificación de los gases causada por los cuerpos incandescentes y la describen en "Elektrisierung der Gase durch glühende Körper" ("Electrificación de los gases mediante cuerpos incandescentes")⁽¹⁹³⁾ ([34], vol. IV, p. 355).

W. A. **Michelson** publica la primera aplicación de la teoría estadístico-molecular a la radiación del calor ([34], vol. XI, p. 11).

Hellesen produce la primera pila seca funcional. Utiliza una varilla de carbón y llena el espacio entre la varilla y el contenedor, hecho de cinc, con una mezcla en yeso de óxido de cinc, sal de amoníaco, cloruro de cinc y agua. El óxido de cinc hace que la composición sea suelta y porosa, para facilitar el movimiento de los gases ([18], pp. 48-49).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) diseña un motor de corriente alterna basado en el fenómeno de la repulsión-inducción ([62], p. 129).

Charles Algernon **Parsons** (1854-1931; Inglaterra) construye diez turboalternadores con salidas de 32 kW para suministrar corriente eléctrica a lámparas incandescentes de Swan (véase 1878) en la exhibición de Newcastle (véase 1884) ([18], p. 198).

Sebastian Ziani **De Ferranti** (1864-1930; Inglaterra) convierte el sistema de energía eléctrica de la *Grosvenor Gallery* de Londres, Inglaterra, (véase 1883) de serie a paralelo, adoptando un diseño propio de transformadores. En su diseño

¹⁹²⁾ Ambos artículos en *Proceedings of the Royal Society of London*, 42.

¹⁹³⁾ *Annalen der Physik*, 31. Este descubrimiento resultaría importante para el desarrollo de la termiónica. Además sería pieza clave en las conclusiones a las que llegaría J. J. Thomson en 1899, en el sentido de que sus corpúsculos (electrones) son constituyentes de toda la materia.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1887)

sigue el mismo patrón general de **Gaulard** y **J. D. Gibbs** (véase 1882), pero emplea tiras de hierro en lugar de un núcleo magnético de alambres de hierro dulce. En un transformador de 15 kW toma seis rollos de aros de hierro colocados lado a lado y sobre la porción central enrolla el alambre pesado que forma el devanado de la corriente pesada de alto voltaje. El devanado de alto voltaje de alambre fino está hecho en secciones sostenidas por marcos ligeros y deslizados sobre el primer devanado. Después de una aplicación apropiada de material aislante, los extremos de los aros de hierro son doblados uno por uno para que queden traslapados. El conjunto total se fija rigidamente a un marco de hierro (*/18/*, p. 175).

Los generadores de corriente alterna llegan a ser de uso general en las aplicaciones comerciales de la distribución de corriente alterna (*/25/*, p. 157).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) inventa su voltímetro electrostático de cuadrante que, después de ser usado por algunos años como un instrumento de laboratorio, empezaría a fabricarse comercialmente como voltímetro indicador para tensiones mayores a 10,000 V (*/18/*, p. 292).

Anton Werner Ernst Gerland (1838-1910; Alemania) publica *Die Anwendung der Elektrizität bei registrierenden Apparaten* (El uso de la electricidad en aparatos registradores) (*/40/*, p. 6-46).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) y **Joseph Wilson Swan** (1828-1914; Inglaterra) producen las lámparas eléctricas *Ediswan* (*/1/*).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) recibe diversas patentes (solicitadas en 1880) para sus sistemas de transmisión de energía eléctrica a gran escala (*/62/*, p. 127).

David Brooks introduce a Estados Unidos un sistema de distribución de energía eléctrica empleando conductores aislados recubiertos con hilo de yute y cinta hessian, totalmente trenzados y metidos dentro de conductos de hierro previamente colocados bajo la tierra. Los recubrimientos de yute son impregnados en el sitio donde los tramos del conductor se meten en los conductos y, finalmente, los conductos son llenados con un aceite viscoso (*/18/*, p. 255).

Existen ya en Londres, Inglaterra, 25.6 km de cables aislados con hule, operando a 2,400 V, colgados de postes y aisladores en los tejados de la zona del West End (*/53/*).

Se funda la empresa *London Electric Supply Corporation, Ltd.*, en Londres, Inglaterra, para hacerse cargo del sistema de energía eléctrica de la *Crosvenor Gallery* (véase 1883), que hasta entonces ha operado **De Ferranti** (*/18/*, p. 160).

Se instala la primera estación de potencia eléctrica de Japón (*/25/*, p. 157).

William Joseph Hammer (1858-1934, Estados Unidos) instala la planta para el sistema de 8,000 lámparas en el *Hotel Ponce de León*, en San Augustine, Florida, Estados Unidos (*/40/*, p. 745).

(continúa 1887)

El 4 de mayo, Emile **Berliner** (1851-1929; Alemania-Estados Unidos) solicita una patente por lo que él llama *Gramófono*, para distinguirlo del fonógrafo de Edison y del grafófono de **Bell** y **Tainter** del año pasado. En la primera figura de la patente se muestra que el registro de los sonidos se hace sobre un soporte cilíndrico (véase 1888) ([52], p. 60).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) tiene como primera gran tarea en el nuevo laboratorio de West Orange, Estados Unidos, la comercialización del fonógrafo, después de que **Bell**, su primo **Chichester** y **Tainter** desarrollaron el grafófono (versión mejorada del fonógrafo el cual, en lugar de papel encerado, emplea papel de estaño) ([3], vol. 17, p. 1050).

Sylvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) investiga los fundamentos de la teoría de la transmisión telefónica ([18], p. 244).

Nathan B. Stubblefield (1859-1928; Estados Unidos) tiene en operación un sistema telefónico comercial, en el que utiliza teléfonos acústicos. El sistema es una versión mejorada del teléfono de cuerda ([25], p. 157).

J. H. Holmes (Reino Unido) inventa el interruptor de cierre y corte rápidos de mango suelto (véase 1884). El mango acciona un resorte colocando en el centro exacto (*dead centre*) mediante una acción de conmutación. Por este interruptor recibe la patente británica (no. 5,648) ([52], p. 60).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) equipa el primer tren de troleos moderno de Estados Unidos, en la ciudad de Richmond, Virginia (véase 1883) ([40], p. 1589; [62], p. 129).

La compañía *Van Depoele Electric Railway Company*, de **Charles Joseph Van Depoele** (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) ha instalado ya 12 sistemas de trenes eléctricos elevados, en 96 km de vías (véase 1883) ([62], p. 129).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) demuestra que los choques eléctricos a un voltaje alto no siempre causan la muerte, ya que generalmente se puede revivir a la persona, después de la descarga, con respiración artificial ([34], vol. 1, p. 304).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) pone en práctica su sistema de comunicación entre trenes en movimiento, pero la demanda de este servicio resulta insuficiente para continuarlo ([3], vol. 17, p. 1050).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) regala al *Massachusetts Institute of Technology*, en Massachusetts, Estados Unidos, un dinamo y 150 lámparas para la enseñanza de la ingeniería eléctrica ([3], vol. 17, p. 1050; [11], p. 385; [25], p. 157).

La *German Edison Company for Applied Electricity* cambia de nombre a *Allgemeine Elektrizität Gesellschaft* (AEG; véase 1883), la cual se encarga de

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1887)	manera importante, de la instalación del sistema eléctrico en Alemania ⁽¹⁹⁴⁾ (<i>J3</i> , vol. I, p. 115).
	Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) funda la <i>Tesla Electronic Company</i> con la ayuda de A. K. Brown, de la empresa <i>Western Union</i> , con capital inicial de 500,000 dólares. El objetivo de la empresa es el desarrollo de sistemas unifásicos, bifásicos y trifásicos, así como de dinamos, motores, transformadores y controles automáticos (<i>J62</i> , p. 131).
	Arthur Edwin Kennelly (1861-1939; India-Estados Unidos) viaja a Estados Unidos y se convierte en asistente e ingeniero consultor de Edison (<i>J34</i> , vol. VII, p. 298).
1887-88	Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) como profesor extraordinario de la Universidad de Kiel, Alemania, imparte en el semestre de invierno los cursos <i>Vorträge und Übungen aus der Electricitätslehre</i> , <i>Theoretische Optik</i> , <i>Mechanische Wärmetheorie</i> y <i>Besprechung wichtiger Literaturerscheinungen auf dem Gebiete der Wärmelehre</i> . Dichas materias, combinadas con el informe de los experimentos recientemente realizados por Hertz y la simplificación de la teoría electromagnética de Maxwell, serían incluidos en su teoría de la radiación (<i>J34</i> , vol. XI, p. 8).
	Hiram Percy Maxim (1869-1936; Estados Unidos) trabaja como ingeniero eléctrico en <i>W.S. Hill Electric Company</i> en Boston, Massachusetts, Estados Unidos (<i>J40</i> , p. 1133).
1887-90	Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) desarrolla el equipo eléctrico para los trenes de trole en las ciudades de Florencia, Italia y La Italia, Alemania (<i>J40</i> , p. 1389). Construye 110 sistemas de trolebuses (<i>J62</i> , p. 120).
	William Suddards Franklin (1863-1930; Estados Unidos) es profesor de física e ingeniería eléctrica en el <i>Iowa State College</i> , en Iowa, Estados Unidos (<i>J40</i> , p. 600).
1887-91	Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) recibe un total de 40 patentes en el campo del desarrollo de sistemas unifásicos, bifásicos y trifásicos, así como de dinamos, motores, transformadores y controles automáticos (véase 1887) (<i>J62</i> , p. 131).
1887-98	Louis Duncan (1862-1916; Estados Unidos) es profesor de electricidad aplicada en la Universidad John Hopkinson, Estados Unidos (<i>J40</i> , p. 492).
ca. 1888	Arthur Schuster (1851-1934; Alemania) muestra que los portadores de la corriente eléctrica, a través de los gases, son los iones y que una vez que el gas está disociado (ionizado) se necesita sólo un pequeño potencial para mantener la corriente. Concluye que los rayos catódicos son iones gaseosos acelerados en un campo magnético intenso cerca del cátodo. Schuster es el primero en señalar la manera de determinar el cociente entre la carga eléctrica y la masa de estos iones, mediante su desviación debida a un campo magnético (<i>J34</i> , vol. XII, p. 238; <i>J40</i> , p. 1506).

⁽¹⁹⁴⁾ Así como de los trolebuses, cerca de 1900

1888

Franz Serafin **Exner** (1849-1926; Austria) publica *Vorlesungen über Elektrizität* (*Lecciones sobre electricidad*) ([40], p. 538).

George **Forbes** (1849-1936; Inglaterra) publica *Lectures on Electricity* (*Lecciones sobre electricidad*) ([40], p. 586).

Jules-François **Joubert** (1834-1910; Francia) publica *Traité élémentaire d'électricité* (*Tratado elemental de electricidad*) ([40], p. 895).

Aparece la primera edición del libro *Electricity in the Service of Man* (*Electricidad al servicio del hombre*) como una traducción del alemán de la obra de **Urbanitzky** (véase 1896) ([16], p. 297).

En la representación de *Mefistófeles*, de **Gounod**, se utiliza el siguiente efecto eléctrico: cuando dos personajes están peleando con espadas, en el momento en que éstas se tocan, salta una chispa eléctrica ([44]).

Svante August **Arrhenius** (1859-1927; Suecia) publica "Ueber den Einfluss der Sonnenstrahlen auf die elektrischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre"⁽¹⁹⁵⁾ ("De la influencia de los rayos solares sobre los fenómenos eléctricos en la atmósfera terrestre") ([34], vol. I, p. 300).

Émil Leonard **Mathieu** (1835-1890; Francia) publica *Théorie de l'électrodynamique* (*Teoría de la electrodinámica*), en donde sugiere que una corriente que pasa por un conductor provoca un par de capas contiguas de electricidad, en lugar de una sola capa ([34], vol. IX, p. 174).

Wilhelm Conrad **Röntgen** (o **Roentgen**) (1845-1923; Alemania) demuestra en un artículo que cada vez que el campo eléctrico varía, se genera un campo magnético (véase **Rowland**, 1878). Muestra que la teoría de **Maxwell** explica tal comportamiento ([34], vol. XI, p. 530).

Oliver Joseph **Lodge** (1851-1940; Inglaterra) descubre que el resultado de las oscilaciones asociadas a la descarga de una botella de Leyden es la producción de ondas estacionarias y en movimiento, en un alambre conductor, con longitudes de onda definidas y otras características predichas por la teoría de **Maxwell**. Sin embargo, este descubrimiento se ve opacado por los resultados de **Hertz** para el espacio libre ([1], [34], vol. VIII, p. 444).

Sólo hasta este año, a Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) se le ocurre que el centro de interés de la teoría de **Maxwell** es la aseveración de la propagación finita de las ondas eléctricas ([34], vol. VI, p. 345). **Hertz** describe⁽¹⁹⁶⁾ algunos de sus experimentos y anuncia su descubrimiento de que las ondas electromagnéticas se propagan con velocidad finita, pero que en diferentes materiales viajan con velocidades diferentes. Hace pasar las ondas eléctricas a través de grandes prismas de médula dura y muestra que se refractan exactamente igual que la luz. Muestra que el ángulo de refracción de dichas ondas es muy cercano al predicho por **Maxwell** para un cuerpo con una constante dieléctrica igual a la de la médula ([25], p. 159). Logra polarizarlas al hacerlas

¹⁹⁵⁾ *Meteorologische Zeitschrift*, 5.

¹⁹⁶⁾ *Annals of Physics*.

(Continúa 1888)

pasar por una rejilla de alambre; las difracta interponiendo una pantalla con un agujero, las refleja en las paredes de la habitación, y obtiene patrones de interferencia; las enfoca con espejos cóncavos y, finalmente, produce sombras eléctricas con obstáculos conductores. Estos resultados, junto con los de la velocidad finita de las ondas, traen como consecuencia una rápida conversión de los físicos europeos, quienes abandonan el punto de vista de acción a distancia instantánea y se adhieren a la idea de Maxwell de que los procesos electromagnéticos tienen lugar en los dieléctricos y que el éter electromagnético toma las funciones del éter luminífero ([34], vol. VI, pp. 345-346).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) publica *Applications of Dynamics to Physics and Chemistry* (Aplicaciones de la dinámica a la física y a la química), en donde sugiere que la electricidad fluye en los metales de la misma manera que en los electrolitos ([34], vol. VII, p. 364).

Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (1859-1922; Alemania) prosigue los estudios de Hertz de 1887 sobre los efectos de la luz ultravioleta y descubre que cuando un cuerpo cargado negativamente es iluminado con dicha luz, éste emite partículas negativas, afectando las líneas electrostáticas de fuerza. Encuentra además que los cuerpos sin carga se electrifican positivamente. A este fenómeno se le denominaría *efecto Hallwachs*. Publica "Ueber den Einfluss des Lichtes auf electrostatisch geladene Körper"⁽¹⁹⁷⁾ y "Ueber die Electricisierung von Metallplatten durch Bestrahlung mit electrischem Licht"⁽¹⁹⁸⁾ ([24], p. 130; [25], pp. 158-159; [34], vol. VI, p. 74; [40], p. 740).

Augusto Righi (1850-1920; Italia) comienza a estudiar los efectos con luz ultravioleta, descubiertos por Hertz el año anterior. Demuestra que cuando dos electrodos se exponen a una radiación rica en rayos ultravioleta actúan como un par voltaico, fenómeno al cual denomina *efecto fotoeléctrico*. También describe la conexión en serie de pares múltiples que forman una batería eléctrica y señala que se alcanza un efecto máximo cuando se emplea silicio. Las explicaciones que da de estos fenómenos son mucho más claras que las de Hallwachs, expuestas menos de dos meses antes (véase arriba) ([34], vol. XI, p. 460).

Charles Algernon Parsons (1854-1931; Inglaterra) produce el primero de cuatro turboalternadores de 75 kW para la empresa *Newcastle and District Electric Lighting Company*. Los turboalternadores operan a 4,800 rpm generando una corriente unifásica a 1,000 V (véase 1887) ([18], p. 198).

Galileo Ferraris (1847-1897; Italia) fija dos bobinas en ángulo recto una con respecto a la otra y manda a través de ellas dos corrientes alternas desfasadas 90°. Obtiene el retardo usando una alimentación de una sola fase, haciendo pasar la corriente por un componente altamente inductivo. Con ello produce un campo giratorio ([18], p. 188).

W. M. Mordey (1856-1938; Inglaterra) produce un alternador con imán de campo giratorio. La armadura está fija a la parte interior de un marco de hierro colado que la rodea. El imán de campo consiste en una bobina central concéntrica con el eje de la máquina y tiene las extensiones del núcleo curvas sobre los extremos de la bobina, en forma de pinza. Así, nueve pares de polos

(197) *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 33
(198) *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 34

(continúa 1888)

están uno frente al otro para generar el campo longitudinal que penetra las bobinas, abrazando a la armadura fija ([18], p. 173).

Artur Krebs (1847-1935; Francia) construye un motor eléctrico multipolar para el submarino *Cygnotes* ([40], p. 968).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) obtiene la patente británica *maestra* (no. 6,481) que cubre el motor de inducción polifásico; el título de la patente es "Improvements relating to the electrical transmission of power and apparatus therefor" ("Mejoras relacionadas a la transmisión eléctrica de potencia y por tanto a los aparatos") ([52], p. 60). El 16 de mayo, Tesla dicta una conferencia sobre su sistema de corriente alterna en el *American Institute of Electrical Engineers*, en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos ([62], p. 132).

George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos) se da cuenta de la importancia fundamental del sistema de corriente alterna de Tesla (véase arriba) y le compra los derechos de sus inventos. Westinghouse contrata a Tesla para que trabaje en su empresa, la *Westinghouse Electric Company*, con el objeto de desarrollar el motor de corriente alterna para emplearse en los sistemas de potencia ([3], vol. 12, p. 605 y vol. 18, p. 494).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) firma un acuerdo sobre regalías con Westinghouse (véase arriba), bajo el cual, Tesla recibirá 2.50 dólares por cada caballo de fuerza vendido empleando su tecnología¹⁹⁹ ([62], p. 132).

Tesla recibe las patentes estadounidenses (nos. 382,279 y 382,280) para dinamos, transformadores y motores polifásicos, de corriente alterna. Con estos desarrollos comienza la *batalla de las corrientes*, es decir, la polémica por la superioridad de los sistemas basados en corriente directa o los de corriente alterna²⁰⁰ (véase 1889-93) ([34], vol. XIII, p. 286). Dichas patentes incluyen un motor trifásico y un método de transmisión de potencia trifásica. Tesla describe el contenido de las patentes en su artículo "A New System of Alternate Current Motors and Transformers" ("Un nuevo sistema de motores y transformadores de corriente alterna"), el cual lee ante el *American Institute of Electrical Engineers* y donde acuña el término «motor síncrono» ([1]; [3], vol. 18, p. 494; [25], p. 118, 158 y 159).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) obtiene la patente por un sistema de contacto de escobillas de carbón para los motores eléctricos de corriente directa; con dicho sistema se reducen considerablemente la producción de chispas y el desgaste ([40], p. 1708; [62], p. 129).

Elmer Ambrose Sperry (1860-1930; Estados Unidos) inventa la primera máquina eléctrica de cadena para las minas ([40], pp. 1535-86).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) publica *Elektrische Apparate, Maschinen und Einrichtungen* (Aparatos, máquinas e instalaciones eléctricas) ([40], p. 552).

¹⁹⁹) Tesla firmaría un acuerdo posterior en 1889.

²⁰⁰) Aun cuando Edison apoya la tecnología basada en la corriente directa, finalmente el sistema de Tesla llegaría a imponerse y sería la base de la industria eléctrica moderna.

(continúa 1888)

Edward Weston (1850-1936; Inglaterra-Estados Unidos), basándose en el diseño de d'Arsonval (véase d'Arsonval, 1882), produce el primer amperímetro portátil de lectura directa. La estructura principal de este instrumento es un imán permanente de acero con forma de herradura, provisto con piezas polares de hierro dulce (118), p. 308). Funda la *Weston Electrical Instrument Company*, en Waverly Park, Newark, Nueva Jersey, Estados Unidos, para fabricar principalmente los instrumentos de medición *Weston*. El primer producto es el Modelo 1, un amperímetro de 10 mA, con una resistencia de 125Ω (125), p. 158; (140), p. 1784).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) comienza a fabricar los focos con la base en forma de rosca (la base de los focos anteriores era de madera y tenía dos ribetes para emplearse en la conexión) (125), p. 158).

La empresa *Kensington Court Company*, de Londres, Inglaterra, es absorbida por una nueva compañía llamada *Kensington and Knightsbridge Electric Lighting Company*. Esta construye una planta para generación de energía eléctrica en Cheval Court, en la que instala máquinas *Willans* y dinamos *Crompton* (véase 1886) (118), p. 148).

Oberlin Smith publica uno de los primeros trabajos sobre la grabación magnética. Reconoce que los alambres de hierro no resultan satisfactorios y sugiere que se puede utilizar una cinta de seda o de algodón, a la que se le hayan tejido pequeñas partículas de material magnético (125), p. 159).

Emile Berliner (1851-1929; Alemania-Estados Unidos) introduce el primer modelo de su gramófono (véase 1887). En lugar de emplear un soporte cilíndrico, en este modelo usa por primera vez un disco plano. A diferencia de otros que han utilizado el sistema de grabación de *cresta y valle*, en el cual el registro se realiza verticalmente, *Berliner* registra el surco con un movimiento lateral. Este proceso de registro lateral es reminiscente de fonógrafo de Léon Scott de unos 30 años antes, en el que se usaba un diafragma y una cerda arqueada para rastrear el registro de las vibraciones sonoras sobre un papel aluminado. *Berliner* también emplea el negro de humo como medio de registro y lo combina con un proceso al aguafuerte, lo que le permite transferir la grabación original a una pieza de cobre o níquel; de esta forma, *Berliner* logra crear por primera vez una copia maestra permanente, lo que hace posible la producción en masa de los discos grabados (véase 1895) (152), p. 60).

Elisha Gray (1835-1901; Estados Unidos) inventa el *teleautógrafo* (dispositivo en el que los movimientos manuales de un estilite explorador sobre una superficie plana genera corrientes de intensidad variable destinadas a su transmisión por dos canales independientes, con el fin de gobernar en el extremo receptor los movimientos de un estilite registrador idéntico al explorador) (140), p. 492).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) vende su empresa *Van Depoele Electric Railways Company*, junto con varias de sus patentes, a la *Thomson-Houston Electric Company*, de Lynn, Massachusetts, Estados Unidos (140), p. 1708).

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

(continúa 1888)

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) funda la *Thomson Welding Company* para comercializar sus sistema de soldadura por arco eléctrico de 1886 ([62], p. 129).

La *Society of Telegraph Engineers and Electricians* cambia de nombre a *Institution of Electrical Engineers* (véase 1880)⁽²⁰¹⁾ ([51], p. 39).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) participa en la fundación de un laboratorio subvencionado por el gobierno (francés) para la investigación eléctrica ([34], vol. I, p. 304).

1888-89

Louis Carl Heinrich Friedrich **Paschen** (1865-1947; Alemania) establece, en su disertación doctoral, la *ley de Paschen*: el voltaje disruptivo depende sólo del producto de la presión del gas y de la distancia entre los electrodos. Publica "Ueber die sum Funkenübergang in Luft, Wasserstoff und Kohlensäure bei verschiedenen Drucken erforderliche Potentialdifferenz", que es su disertación doctoral ([34], vol. X, p. 345).

1888-90

Hiram Percy **Maxim** (1869-1936; Estados Unidos) trabaja como ingeniero en *Thomson Electric Welding Company* en Lynn, Massachusetts, Estados Unidos ([40], p. 1133).

1888-92

Emil **Cohn** (1854-1944; Alemania) determina las propiedades dieléctricas, a partir de la longitud de onda, en alambres, agua y hielo ([40], p. 353).

Paul Karl Ludwig **Drude** (1863-1906; Alemania) examina el punto de vista electromagnético de la propagación de la luz y reexamina el punto de vista de la teoría mecanicista de la luz ([34], vol. IV, p. 190).

1888-93

Henry Price **Ball** (1868-1941; Estados Unidos), quien trabaja en la *United Edison Manufacturing Company*, diseña y patenta diversos dispositivos para la distribución de electricidad para la iluminación, para los ferrocarriles y para trabajos marinos ([40], p. 100).

1889

Joseph-Solange-Henri **Pellat** (1850-1909; Francia) publica *Leçons sur l'électricité* (*Lecciones sobre electricidad*) ([40], p. 1325).

Arthur **Schuster** (1851-1934; Alemania) muestra que las variaciones diarias geomagnéticas son de dos tipos, internas y atmosféricas. Atribuye las primeras a las corrientes inducidas dentro de la Tierra; mientras que las segundas se deben a las corrientes eléctricas en la alta atmósfera⁽²⁰²⁾ ([34], vol. XII, p. 238).

Como resultado de las observaciones de la corona solar durante un eclipse, Frank Hagar **Bigelow** (1851-?; Estados Unidos) sugiere que el Sol posee un campo magnético ([34], vol. VI, p. 29).

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania), como profesor de física de la Universidad de Bonn, Alemania, continúa sus investigaciones sobre descargas

²⁰¹⁾ Título con el que todavía se conoce en la actualidad.

²⁰²⁾ Estos estudios sentarían las bases para el trabajo posterior de Heavyside y Kennelly.

(continúa 1889)

eléctricas en gases enrarecidos. Determina el carácter ondulatorio de los rayos catódicos y demuestra que el calor da una forma de radiación electromagnética (*J3*), vol. 5, p. 892; *J6*), p. 109).

Hertz establece que puede describir todos sus resultados de una mejor manera si parte del punto de vista de Maxwell de la acción contigua, en lugar de basarse en los principios de la acción a distancia (*J34*), vol. 17, p. 345).

En algunos de sus artículos, Eugenio Beltrami (1835-1899; Italia) estudia la teoría de Maxwell y su interpretación mecanicista, siguiendo el tratamiento a partir del principio de d'Alembert, en lugar del de Hamilton (*J34*), vol. 1, p. 600).

Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899; Alemania) propone una nueva teoría, en un intento por reducir la electrodinámica a la mecánica, basada en la existencia de movimientos rotacionales orientados en diferentes direcciones en el éter, en lugar de basarse en la concepción de acción a distancia (*J34*), vol. 17, p. 96).

Josiah Willard Gibbs (1839-1903; Estados Unidos) publica "A comparison of the Electric Theory of Light and Sir William Thomson's Theory of Quasi-Labile Ether" ("Comparación entre la teoría eléctrica de la luz y la teoría de Sir William Thomson del éter «quasi-labile»")²⁰³⁾ (véase 1885-89) (*J34*), vol. 1, p. 393).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), en "On the Determination of 'v', the Ratio of the Electromagnetic Unit of Electricity to the Electrostatic Unit" ("Sobre la determinación de la cantidad 'v', el cociente entre las unidades electromagnética y electrostática de la electricidad")²⁰⁴⁾, corrige el valor del cociente incorrectamente calculado en 1883 (*J34*), vol. XIII, p. 365).

Donato Tommasi (1848-1944; Italia) publica *Theoretical and Practical Treatise on Electrochemistry* (Tratado teórico y práctico sobre electroquímica) (*J40*), p. 1680).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) descubren que los filamentos de magnesio cargados negativamente y aterrizados con esmeril, se descargan no sólo con luz ultravioleta, sino que también lo hacen con la luz normal del día. Describen sus resultados en "Entladung negativ elektrisiert Körper durch Sonnen- und Tageslicht"²⁰⁵⁾ ("Descarga negativa de los cuerpos electrificados mediante la luz del Sol y la natural"). De las investigaciones sobre la sensibilidad de los fotocátodos a la luz visible construyen la serie actinoeléctrica: rubidio, potasio, sodio, magnesio, talio y cinc (véase 1890) (*J34*), vol. IV, p. 355).

Aleksandr Grigorievich Stoletov (1839-1896; Rusia) publica *Aktinoelektricheskie issledovania* (Investigaciones actinoeléctricas), en donde establece experimentalmente las leyes básicas del efecto fotoeléctrico externo y ciertas regularidades fundamentales de la descarga eléctrica en gases enrarecidos. Es el primero en desarrollar un método experimental para estudiar el efecto fotoeléctrico: muestra que durante la iluminación de los metales con luz

²⁰³⁾ *American Journal of Science*, 3^a ed., 37

²⁰⁴⁾ *Philosophical Transactions*, 181.

²⁰⁵⁾ *Annalen der Physik*, 38

(continúa 1889)

ultravioleta se presenta una pérdida de carga eléctrica negativa. Al iluminar la placa negativa de un condensador a través de un electrodo positivo de placa reticular, observa una corriente eléctrica continua en el circuito que contiene el condensador, una celda de batería y un galvanómetro. La intensidad de la corriente parece ser proporcional a la intensidad de la luz incidente y al área iluminada. Es el primero en mostrar que mediante la presencia de una diferencia de contacto en los potenciales entre la retícula y la placa, el aparato fotoeléctrico puede, sin la necesidad de la batería suplementaria, servir como fuente de la corriente, convirtiendo la energía luminosa en electricidad. Este dispositivo es el primer fotoelemento, pero Stoletov no lo patenta (véanse Elster y Guttel, más adelante) ([34], vol. XIII, p. 80).

Hermann Walther Nernst (1864-1941; Prusia) deduce la ecuación para la acción electromotriz de los iones ([16], p. 80). Propone la teoría del potencial y conducción eléctrica en las soluciones electrolíticas ([40], p. 1246).

John Ambrose Fleming (1849-1945; Inglaterra) repite los experimentos sobre el efecto Edison (véase 1883), con corrientes alternas y directas ([34], vol. I, p. 3).

Ludwig Mond (1839-1909; Alemania) y su asistente Carl Langer desarrollan una celda de combustible que utiliza oxígeno e hidrógeno puros. Los electrodos son de platino perforado, catalizados con platino negro (*platinum black*). Produce 1.46 W a 0.73 V con una eficiencia del 50%. Dado que contiene 1.3 g de platino y los gases combustibles deben ser puros, el dispositivo resulta muy costoso. Además, este dispositivo se desarrolla cuando la Estación Central de Potencia empieza a expandirse, por lo que el interés en la pila se ve reducido ([23], p. 160; [52], p. 48).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) construye un condensador estándar formado con dos placas de vidrio, perfectamente paralelas y recubiertas con plata, montadas de tal forma que se elimina toda dificultad de aislamiento ([34], vol. III, p. 506).

Se introducen en Estados Unidos métodos de sincronización entre generadores eléctricos utilizando lámparas estroboscópicas ([18], p. 170).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) inventa un aniperímetro de balanza de resorte ([40], pp. 469-470).

Bradley Allen Fiske (1854-1942; Estados Unidos) inventa un telémetro eléctrico, al que llama *estadímetro* (dispositivo para medir la distancia entre dos puntos) ([40], p. 573).

René-Prospér Blondlot (1849-1930; Francia) y Pierre Curie (1859-1906; Francia) escriben *Sur un électromètre astatique pouvant servir comme wattmètre* (Sobre un electrómetro astatístico que puede servir como wattímetro), en el cual describen la construcción de un electrómetro cuadrante, versión mejorada del diseñado por W. Thomson, al añadirle un amortiguador magnético ([34], vol. II, p. 203 y vol. III, p. 506).

(continúa 1889)

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa el wattímetro integrador, precursor de los medidores de consumo de potencia²⁰⁶¹ ([11], p. 385; [62], p. 129).

Bremer recibe la patente británica (no. 14,704) por una lámpara de arco de llama, en la que sales inflamables, tales como diversas mezclas de fluoruros de magnesio, bario, estroncio y calcio, son agregadas en forma de núcleos a las barras cilíndricas de carbón. Se incrementa la eficiencia de este tipo de iluminación, producen una fuente más brillante y dan cierto control sobre el color de la luz ([18], p. 128; [25], p. 173; [51], p. 112).

La *Exposición de París*, Francia, es iluminada por 10,000 lámparas incandescentes de **Edison**, con lo cual es posible mantenerla abierta por las noches ([62], p. 127).

Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) pierde la protección de la cobertura de sus patentes sobre piezas clave de su sistema de iluminación por arco eléctrico (debido a una demanda legal). Con ello, la empresa *Brush Electric Company* es absorbida por la *Thomson-Houston Company* ([62], p. 128).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) publica *Evolution of the Electric Incandescent Lamp* (Evolución de la lámpara eléctrica incandescente) ([40], p. 1362).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) desarrolla un sistema de conversión y distribución de electricidad mediante descargas oscilatorias ([40], p. 1659).

En Chelsea, Inglaterra, se transmite corriente directa de alto voltaje (más de 1,500 V). Dinamos de doble devanado, con los devanados separados y conectados a dos conmutadores independientes, son alimentados en el lado de alto voltaje desde la planta central y entregan energía a los consumidores en los segundos conmutadores ([18], p. 159).

La empresa *Metropolitan Electric Supply Company* opera una planta de energía eléctrica en Rathbone Place, Oxford Street, en Londres, Inglaterra, equipada con un alternador de 32 kW construido por **De Ferranti**, y dos alternadores **Morley** que permiten elevar el voltaje de 100 V a 2,000 V, para su transmisión en alta tensión. La empresa introduce un nuevo alternador **Elwell-Parker** de diseño más avanzado, con lo que la planta queda habilitada para generar corriente de una fase a 1,000 V y 105 cps, formando el núcleo de un sistema de suministro de energía eléctrica que cubría una amplia región de Londres (desde *Marylebone* a *Lincoln's Inn* y *Covent Garden*) ([18], p. 161).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930) diseña y construye en Deptford, Londres, Inglaterra, una planta generadora de energía eléctrica con vapor, con una salida de 10,000 V para corriente alterna, que transmite por cable a la planta de *Grosvenor Gallery* (véase 1883) para su posterior distribución desde esta última. Construye un transformador experimental para elevar los 2,400 V de la *Grosvenor Gallery* a 10,000 V y hace una demostración pública. Como no hay instrumentos apropiados disponibles para medir tal voltaje, conecta cien

²⁰⁶¹ Hacia el año de la muerte de Thomson, se habían vendido ya más de 30 millones de unidades.

(continúa 1889)

lámparas de 100 V en serie, demostrando la factibilidad de su proyecto. La planta ya construida tiene una capacidad total de 185,000 kg de vapor por hora y dos motores de 1,250 hp. Los alternadores tienen armaduras de 4 m de diámetro. Sin embargo, los cables que deben transportar la corriente son incapaces de transmitir los 10,000 V, por lo que la planta no puede entrar en operación en 1889 ([18], p. 164).

La planta de Richmond Road, Londres, Inglaterra, de la empresa *Brompton and Kensington*, opera con tres alternadores de 100 kW de 2,000 V en paralelo ([18], p. 170).

La *American Telephone and Telegraph Company* absorbe a la *American Bell Company*, con lo cual se convierte en el cuartel central de los diferentes sistemas *Bell* ([25], p. 160).

William Henry Preece (1834-1913; Gales) y J. Maier publican *The Telephone* ([40], p. 1372).

Almon Broun Strowger (1839-1902; Estados Unidos) solicita la patente para una central telefónica automática. Ésta se le concedería dos años después (véase 1891) ([25], p. 160).

Luzare Weiller, en un intento para transmitir imágenes, diseña un nuevo método de rastreo de imagen similar al efectuado con un disco. Usa un tambor giratorio sobre el cual se montan varios espejos, uno por cada línea rastreada y cada uno de ellos se ladea un ángulo mayor que el anterior. Con la rotación se produce una desviación horizontal del haz o del elemento de imagen, mientras que con los ladeos de los espejos se produce el barrido vertical. Este sistema es parecido al de Nipkow (véase 1885), con la ventaja de la reflexión de los espejos, con lo que se logra una mayor transmisión de luz. Con este dispositivo se logran transmitir algunas escenas de exteriores ([25], p. 160).

Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos-Inglaterra) y Charles Francis Brush (1849-1929; Estados Unidos) fundan la *Short Electric Railroad Company*, en Cleveland, Ohio, Estados Unidos, para fabricar equipo para trenes eléctricos ([40], p. 1541).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) recibe la medalla de oro en la *Exposición de París*, Francia, por el desarrollo del tren eléctrico ([40], p. 1589).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia), utilizando su galvanómetro, encuentra una débil corriente positiva durante el estado de reposo de los músculos, o tono, la cual se desvanece durante la excitación directa. Lippmann, en 1881, mostró que una gota de mercurio en agua acidificada producía un flujo de corriente cuando la gota se deformaba mecánicamente. d'Arsonval revierte este argumento y establece que toda corriente causa una deformación física. Demuestra que un estímulo positivo provoca una elongación, y que uno negativo causa una contracción. Describe sus resultados en "Relations entre la forme de l'excitation électrique et la réaction néuro-musculaire" ("Relaciones entre la

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1889)

forma de la excitación eléctrica y la reacción neuromuscular"²⁰⁷⁾ ([34], vol. I, pp. 304-305).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) vende su compañía *Van Depoele Electric Manufacturing Company* (véase 1884) ([40], p. 1708).

Charles D. Fritts (Estados Unidos) construye las primeras celdas fotovoltaicas solares, empleando obleas delgadas del tamaño de una moneda, hechas de selenio y cubiertas con una película transparente de oro ([58], p. 227).

1889-90

Piotr Nikolaievich Lebedev (1866-1912; Rusia) escribe "Ob izmerenii dielektricheskij postoyannij parov i o teorii dielektrikov Mossotti-Klauziusa" ("Sobre la medición de las constantes dieléctricas del vapor y sobre la teoría de los dieléctricos de Mossotti-Clausius"), en donde confirma experimentalmente esta teoría ([34], vol. VIII, p. 106).

1889-91

Vilhelm Frimann Koren Bjerknes (1862-1951; Noruega) trabaja como asistente de Hertz ([34], vol. II, p. 167).

1889-93

La batalla de las corrientes (controversia sobre la conveniencia de emplear corriente directa o corriente alterna en los sistemas eléctricos) se convierte en una vendetta pública entre Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) y George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos). Edison emplea sin escrúpulos diversas tácticas para desacreditar el uso de la corriente directa sobre la base de que ésta es «demasiado peligrosa»; sin embargo, Edison resulta vencido frente a Westinghouse y Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) debido a los beneficios obtenidos por los altos voltajes para la transmisión, los cuales requieren de corriente alterna. De esta forma, la empresa *General Electric*, de Edison, comenzaría a fabricar sus propios sistemas de corriente alterna (basados en los inventos de E. Thomson) ([62], p. 131).

ca. 1890

Ernesto Cesàro (1859-1906; Italia) escribe *Introducción a la teoría de la electricidad* (en italiano); es un ferviente intérprete de la teoría física de Maxwell ([34], vol. III, p. 179).

Gisbert Kapp (1842-1922; Austria) desarrolla un dinamo y diseña un transformador y estaciones de potencia ([40], p. 906).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) trabaja en el diseño de un separador magnético de minerales, destinado a extraer el platino de la arena ferrosa. Durante la década anterior, los precios del hierro habían subido de una manera desproporcionada. Edison cree que con su separador, las minas abandonadas pueden ser productivas otra vez. Adquiere los derechos de 145 minas e instala una planta piloto. Sin embargo, nunca logra resolver los problemas ingenieriles del sistema. Hacia mediados de esta década, los precios del hierro se derrumbarían y Edison abandonaría toda investigación en esta línea ([34], vol. 17, p. 1050).

²⁰⁷⁾ *Archives de Physiologie*, 1.

1890

Joseph Louis François Bertrand (1822-1900; Francia) publica *Leçons sur la théorie mathématique de l'électricité* (*Lecciones sobre la teoría matemática de la electricidad*) ([40], p. 167).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die Pyroelektricität des Turmalins" ("Sobre la piroelectricidad de la turmalina")⁽²⁰⁸⁾ ([34], vol. XI, p. 447).

Joseph-Solange-Henri Pellat (1850-1909; Francia) publica *Electricité atmosphérique* (*Electricidad atmosférica*), en 9 volúmenes ([40], p. 1325).

Hantaro Nagaoka (1865-1950; Japón) estudia la magnetización de los aceros de níquel (*nickel steels*) ([40], p. 1237).

Johann Friedrich August Max Eschenhagen (1858-1901; Alemania) publica *Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen in Potsdam* (*Resultados de las observaciones magnéticas en Potsdam*) (véase 1882-83) ([40], p. 530).

Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) publica dos artículos teóricos. En el primero de ellos, trata la electrodinámica de los cuerpos en reposo. En la introducción, asevera que la teoría de Maxwell, como está formulada en el *Treatise on Electricity and Magnetism*, escrito por este último, contiene nociones de acción a distancia. Para llegar a una teoría consistente con el concepto de acción contigua, Hertz elimina los potenciales vectoriales de las ecuaciones fundamentales de la teoría. También elimina la distinción que Maxwell hizo entre la polarización y la fuerza eléctrica en el éter libre, distinción que sólo tiene sentido en el marco de la acción a distancia. Al negar la existencia de fuerzas a distancia, Hertz asevera que las polarizaciones del medio son las únicas entidades realmente presentes. En lugar de derivar las ecuaciones de la teoría a partir de un modelo mecánico del éter, simplemente las postula y establece las relaciones de simetría entre la fuerza eléctrica y la magnética en el éter libre. El éxito de este trabajo yace en la simplificación del formalismo y en el avance de la estructura lógica de la teoría de Maxwell, consistentemente interpretada como una teoría de acción contigua.

En su segundo artículo, Hertz aplica las ecuaciones de Maxwell a cuerpos deformables en movimiento. Supone que el éter es arrastrado mecánicamente por el cuerpo, argumentando que dentro del restringido dominio de los fenómenos electromagnéticos no hay nada incompatible con esta idea; además, suponer lo contrario, implicaría la asignación de dos grupos de vectores eléctricos y magnéticos a cada punto del espacio. Sin embargo, reconoce que tal suposición es un fundamento débil, ya que es incapaz de explicar los fenómenos ópticos, tales como la aberración estelar o los resultados del experimento de Fizeau. Asevera que una teoría correcta debería distinguir entre el estado del éter y el estado de la materia inmersa en él en cada punto; no obstante, piensa que intentar desarrollar tal teoría es prematuro y requeriría de más hipótesis arbitrarias que la teoría actual ([34], vol. VI, pp. 346-347).

Hertz publica además *Electric Waves* (*Ondas eléctricas*) ([40], p. 792).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos) y Wallace Clement Sabine (1868-1919; Estados Unidos) investigan las oscilaciones eléctricas de alta frecuencia, empleando un espejo giratorio ([34], vol. XIII, p. 473).

²⁰⁸⁾ *Annalen der Physik*, 40, pp. 264-306.

(continúa 1899)

Lucien De la Rive (1834-?, Suiza) y E. Sarasin utilizan un resonador de Hertz para probar que las ondas eléctricas estacionarias ocurren a lo largo de alambres aislados bajo la influencia de una descarga oscilatoria. Determinan que la longitud de dichas ondas en el aire, donde son reflejadas por un espejo, es la misma que en el alambre ([40], p. 436).

Jules Henri Poincaré (1854-1912; Francia) publica "Électricité et Optique" ("Electricidad y óptica") ([3], vol. 9, p. 544).

Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (1859-1922; Alemania) y Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910; Alemania) empiezan a investigar los fenómenos electrolíticos ([34], vol. VI, p. 74).

Aleksandr Grigorievich Stoletov (1839-1896; Rusia) informa sobre el incremento anómalo en la conductividad eléctrica de los gases bajo luz ultravioleta ([34], vol. XIII, p. 446). Al investigar la relación de la fotocorriente con la diferencia externa en el potencial descubre la existencia de una corriente de saturación (véase 1889). Estudios posteriores con diferentes grados de enrarecimiento del gas, lo llevan a descubrir que cuando la corriente eléctrica alcanza un valor máximo, se cumple la relación $(p_m/l/v) = \text{cte}$; donde p_m es el valor de la presión del gas a la que se alcanza el valor máximo de la corriente, l la distancia entre los electrodos y v la diferencia de potencial ([34], vol. XIII, p. 80).

John Trowhridge (1843-1923; Estados Unidos) se pronuncia en favor de la idea de que los portadores de la electricidad en los alambres no son los átomos ([34], vol. XIII, p. 473).

Johannes (Janne) Robert Rydberg (1854-1919; Suecia) publica su principal trabajo en espectroscopía *Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques* (Investigaciones sobre la constitución de los espectros de emisión de los elementos químicos). Considera que el espectro de un elemento está compuesto por la superposición de tres tipos diferentes de series: una en la que las líneas están relativamente delineadas; una en la que las líneas están más difusas; y una tercera a la que llama principal aún cuando consiste en su mayoría de líneas en la región del ultravioleta. Las primeras líneas se localizan en el espectro visible y generalmente son las más intensas. Los miembros de cada serie unitarios, dobles, triples, e incluso de multiplicidad superior. Cualquier espectro elemental puede contener cualquier número de series (incluso cero) de cada tipo básico. A diferencia de muchos otros, Rydberg emplea números de onda (el número de ondas por unidad de longitud) en lugar de un recíproco correlacionado, lo que le permitiría manipular su fórmula final de una manera sumamente útil. Rydberg concluye que cada serie se puede expresar aproximadamente mediante una ecuación en la que intervienen una constante común a todas las series y a todos los elementos, dos constantes particulares de la serie, y un entero positivo. Durante los días en que trata de confirmar la relación, Rydberg se entera de la fórmula de Balmer (véase 1885), que representa las líneas observadas del espectro del hidrógeno con extraordinaria precisión. Rydberg arregla esa fórmula en términos de los números de onda, selecciona las constantes de manera apropiada y se da cuenta de que ésta es una forma especial de su propia ecuación. Rydberg la propone como la fórmula general para todas las series en todos los espectros de línea elementales y concluye que la constante involucrada es, de hecho, una constante universal (conocida desde entonces como la constante de Rydberg). Descubre que la diferencia entre el límite común

(continúa 1890)

de las series definidas y las difusas y el límite de la serie principal correspondiente le da el número de onda del término común del primer miembro de la serie definida y de la principal, una relación independientemente descubierta por A. Schuster y a la que se le llegaría a conocer como ley de Rydberg-Schuster. En esta misma línea, Rydberg sugiere de manera totalmente especulativa una fórmula comprehensiva para toda línea de un elemento; así, concibe a toda serie espectral como un conjunto de diferencias entre dos términos, cada uno de los cuales depende de una manera simple de un número entero ([34], vol. XII, pp. 42-43).

Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899; Alemania) propone la existencia de moléculas magnéticas ([34], vol. XIV, p. 330).

Donato Tommasi (1848-1944; Italia) publica *Treatise on Electric Batteries and Accumulators* (Tratado sobre baterías eléctricas y acumuladores) ([40], p. 1630).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa un dinamo de alta frecuencia ([62], p. 129).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) estudia los efectos de los generadores de corriente de alta frecuencia ([40], p. 1639).

P. Lacour, en Dinamarca, construye un molino de viento con el cual produce energía eléctrica. El molino tiene aspas (*patent sails*) y timones gemelos, montados sobre una torre de acero ([3], vol. 18, p. 437). Este dispositivo es el primer aerogenerador de energía eléctrica y se construye poco tiempo después del primer generador eléctrico a vapor (véase 1892) ([58], p. 230).

Se construye en la planta de generación de energía eléctrica de Lauffen, Alemania, el primer generador de energía eléctrica de corriente alterna de uso práctico ([3] vol. 4, p. 428).

Se construyen dinamos que pesan 1.5 ton y que producen corrientes de 1,500 A con armaduras de 60 cm de diámetro y 90 cm de longitud ([18], p. 113).

Dobrowolsky exhibe en la *Exposición Industrial* de Francfort, Alemania, una máquina de corriente trifásica de 100 hp ([18], p. 188).

Joseph Sachs (1870-1946; Estados Unidos) trabaja ya en la *Sprague Electric Motor Company* ([40], p. 1464).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) obtiene la patente (no. 428,648) por su idea de enfriar los transformadores mediante la inmersión en aceite ([25], p. 162).

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(Continúa 1899)

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923; Alemania-Estados Unidos) publica²⁰⁹⁴ un tratamiento gráfico de su teoría sobre los transformadores de corriente alterna (*[25]*, p. 162).

En Estados Unidos se publica un libro de texto en el cual se prueba matemáticamente la imposibilidad de que los motores eléctricos lleguen a manufacturarse, debido al costo relativo del carbón y del cinc, necesarios para generar la electricidad (*[25]*, p. 163).

William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907; Irlanda) incrementa considerablemente la sensibilidad de su voltímetro de cuadrante (véase 1887), aumentando el número de cuadrantes y usando un alambre de torsión de control. La nueva versión de su instrumento consta de una serie de aspas múltiples horizontales, montadas sobre una suspensión vertical y una caja multicelular en la que las aspas se mueven por atracción. A este voltímetro se le conoce como «lámpara de carruaje» (*carriage lamp*) debido a su forma. Gana rápida aceptación para voltajes superiores a los 200 V (*[18]*, p. 292; *[25]*, p. 162).

En enero, el sistema de iluminación eléctrica de Manhattan, Nueva York, Estados Unidos, se incendia. Antes del desastre, este sistema proveía de energía a unas 20.000 lámparas (*[3]*, vol. 17, p. 1050).

Se instala la primera estación de potencia eléctrica inglesa, en Deptford (*[1]*).

La principal fuente de energía de las plantas generadoras de electricidad de Inglaterra es el vapor producido por calderas portátiles o por calderas de Balthcock y Wilcox (*[18]*, p. 151).

Henry Augustus Rowland (1848-1901; Estados Unidos) desarrolla un telégrafo multiplex; sin embargo, aun cuando técnicamente es bueno, no llega a ser comercialmente factible (*[34]*, vol. XI, p. 578).

Noah Steiner Amstutz logra enviar una imagen a medio tono por unos 40 km de alambre. Probablemente esta es la primera transmisión realmente exitosa de una imagen. El proceso dura unos ocho minutos (*[25]*, p. 152).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) comienza a realizar experimentos para probar la tesis de que la corriente eléctrica es capaz de atravesar cualquier sustancia y seguir una línea recta sin la necesidad de un alambre u otro conductor (*[40]*, p. 1075).

Henry Bradwardine Jackson (1855-1929; Inglaterra) comienza a realizar algunos experimentos sobre radiotelegrafía inalámbrica para la *Marina Real* de Inglaterra, independientemente de los trabajos de Marconi. (*[10]*, p. 16; *[25]*, p. 171).

Edouard Branly (1844-1940; Francia) nota que si se produce una chispa eléctrica cerca de un tubo de ebonita con limadura metálica la conductividad de éste aumenta apreciablemente. De esta forma, logra incrementar la sensibilidad del resonador de Hertz. El dispositivo ofrece una alta resistencia al paso de la

²⁰⁹⁴ *Electrical Engineer y Elektrotechnische Zeitschrift*

(continúa 1899)

corriente, excepto cuando es excitado por las ondas radioeléctricas. Utiliza este cohesor para accionar un timbre eléctrico a la llegada de un tren de ondas, pero una vez que éste cesa, es necesario golpear ligeramente el dispositivo para regresarlo a su estado original (véase Hughes, 1880) ([10], p. 15). Sin embargo, no se percata, de inmediato, de las posibilidades respecto a la comunicación inalámbrica ([25], p. 162). El cohesor sería utilizado después (véase Lodge, 1894) para construir un detector de ondas electromagnéticas ([18], p. 268).

Se inaugura el sistema de tren subterráneo (metro) de la ciudad y del sur de Londres, Inglaterra. Emplea locomotoras eléctricas con motores que impulsan directamente los ejes de las ruedas. Dos motores tipo bipolar Edison-Hopkinson con dos devanados y una potencia máxima combinada de 100 hp, con dos devanados en serie y armaduras de anillo de Gramme (véase 1870), son montados de modo tal que el último está fijo al eje, y el extremo de la pieza polar de los imanes de campo está sostenida por soportes sobre el eje. El sistema permite que el tren desarrolle una velocidad de hasta 40 km/h, jalando tres carros de pasajeros. La corriente (a 500 V) es suministrada por un tercer riel de canal de acero, soportado por aisladores de vidrio sobre durmientes transversales de madera, y es recogida mediante zapatas de hierro colado. Los dos motores están conectados en serie y son controlados por un interruptor inversor y un interruptor de carrera ([18], p. 192).

En la revista *Electrical Engineer* se informa que: «Ya han sido construidos un gran número de ferrocarriles eléctricos como extensiones de las líneas suburbanas» ([18], p. 186).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) ha experimentado con animales, utilizando el oscilador de alta frecuencia de Hertz, con los efectos de corrientes alternas cuyas frecuencias varían entre 500,000 y 1,500,000 cps y voltaje bajo. d'Arsonval describe que este tipo de corrientes no provoca respuestas sensoriales ni motrices, sólo produce calor, como ya lo había notado Hertz. Empieza a aplicar este calor al tratamiento de enfermedades de la piel, de membranas mucosas, dolores, espasmos, tétano, tumores, artritis y problemas circulatorios y ginecológicos. A este proceso se le conocería primero como *darsonvalización*²¹⁰⁾ ([34], vol. I, p. 304).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) diseña el primer incubador de temperatura constante controlado eléctricamente, para investigación bacteriológica ([3], vol. I, p. 594; [34], vol. I, p. 304).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) encierran una superficie de amalgama alcali en un recipiente al vacío, para preservar la fotosensitividad del material. De esta manera inventan el primer fototubo ([25], p. 162). Reciben las patentes por el dispositivo y por varias de sus aplicaciones ([34], vol. XIII, p. 80).

Alphonso David Rockwell (1840-1933; Estados Unidos) inventa la silla eléctrica. Después de muchas deliberaciones por parte de las autoridades de la Prisión Estatal de Auburn, Nueva York, Estados Unidos, se sentencia a Kemmler a morir en la silla el 6 de agosto ([3], vol. 4, p. 430; [11], p. 386; [25], p. 162).

²¹⁰⁾ Después de 1920, se empezaría a usar el término *darsonna*.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1890)

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) fusiona todas sus compañías para formar la empresa *Edison General Electric Company* (véase 1892) ([62], p. 120).

1890-96

Arthur William Rücker (1848-1915; Inglaterra) publica *Magnetic Survey of the British Isles for the Epochs 1886, 1891*, en 2 volúmenes ([40], p. 1455).

1890-97

Emil Wiechert (1861-1928; Alemania) realiza investigaciones sobre la estructura atómica de la electricidad y la materia ([34], vol. XIV, p. 327).

1890-98

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) aplica sus conocimientos matemáticos al diseño de transformadores y de sistemas de corriente alterna, a la transmisión de potencia, a la histéresis y magnetismo de aleaciones de acero y a hacer más compactos los circuitos magnéticos, tales como los del dinamo Edison-Hopkinson, el cual dobla la salida para un peso igual ([34], vol. VI, p. 504).

1890-99

Durante la década de los años 1890, predominan los generadores de corriente alterna operados con motores recíprocos a vapor; dichos arreglos son muy grandes y pesados y la rotación es intermitente ([3], vol. 18, p. 494).

1890-1900

La potencia de los motores manufacturados por P. W. Willans (1851-1892) (véase Willans, 1887) aumenta de 300 a 2,400 hp ([17], vol. V, p. 136).

ca. 1891

Joseph Sachs (1870-1946; Estados Unidos) entra a trabajar a la *Edison Machines Work* (que después sería la *General Electric Company*), en Schenectady, Nueva York, Estados Unidos ([40], p. 1464).

1891

Thomas O'Connor Sloane (1851-1940; Estados Unidos) publica *Arithmetic of Electricity* (Aritmética de la electricidad) y *Electricity Simplified* (Electricidad simplificada) ([40], p. 1559).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) realiza importantes contribuciones a la teoría molecular de los fenómenos piroeléctricos y piezoeléctricos en la turmalina y el cuarzo (véase 1886 y 1890) ([34], vol. XI, p. 446).

James Alfred Ewing (1855-1935; Escocia) realiza experimentos sobre la simulación de la magnetización ([16], p. 80). Publica *Magnetic Induction in Iron and Other Metals* (Inducción magnética en el hierro y en otros metales). Ewing modifica la teoría de Weber, sobre el magnetismo inducido y construye modelos magnéticos que se comportan de acuerdo con su teoría ([40], p. 538).

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923; Alemania-Estados Unidos) publica⁽²¹¹⁾ las leyes de la histéresis magnética, derivadas de las tablas de Ewing ([25], p. 164). Sus contemporáneos dicen de este trabajo «que hace para los circuitos magnéticos lo que Ohm hizo para los circuitos eléctricos.» ([34], vol. XIII, p. 24; [40], p. 1603).

²¹¹⁾ *Electrical Engineering*, diciembre.

XI. NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO (1843-1897)

(continúa 1891)

Heinrich Rudolf **Hertz** (1857-1894; Alemania) publica una compilación de sus escritos sobre circuitos oscilatorios de altas frecuencias y sobre ondas electromagnéticas (*[18]*, p. 268).

Vilhelm Frimann Koren **Bjerknes** (1862-1951; Noruega), como resultado de su colaboración con **Hertz**, publica "Über die Dämpfung schneller elektrischer Schwingungen" ("Sobre el amortiguamiento de las oscilaciones eléctricas rápidas")⁽²¹²⁾ (*[34]*, vol. II, p. 167).

Max Karl Ernst Ludwig **Planck** (1858-1947; Alemania) establece que «el principio del incremento de la entropía debe extenderse a todas las fuerzas de la naturaleza [...] no sólo a las térmicas y químicas, sino también a los procesos eléctricos y otros» (*[34]*, vol. XI, p. 10).

Paul Oskar Eduard **Volkman** (1856-1938; Alemania) publica su tesis doctoral *Vorlesungen über die Theorie des Lichtes (unter Rücksicht auf die elastische und die electromagnetische Anschauung)* -Lecciones sobre la teoría de la luz (bajo las consideraciones de la intuición elástica y electromagnética)- (*[34]*, vol. XIV, p. 68).

Edmond **Bouty** (1846-1922; Francia) estudia la estabilidad dieléctrica de la mica (*[40]*, p. 220).

A. P. **Deschanel**, en *Elementary treatise on natural philosophy* (Tratado elemental sobre filosofía natural) asevera que la electricidad no tiene una velocidad definitiva (*[16]*, p. 240).

Leon **Arons** (1860-1919; Alemania) y Heinrich **Rubens** (1865-1922; Alemania) estudian la propagación de la electricidad en los dieléctricos (*[40]*, p. 66).

Wilbur Morvis **Silne** (1863-1934; Estados Unidos) comienza a estudiar los rayos catódicos (*[40]*, p. 1613).

George Johnstone **Stoney** (1826-1911; Irlanda), continúa su línea de investigación de 1868; publica "On the Cause of Double Lines and of Equidistant Satellites in the Spectra of Gases" ("Sobre la causa de las líneas dobles y los satélites equidistantes en los espectros de los gases")⁽²¹³⁾, en donde explica la presencia de líneas dobles y triples en los espectros, mediante los movimientos apsidales y precesionales de los *electrones* en órbita. Esta palabra, *electrón* (introducida por él en 1874), la utiliza para referirse a su unidad fundamental (*[25]*, p. 163; *[34]*, vol. XIII, p. 82).

Josiah Latimer **Clark** (1822-1898; Inglaterra) publica *Dictionary of Electrical Measures* (Diccionario de mediciones eléctricas) (*[40]*, p. 340).

El Consejo de Comercio de Inglaterra forma un Comité de Estándares «para la medición de la electricidad utilizada en el comercio». El Comité adopta el sistema de unidades eléctricas cgs, y ratifica los valores y nombres de unidades

²¹²⁾ *Annalen der Physik*, 44.

²¹³⁾ *Scientific Transactions of the Royal Dublin Society*, 4.

(continúa 1891)

(ohm, ampere, volt) determinados por el Comité original de la *British Association for the Advancement of Science* (véase 1861) (*[15]*, p. 302).

El *Congreso Eléctrico Internacional* de Chicago, Illinois, Estados Unidos, adopta la pila de Clark (véase 1873) y el *coulímetro*, también llamado voltímetro -dispositivo que mide la cantidad de electricidad que pasa por un conductor por medición de la cantidad de electrólisis producida por la corriente en una celda electrolítica-, en las definiciones del ampere y el volt (*[52]*, p. 54).

William Edward Ayton (1847-1908, Inglaterra) y W. Sumpner demuestran que la ley teórica de los electrómetros de cuadrante no es válida (*[40]*, p. 50).

Edward Weston (1850-1936, Inglaterra-Estados Unidos) solicita la patente por la invención de una batería en la cual el electrolito de la celda de Clark es reemplazado por una solución saturada de sulfato de cadmio, y el electrodo negativo de zinc es reemplazado por una amalgama de cadmio, el depolarizador sigue siendo sulfato mercurioso. El coeficiente de temperatura de la fuerza electromotriz es sólo de unos $-40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (véase 1893) (*[52]*, p. 62).

Gisbert Kapp (1842-1922, Austria) diseña un generador eléctrico de seis polos operado mediante una máquina de Willans de triple expansión. Uno de estos sistemas se instala en la planta de energía eléctrica de *St Pancras*, Londres, Inglaterra (*[18]*, p. 154).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930, Italia) construye un transformador de 110 kW para reducir el voltaje de los 10,000 V generados en la planta de Deptford, Londres, Inglaterra (véase 1889) a los 2,400 V empleados en el sistema de Londres. El transformador consta de tres bobinas; una central para los 10,000 V de entrada y dos adyacentes, una a cada lado de la central, para los 2,400 V secundarios. Las bobinas están construidas de tiras de cobre separadas por fibra vulcanizada y enrolladas con tela barnizada y fibra vulcanizada. Las bobinas componentes, aisladas separadamente, se construyen una sobre otra y se conectan en serie. El espacio entre la bobina central y las dos de los lados es considerable, insertándose en dicho espacio láminas de ebonita. Las bandas de hierro planas del núcleo doblado están separadas por espacios de aire de 1.3 cm (para el enfriamiento, ya sea por aire o por aceite). Este tipo de transformador permanecería en servicio por más de treinta años (véase 1889) (*[18]*, p. 176).

W. Langdon Davies produce un motor unifásico experimental de inducción. El estator de anillo, con seis pequeñas piezas polares, está enrollado en seis secciones, formando tres grupos de dos bobinas cada uno. Un grupo tiene resistencia en serie, pero los otros dos están conectados directamente al conductor principal. De esta forma se produce un retraso en la corriente de una bobina en relación a la otra, obteniéndose un campo giratorio. El rotor, un anillo similar pero más pequeño, está enrollado con cobre pesado en seis secciones, cada una en corto circuito (*[18]*, p. 159; *[25]*, p. 163).

Nikola Tesla (1856-1943, Croacia-Estados Unidos) inventa un transformador de núcleo de aire, llamado *hohma de Tesla* (*[34]*, vol. XIII, p. 287).

W. M. Mordey (1856-1938, Inglaterra) construye un transformador con un núcleo magnético de estampados de hierro dulce. Ensambla láminas de hierro

(continúa 1894)

alrededor de las bobinas primaria y secundaria, de manera tal que las vueltas (excepto las finales) queden completamente rodeadas por hierro (véase 1888) ([18], p. 176).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica *Magnetic Mechanisms (Mecanismos magnéticos)* ([40], p. 1668).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930) construye un cable capaz de soportar tensiones de 10,000 V, para la planta de Deptford, Londres, Inglaterra (véase 1889). El cable para la transmisión de corriente monofásica consiste en dos tubos de cobre, uno dentro del otro, separados por papel impregnado de cera (el mayor tiene una sección transversal de 6.3 mm² de área). El aislamiento entre los tubos (papel impregnado, con un grosor de 1.27 cm) es aplicado al tubo interior haciéndolo girar en un torno. Al tubo exterior también se le aplica papel encerado del mismo grosor, colocándolo después dentro de un tubo de hierro (con diámetro externo de 6 cm), llenando el espacio entre núcleo y papel con cera fundida. El cable es construido en tramos de 6 m, con los extremos doblados en un cono de 15 cm para conectarlos unos a otros. Los conductores interiores se conectan mediante un enchufe forzado y se ponen en contacto perfecto mediante presión hidráulica. El espacio entre la cubierta de hierro y el tubo exterior de cobre se rellena con cera caliente inyectada. Las expansiones por temperatura durante el servicio se controlan dándole al cable una ligera ondulación durante el proceso de colocación. Se fabrican más de 45 km de cable de este tipo, dando servicio completamente satisfactorio a 10,000 V por muchos años ([18], pp. 164-165).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) demuestra una línea de alto voltaje de larga distancia, en Colorado, Estados Unidos ([25], p. 164).

Se inaugura el servicio de energía eléctrica para Francfort am Main, Alemania ([3], vol. 4, p. 428).

Rookes Evelyn Bell Crompton (1845-1940; Inglaterra) introduce el término *factor de carga* y muestra su influencia en los costos por unidad. Sus análisis contradicen la creencia muy extendida entonces de que la cantidad de carbón consumida por una planta generadora de corriente eléctrica alterna es de dos a tres veces la de una planta de corriente directa ([18], p. 158).

Charles Algernon Parsons (1854-1931; Inglaterra) instala en Forth Banks, Cambridge, Inglaterra, a través de su compañía *C. A. Parsons and Company*, fundada en 1889, una planta de energía eléctrica con tres turboalternadores, cada uno de 100 kW de capacidad, operando a 4,800 rpm, generando una corriente unifásica a 2,000 V y 80 cps. Los turboalternadores están colocados verticalmente sobre bloques de goma en una bandeja metálica y liberan el vapor hacia la atmósfera. Poco después la compañía modifica el diseño, adoptando un sistema de condensación, mejorando considerablemente la eficiencia (véase 1888) ([18], p. 198).

Oskar von Miller (1855-1934, Alemania) realiza la primera transmisión trifásica de corriente alterna a 15 kV desde Lauffen, en el Neckar, hasta la *Exhibición Electrotécnica* celebrada en Francfort, Alemania, cubriendo una distancia de 177 km mediante líneas elevadas que operan a 30 kV. La energía eléctrica se emplea para iluminación y como energía motriz. En la exposición se

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1891)

exhiben también alternadores trifásicos ([6], p. 223; [3], vol. 18, p. 494; [18], p. 173).

Se construyen los primeros generadores trifásicos de 100 kW del mundo, en la estación de potencia de Lauffen, Alemania ([3], vol. 18, p. 494).

Diversas cortes fallan a favor de que Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) conserve sus patentes sobre las lámparas incandescentes. Así, se inicia la manufactura de ellas en Europa ([62], p. 127).

Emile Berliner (1851-1929, Alemania-Estados Unidos) recibe la patente por su micrófono de 1877 ([25], p. 138).

Almon Brown Strowger (1839-1902; Estados Unidos) recibe la patente estadounidense por una central telefónica automática (véanse 1889 y 1892) ([25], p. 160).

Se pone en servicio el primer circuito telefónico de larga distancia, entre Inglaterra (Dover) y el continente europeo (Calais, Francia), a través de un cable submarino de cuatro núcleos, aislado con gutapercha y que pesa 72 kg por milla náutica ([10], p. 20; [18], p. 246; [25], p. 164).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) resuelve el problema del cohesor de Branly del año pasado, referente a la descohesión del dispositivo, utilizando el propio martillo del timbre. Con el auxilio de un galvanómetro, logra recibir señales radiotelegráficas de duración variable, a una distancia de unos 35 m ([10], p. 14; [25], p. 164).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) dicta una conferencia, en el *American Institute of Electrical Engineers*, en Estados Unidos, en la cual muestra sus instrumentos de alta frecuencia ([34], vol. XIII, p. 287; [40], p. 1659).

George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos) instala el primer sistema industrial de potencia eléctrica de corriente alterna de Estados Unidos, en Telluride, Colorado ([62], p. 131).

La empresa *Westinghouse Electric Company* introduce el estándar de frecuencia de 60 ciclos para los sistemas de corriente alterna ([62], p. 131).

En Estados Unidos la empresa *Thomson-Houston Company* lanza al mercado un motor de baja velocidad para el servicio de tranvías, que permite emplear un sólo engrane de reducción. Al poco tiempo se establece el primer tranvía eléctrico en Leeds, Inglaterra ([18], p. 183).

William Morrison, de Des Moines, Iowa, Estados Unidos, construye un automóvil eléctrico y lo maneja a través de las calles de Chicago, Illinois, un año después ([53]).

Charles Joseph Van Depoele (1846-1892; Bélgica-Estados Unidos) obtiene la patente por una máquina eléctrica para las minas de carbón ([40], p. 1705).

(continúa 1891)

La empresa *Westinghouse Electric Company* instala equipo eléctrico para la *Edgar Thompson Works of Carnegie Steel*, Pittsburgh, Pensilvania, Estados Unidos ([62], p. 131).

1891-93

Ludwig **Boltzmann** (1844-1906; Austria) publica *Vorlesungen über Maxwell Theorie der Elektrizität und des Lichtes* (Lecciones sobre la teoría de Maxwell de la electricidad y de la luz). Por esta época revive su interés en la teoría electromagnética, probablemente como resultado de los experimentos de **Hertz**, los cuales repite ante una gran audiencia en Graz. Sugiere nuevos modelos mecánicos para ilustrar las ecuaciones de campo ([34], vol. II, p. 266).

1892

Oliver **Heaviside** (1850-1925; Inglaterra) publica sus *Electrical Papers* (Artículos eléctricos), en los que postula que todo circuito tiene cuatro constantes eléctricas fundamentales: resistencia, inductancia, capacitancia y perditancia (conductancia de dispersión). Apunta, además, que en un cable transatlántico la atenuación de las señales transmitidas es muy grande y se incrementa con la frecuencia ([18], p. 245; [40], p. 775).

Paul Karl Ludwig **Drude** (1863-1906; Alemania) desarrolla, en "Ueber magnetooptische Erscheinungen" ("Sobre los fenómenos magnetoopticos")²¹⁴, un sistema de ecuaciones directamente a partir de las ecuaciones de **Maxwell** para explicar el *efecto Kerr* y el descubrimiento de **Kundt**, de que el plano de polarización de la luz rota al pasar por láminas delgadas de sustancias tales como el hierro, el cobalto o el níquel ([34], vol. IV, p. 190).

Guglielmo **Marconi** (1874-1937; Italia), motivado por un artículo de **Crookes**²¹⁵, empieza sus estudios de las ondas electromagnéticas ([25], p. 166).

Philipp **Lenard** (1862-1947; Austria-Hungría) edita los escritos científicos de **Hertz** en tres volúmenes; el primero en este año de 1892, el segundo en 1894 y el tercero en 1895. El primer volumen se titula *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* y contiene todos los artículos experimentales y teóricos, excepto uno, sobre la teoría de **Maxwell** (el trabajo no incluido es la comparación teórica de las teorías de **Maxwell** y las demás teorías, artículo que se incluiría en el volumen de 1895). Los doce artículos que forman el volumen fueron publicados por **Hertz** entre 1887 y 1890. Además contiene un extracto de una publicación sobre oscilaciones eléctricas rápidas de **Von Bezold**, y una introducción escrita por el propio **Hertz** (véase **Jones**, 1893) ([34], vol. VI, p. 349).

Augusto **Righi** (1850-1920; Italia) demuestra los recientes experimentos de **Hertz** con ondas electromagnéticas, en sus clases en la Universidad de Boloña, Italia ([34], vol. XI, p. 460).

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz **Wien** (1864-1928; Prusia) de manera muy general, trata de ligar el flujo de energía de **Poynting** (1884) de las corrientes eléctricas, con el concepto de la entropía de la radiación. Más aún, a partir de la analogía con el cambio continuo en posición de la materia en movimiento, establece el movimiento de la energía de la radiación electromagnética, tratando de responder a la cuestión, planteada por **Hertz**, sobre

²¹⁴) *Annalen der Physik*, 46

²¹⁵) *Fortnightly Review* de Londres, Inglaterra.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

(continúa 1892)

si esta energía puede ser localizada en todo momento, durante el movimiento (J34], vol. XIV, p. 339)

Jules Henri Poincaré (1854-1912, Francia) publica "La théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes, Thermodynamique" ("La teoría de Maxwell y las oscilaciones hertzianas, termodinámica") (J6], p. 175)

Paul Karl Ludwig Drude (1863-1906, Alemania) publica "In wie weit gemigen die bisherigen Lichttheorien den Anforderungen der praktischen Physik?"²¹⁶⁾, resultado de su investigación iniciada hace cuatro años (véase 1888-92). En el trabajo señala que si uno se restringe a las ecuaciones diferenciales y a las condiciones de frontera necesarias, la teoría mecánica y la electromagnética de la luz, son equivalentes (J34], vol. II, p. 190).

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864-1928, Prusia) y Ludwig Christian Friedrich Holthorn (1860-1926, Alemania) desarrollan un escala de temperatura termoelectrica, en la forma de una función de la tercera potencia de la temperatura, a partir de la fuerza electromotriz de los termopares. Publican "Ueber die Messung höher Temperaturen" ("Sobre la medición de temperaturas altas")²¹⁷⁾ (J34], vol. VI, p. 470 y vol. XIV, p. 339).

Michael Idvorsky Pupin (1858-1935, Banat-Estados Unidos) publica *Elektrische Entladungen durch verdünnte Gase und koronaartige Entladungen* (J40], pp. 1382-1383)

Philipp Lenard (1862-1947, Austria-Hungría) ha estado trabajando como asistente de Hertz. Es aceptado como profesor con un trabajo sobre hidroelectricidad. Sin embargo, su principal interés, desde que leyó el artículo de Crookes de 1880 sobre el cuarto estado de la materia, es el estudio de los rayos catódicos. Utiliza el descubrimiento de Hertz de que las hojas delgadas de metal transmiten dichos rayos y construye un tubo con una ventana de Lenard. Con tal dispositivo logra dirigir los rayos fuera del espacio de descarga, hacia el aire o hacia un segundo tubo al vacío, en donde se les puede examinar independientemente del proceso de descarga (J34], vol. VIII, p. 180).

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928, Países Bajos) publica "La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants" ("La teoría electromagnética de Maxwell y su aplicación a los cuerpos en movimiento"). Habiendo aceptado el año pasado la acción contigua en los procesos electromagnéticos, propone una extensión a la teoría de Maxwell, a raíz de la insuficiencia de la teoría de Hertz de 1890, en el sentido de que no puede explicar los fenómenos ópticos (debido a su concepción del éter arrastrado). Continúa la exploración mecánica que Maxwell había comenzado. Aplica el principio de d'Alembert para derivar las ecuaciones de campo y de movimiento de una partícula cargada en ese campo. Hace una distinción total entre el campo electromagnético y la materia ponderable, al concebir al éter como estacionario, en lugar de ser arrastrado por los cuerpos en movimiento y supone que la conexión entre el campo y la materia son las partículas positivas y negativas, las cuales cree que son cuerpos rígidos pequeños y ponderables, que están dentro de toda molécula de materia común²¹⁸⁾. Llega a los siguientes conceptos: a) un

²¹⁶⁾ *Göttingen Nachrichten*

²¹⁷⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 47

²¹⁸⁾ En este año habla de *partículas cargadas*, en 1895, hablaba de *iones* y en 1899, de *electrones*

(continúa 1892)

cuerpo tiene carga si tiene exceso de alguno de estos dos tipos de partículas; b) una corriente eléctrica en un conductor es un flujo de estas partículas; c) un desplazamiento en un cuerpo no conductor es un desplazamiento de estas partículas a partir de sus posiciones de equilibrio; d) estas partículas crean el campo electromagnético y éste actúa ponderomotivamente sobre la materia ordinaria, mediante estas partículas.

Gracias a la separación que hace del éter y de la materia, Lorentz necesita sólo un par de magnitudes con dirección (una eléctrica y otra magnética) para definir el campo en un punto, exista o no materia en dicho punto.

Lorentz explica la interacción de la luz y la materia, argumentando que la luz incidente produce vibraciones de las partículas cargadas, las cuales, a su vez, producen ondas de luz que interfieren con las originales y las producidas por otras partículas.

La teoría de Lorentz de este año no es totalmente mecanicista. En ciertos aspectos, su éter es una sustancia inherentemente no mecánica. Dado que ocupa el mismo espacio que las partículas cargadas y las moléculas de la materia común y que sus propiedades no se ven afectadas por su coexistencia, el éter no tiene conexión mecánica con la materia ordinaria (*/34/*, vol. *IV*, p. 347 y vol. *VIII*, pp. 494-495).

Se funda la *Philadelphia Storage Battery Company*, compañía que llegaría ser la *Phileo Corporation* (*/25/*, p. 164).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) construye una unidad de potencia eléctrica para máquinas herramienta y textiles (*/40/*, p. 552).

Empiezan a utilizarse los rectificadores síncronos para convertir corriente alterna a corriente directa. Básicamente, estos dispositivos son conmutadores que invierten las conexiones de salida con cada cambio de polaridad del voltaje de entrada, dando una corriente continua de salida (*/25/*, p. 165).

André Eugène Blondel (1863-1938; Francia) sugiere la idea del oscilógrafo. Tan pronto como se introduce la corriente alterna surge un gran interés sobre la forma de onda de la corriente a través del tiempo. Varios experimentadores desarrollan métodos para obtenerla punto a punto, que resultan demasiado tediosos. Así, cuando Blondel sugiere el oscilógrafo, un instrumento que permitiría graficar la forma de onda completa instantáneamente, la idea genera gran interés (*/18/*, p. 312).

Leon Arons (1860-1919; Alemania) inventa una lámpara de vapor de mercurio (*/40/*, p. 66).

Se inicia la operación del primer sistema trifásico de transmisión de energía eléctrica de Suecia (11.2 km de longitud a un voltaje de 10 kV), uno de los primeros del mundo.

P. Lacour, en Dinamarca, diseña y construye una planta experimental para la generación de electricidad, usando un aerogenerador (véase 1890), aplicando los principios de Smeaton. Dicha planta sería centro de experimentación hasta 1929, cuando sería destruida por un incendio. El aerogenerador eléctrico utiliza rotores de cuatro palas de 25 m de diámetro, capaces de desarrollar entre 5 y 25 kW, con

(continúa 1892)

un generador situado en la base de una torre metálica de 24 m de altura²¹⁹⁾ ([66], pp. 143-146).

Cerca de Zurich, Suiza, entra en operación la primera planta hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo del mundo, la planta Lettern ([3], vol. 18, p. 502).

La empresa inglesa *Charing Cross and Strand Electricity Supply Corporation Limited*, formada en 1889, opera en Maiden Lane, Londres, Inglaterra, una planta de generación de energía eléctrica con cinco sistemas *Willans* (con una capacidad total de 900 kW) acoplados a un sistema de distribución de dos cables a 200/1,000 V. Cuatro años después, al crecer la demanda, la empresa construye otra planta con seis sistemas *Belliss* de alta velocidad de 200 kW, generando a 1,000 V de corriente directa. La corriente es conducida a través de los puentes Waterloo y Hunger Ford mediante ductos, y convertida a 200 V con motores generadores de 100 kW en dos subestaciones locales. Hacia finales de siglo la capacidad de la planta es de 4,400 kW, habiendo agregado dos máquinas adicionales de 1,000 kW cada una ([18], pp. 149-150).

Valdemar Poulsen (1869-1942; Dinamarca) inventa el telegráfico, un método de grabación magnética ([25], p. 165; [40], p. 1368).

Charles Leonard Armand Maurice Leblanc (1857-1923; Francia) y Hutin proponen la idea del multiplex de frecuencia, es decir, la posibilidad de enviar varios mensajes a la vez por una misma línea telefónica ([10], p. 26).

A. C. White inventa, para la *American Bell Telephone Company*, el transmisor telefónico llamado *de fondo sólido (solid back)*; el dispositivo consiste en una celda, parcialmente forrada con carbón y colocada en el lado frontal de un soporte rígido, cuyo frente es tapado con un pequeño diafragma de mica forrado con carbón, unido en el centro a un diafragma acústico grande colocado frente a la boquilla ([18], p. 235). Tiene la capacidad de manejar mayores corrientes dando señales más fuertes a mayores distancias²²⁰⁾ ([25], p. 165).

En las centrales telefónicas se instalan baterías comunes grandes, eliminando así la necesidad de utilizar baterías en cada teléfono ([25], p. 166).

Empieza un nuevo servicio telefónico de larga distancia entre Chicago, Illinois, y Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, distantes unos 1,440 km ([25], p. 165).

Alfred Rosling Bennet (1850-1928; Inglaterra) publica *An Electrical Parcels Exchange* ([40], p. 152).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) realiza la primera transmisión telefónica de una ópera, desde el *Hoftheater* de Stuttgart, Alemania ([40], p. 552).

²¹⁹⁾ Hacia 1908 se habían instalado ya más de 70 unidades de este modelo, antes de la Primera Guerra Mundial su número llegaría ya a cerca de 120.

²²⁰⁾ En esencia, este nuevo dispositivo se parece mucho a los transmisores que se utilizan hoy en día.

(continúa 1892.)

Almon Broun **Strowger** (1839-1902; Estados Unidos) inaugura la primera central automática telefónica en La Porte, Indiana, Estados Unidos (véase 1891) (*[1]*; *[25]*, p. 163).

Algunos autores consideran que Nathan B. **Stubblefield** (1859-1928; Estados Unidos) realiza la primera radiotransmisión de voz, a su amigo R. T. **Wells**. Nunca se publican los detalles del sistema, pero se supone que es una forma de transmisión inductiva o conductiva (*[25]*, p. 164).

William Henry **Preece** (1834-1913; Gales) realiza una transmisión inalámbrica de señales entre el Canal de Bristol y el Lago Ness, Reino Unido, utilizando tanto comunicación inductiva como conductiva (*[25]*, p. 165).

C. A. **Stevinson** sugiere que pueden realizarse comunicaciones entre barcos por medio de bobinas de alambre. Señala que mientras más grande sea la bobina, mejor resultará la comunicación (*[25]*, p. 165).

Augusto **Righi** (1850-1920; Italia) se interesa en las comunicaciones inalámbricas, motivado por una conferencia dictada por **Lodge** (*[25]*, p. 168). Comienza así a estudiar lo relacionado con las ondas electromagnéticas, la teoría y la práctica. **Righi** construye un oscilador esférico para ondas centimétricas (*[40]*, p. 1424).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) patenta un método para generar una onda continua a frecuencias de radio. El dispositivo correspondiente se llama productor de ondas y con él es posible producir frecuencias de entre 30 y 100 kc (*[25]*, p. 165).

Poco después de que E. Thomson patenta el productor de ondas (véase arriba), Valdemar **Poulsen** (1869-1942; Dinamarca) utiliza un generador de arco para producir ondas continuas de alta frecuencia sin atenuación para la transmisión de voz, llamado *arco de Poulsen* (*[40]*, p. 1368).

William **Crookes** (1832-1919; Inglaterra) propone que las ondas electromagnéticas se utilicen en la telegrafía e indica tres requerimientos básicos: 1) transmisores confiables; 2) receptores sensitivos y sintonizados; y 3) antenas direccionales. Escribe que «Dos amigos que vivan dentro del radio de sensibilidad de sus receptores y que hayan decidido, primero, sobre una longitud de onda específica y hayan sintonizado estos receptores, podrían comunicarse todo el tiempo que quisieran, sincronizando los impulsos para producir intervalos cortos y largos, bajo el código Morse.» (*[25]*, p. 166).

Frank Julian **Sprague** (1857-1934; Estados Unidos) construye en Estados Unidos una locomotora eléctrica con una potencia de 1,000 hp (*[18]*, p. 194).

Louis **Bell** (1864-1923; Estados Unidos) y Oscar T. **Crosby** publican *The Electric Railway* (*El tren eléctrico*) (*[40]*, p. 147).

Se introducen en el mercado los primeros automóviles eléctricos, operados con acumuladores. Sin embargo, no sería sino hasta varios años después que llegarían a ser populares (*[25]*, p. 164).

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

Continúa 1892)

Arsèn d'Arsonval (1851-1940, Francia) demuestra la forma en la que un ser humano puede conducir una corriente eléctrica lo suficientemente grande como para encender una lámpara ([3], vol. 1, p. 594)

Se crea la *General Electric Company*, al fusionarse la *Edison General Electric Company* y la *Thomson-Houston Company* ([25], p. 165). Mediante la consolidación de los negocios de Rudolf **Eickemeyer** (1831-1895, Alemania-Estados Unidos, con la empresa *General Electric Company*, se obtienen los servicios de Charles Proteus **Steinmetz** (1865-1923, Alemania-Estados Unidos) ([40], p. 514). Sidney Howe **Short** (1858-1902, Estados Unidos-Inglaterra) y Charles Francis **Brush** (1849-1929, Estados Unidos) venden su compañía *Short Electric Railroad Company*, fundada en 1889, a la *General Electric Company* ([40], p. 1541). Con estos hechos culmina un lapso de unos cuatro años (desde 1888) de fusiones y consolidaciones de las grandes compañías eléctricas de Estados Unidos. La *General Electric Company* es uno de los dos grandes sobrevivientes de la industria eléctrica de dicho país; el otro es la empresa *Westinghouse Electric Company* ([62], p. 120).

Frank Julian **Sprague** (1857-1934, Estados Unidos) funda la *Sprague Electric Elevator Company* ([62], p. 129).

Thomas O'Connor **Sinane** (1851-1940, Estados Unidos) publica *Electric Toy Making for Amateurs* (*Fabricación de juguetes eléctricos para aficionados*) ([40], p. 1559).

1892-94

Joseph **Sachs** (1870-1946, Estados Unidos) desarrolla un tren eléctrico sin troles; un fusible encerrado que no forma arco eléctrico; diversos aparatos para los trenes eléctricos ([40], p. 1464).

1892-96

Philipp **Lenard** (1862-1947, Austria-Hungría) descubre que: a) la deflectividad magnética de los rayos que atraviesan el tubo depende exclusivamente de las condiciones dentro del tubo; b) estos rayos externos, de Lenard, pierden su poder de causar fluorescencia, esto es, son absorbidos en proporción a la densidad e independientemente del carácter químico del medio circundante; y c) la trayectoria media libre de los rayos fuera del tubo excede por mucho del valor predicho si éstos estuvieran constituidos por iones gaseosos ([34], vol. XIII, p. 366).

1892-97

William Suddards **Franklin** (1863-1930, Estados Unidos) es profesor de física e ingeniería eléctrica en la *Leigh University* ([40], p. 600).

1892-98

Joseph **Sachs** (1870-1946, Estados Unidos) construye una planta pionera de separación magnética de minerales ([40], p. 1464).

1892-1902

Joseph **Sachs** (1870-1946, Estados Unidos) desarrolla un tren eléctrico sin troles; un fusible encerrado que no forma arco eléctrico; diversos aparatos para los trenes eléctricos ([40], p. 1464).

ca 1893

Herbert **Jackson** (1867-1936, Inglaterra) experimenta sobre la excitación de la fosforescencia mediante la descarga eléctrica en los tubos de rayos

(continúa ca. 1891)

catódicos²²¹⁾. Utiliza un cátodo cóncavo y un anticátodo inclinado para enfocar los rayos. Este dispositivo se convertiría en el prototipo de los tubos de rayos X ([40], p. 865).

1893

Cargill Gilston Knott (1856-1922; Escocia) publica *Electricity and Magnetism* ([34], vol. VII, p. 413).

Arthur Edwin Kennelly (1861-1939; India-Estados Unidos) publica su primer trabajo sobre la representación de las cantidades de la corriente alterna mediante variables complejas ([34], vol. VII, p. 288).

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923; Alemania-Estados Unidos) es el primero en usar la notación matemática compleja para los problemas de corriente alterna ([40], p. 1603). Empleando dicha notación logra reducir los cálculos para los circuitos de corriente alterna a simples operaciones algebraicas. Presenta dichos resultados en un artículo ante el *Congreso Internacional Eléctrico*. Se dice que nadie, excepto él, entiende el artículo ([10], p. 29).

Joseph Larmor (1857-1942; Irlanda) desarrolla teóricamente el *efecto Kerr*, en términos más generales respecto al trabajo de FitzGerald de 1880. Describe sus resultados en "The Action of Magnetism on Light" ("La acción del magnetismo sobre la luz")²²²⁾ ([34], vol. VII, p. 313).

Augusto Righi (1850-1920; Italia) comienza a divulgar sus propios descubrimientos respecto a las ondas electromagnéticas ([34], vol. XI, p. 460).

Righi investiga la reflexión de las ondas eléctricas por espejos metálicos²²³⁾ ([40], p. 1424).

Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) estudia la propagación de ondas electromagnéticas ([34], vol. LX, p. 155).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) señala que el estrato superior de la atmósfera es conductivo y que las ondas electromagnéticas se puedan enviar a largas distancias en el espacio entre la capa conductora y la tierra ([25], p. 166).

D. E. Jones traduce al inglés el primer volumen de los trabajos científicos de Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) con el título *Electric Waves* (*Ondas eléctricas*); dicho trabajo fue compilado por Lenard en 1892, ([3], vol. 5, p. 892).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra), en *Notes on Recent Researches in Electricity and Magnetism* (*Notas sobre investigaciones recientes en electricidad y magnetismo*), escrito como secuela de *Treatise on Electricity and Magnetism*, de Maxwell, examina matemáticamente la cuestión hipotética sobre qué pasaría si una carga eléctrica se liberara en la pared interior de un cilindro metálico cerrado. Este es quizás el primer análisis que sugiere la posibilidad de ondas en ductos huecos (o *guías de ondas*) ([52], p. 62). En este

²²¹⁾ Anticipándose al descubrimiento de Röntgen de 1895.

²²²⁾ *Report for the British Association for the Advancement of Science* (1893).

²²³⁾ La referencia [40] dice espejos mentales (*mental mirrors*).

(continúa 1893)

trabajo, Thomson representa la polarización dieléctrica como *tubos de fuerza* electrostáticos, los cuales nacen y mueren en los *átomos*, llevando en el extremo terminal la unidad electrolítica de electricidad, o electrón. Hace hincapié en la noción de momento electromagnético almacenado en el medio (como consecuencia del movimiento de translación de los tubos, a causa del magnetismo) (134), vol. XIII, pp. 364-365).

Michael Idvorsky Pupin (1858-1935; Banat-Estados Unidos) publica *Über elektrische Oszillationen von geringer Frequenz und ihre Resonanz* (Sobre las oscilaciones eléctricas de baja frecuencia y su resonancia) (140), pp. 1382-1383).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) logra transmitir ondas hertzianas a 137 m. Aparentemente no se da cuenta de las posibilidades tan importantes de esta forma de comunicación (125), p. 168).

Amos Emerson Dolbear (1837-1910; Estados Unidos) toma fotografías utilizando ondas eléctricas (140), pp. 469-470).

Lucien De la Rive (1834-?; Suiza) y E. Sarasin demuestran finalmente que las velocidades de propagación de las ondas hertzianas a través del aire y a través de alambres son iguales (149), p. 324).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) escribe la monografía *Grundriss der allgemeinen Thermochemie* la cual tiene una introducción histórica de 31 páginas.

Planck escribe además *Vorlesungen über Thermodynamik* (Lecciones sobre termodinámica). Esta obra estaría vigente por más de treinta años como una presentación excepcionalmente clara y sistemática de la termodinámica. Se realizarían las siguientes traducciones: al ruso (en 1900), al inglés (1903), al francés (1913), al español (1922), al japonés (1932); la 11^{er} edición alemana aparecería en 1966 (134), vol. XI, p. 8).

James Dewar (1842-1923; Escocia) publica "The Electrical Resistance of Metals and Alloys at Temperatures Approaching the Absolute Zero" ("La resistencia eléctrica de los metales y aleaciones a temperaturas que se acercan al cero absoluto")⁽²²⁴⁾ (134), vol. IV, p. 81).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) concluye que la luz estriada positiva es muy importante para el entendimiento de las descargas y que los rayos catódicos son un asunto local y secundario. En "On the Effect of Electrification and Chemical Action on a Steam Jet[...]" ("Sobre el efecto de la electrificación y la acción química de un chorro de vapor[...])"⁽²²⁵⁾, Thomson prosigue con la línea de investigación de 1887, sobre la descomposición de los gases por descargas eléctricas (134), vol. XIII, pp. 365-366).

Éleuthère Élie Nicolas Mascart (1837-1908; Francia) propone el nombre de *henry* para la unidad eléctrica estándar de resistencia inductiva o inductancia, en honor de Joseph Henry (1797-1878; Estados Unidos) (13), vol. 5, p. 854; (25), p. 167).

²²⁴⁾ *Philosophical Magazine*, 5^a ser., 36.

²²⁵⁾ *Philosophical Magazine*, 36.

(continúa 1893)

Se celebra en Chicago, Illinois, Estados Unidos, el *Cuarto Congreso Eléctrico Internacional*, bajo la presidencia de Hermann von **Helmholtz** (1821-1894; Alemania). William Henry **Preece** (1834-1913; Gales), William Edward **Ayrton** (1847-1908; Inglaterra), Silvanus Phillips **Thompson** (1851-1916; Inglaterra) y Alexander **Siemens** (1847-1929; Alemania) son los representantes de Inglaterra. El Congreso recomienda adoptar como unidades legales las siguientes: *resistencia*, el Ohm Internacional (basado en el ohm), igual a 10^9 unidades de resistencia del sistema de unidades electromagnéticas CGS, representado por la resistencia que una columna de mercurio de 14.4521 g, de sección transversal constante y una longitud de 106.3 cm, a la temperatura de fundición de una masa de hielo, ofrece a una corriente constante; *corriente*, el Ampere Internacional, igual a un décimo de la unidad de corriente del sistema CGS, representada por la corriente que al pasar a través de una solución de nitrato de plata en agua, deposita plata a una razón de 0.001118 g/s; *fuerza electromotriz*, el Volt Internacional, que es la fem que aplicada constantemente producirá una corriente de un ampere Internacional, equivalente a la fem de una pila de **Clark** (véase 1873) a 15 °C; *cantidad de electricidad*, el Coulomb Internacional, la cantidad de electricidad transportada por un ampere en un segundo; *capacidad eléctrica*, el Farad Internacional, igual a la capacidad de un condensador al que una carga de un coulomb elevaría un volt; *trabajo*, el Joule Internacional, que iguala a 10^7 unidades de trabajo en el sistema CGS, o la energía consumida cuando un ampere pasa a través de una resistencia de un ohm por un segundo; *potencia*, el Watt Internacional, 10^7 unidades en el sistema CGS, o la potencia cuando el consumo de energía es a razón de un joule por segundo; e *inducción*, el Henry Internacional, igual a la inducción en un circuito en el que un cambio de un ampere por segundo induce un potencial de un volt ([16], p. 80; [18], pp. 302-303; [25], p. 167).

La legislación inglesa aprueba ciertas normas eléctricas (*resistencia*, relacionada con las dimensiones y peso de una columna de mercurio; *corriente*, por deposición de la plata). Da a la pila de **Clark** (véase 1873) estatus legal como norma de voltaje. Define el *volt* como el potencial eléctrico que, aplicado sin variaciones a un conductor cuya resistencia es un ohm, producirá una corriente de un ampere. Define el *ampere estándar* como un $1,000/1,434$ de la fuerza electromotriz (fem) entre los polos de la pila de **Clark** a una temperatura de 15 °C ([18], p. 50).

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz **Wien** (1864-1928; Prusia), empleando consideraciones teóricas, encuentra el desplazamiento de cualesquiera dos curvas de temperatura, comportamiento característico de la radiación electromagnética (véase **Lummer** y **Pringsheim**, 1899) ([34], vol. XIV, p. 339). Esta ley del desplazamiento (*ley de Wien*) establece que el producto de la longitud de onda a máxima densidad de energía por la temperatura absoluta es constante ([40], p. 1796).

Edward **Weston** (1850-1936; Inglaterra-Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 494,827) para su pila de sulfato de cadmio (véase 1891). Esta nueva pila sería aceptada como el estándar mundial para la fuerza electromotriz, reemplazando al estándar **Weston** anterior. Poco después recibirla la patente británica (no. 640,812/297,381) ([25], p. 167; [52], p. 62).

A Charles Martin **Hall** (1863-1914; Estados Unidos) se le mantiene la patente de 1886, sobre un proceso electrolítico para fabricar aluminio, y se le concede la prioridad sobre **Hérault** ([40], p. 737).

(continúa 1891)

Dugald Caleb Jackson (1865-1951; Estados Unidos) publica *Text-book on Electromagnetism and Construction of Dynamos* (Libro de texto sobre electromagnetismo y construcción de dinamos) ([40], p. 863).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) escribe *Original Papers on Dynamo Machinery and Allied Subjects* (Artículos originales sobre los dinamos y temas afines) ([34], vol. VI, p. 304).

Artur Krebs (1847-1935; Francia) construye un motor eléctrico multipolar para el submarino *Gustav Zédé* (véase 1888) ([40], p. 968).

Knut Johan Ångström (1857-1910; Suecia) inventa un pirhelímetro eléctrico de compensación ([3], vol. I, p. 414; [40], p. 34).

Marks construye una lámpara de arco eléctrico encerrado, en la que el arco se produce dentro de un pequeño tubo de vidrio. Esto restringe el flujo de oxígeno y reduce el desgaste (consumo) de los carbones, incrementando la potencia y reduciendo el mantenimiento en un 20% ([18], p. 128).

La *World's Columbian Exposition*, en Chicago, Illinois, Estados Unidos, es iluminada por 93,000 lámparas. La potencia se distribuye mediante sistemas bifásicos de Tesla, los cuales requieren los generadores más grandes del mundo, que proveen voltajes desfasados 90° uno con respecto al otro ([3], vol. 18, p. 494, [25], p. 167; [34], vol. XIII, p. 287).

Wilbur Morvis Stine (1863-1934; Estados Unidos) es miembro de la *World's Columbian Exposition*, en Chicago, Illinois, Estados Unidos ([40], p. 1613).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) es ingeniero consejero de la *Great Barrington Electric Light Company*, compañía de su ciudad natal, Great Barrington, Massachusetts, Estados Unidos ([40], p. 1362).

George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos) y la *International Niagara Commission* (encargada de encontrar la mejor manera de transmitir potencia hidroeléctrica desde las cataratas del Niágara hasta la ciudad de Buffalo, Nueva York, Estados Unidos, a unos 35 km de distancia) adoptan el sistema de corriente alterna para los generadores hidroeléctricos en las Cataratas del Niágara, debido a su mayor eficiencia en la transmisión ([25], p. 167). Westinghouse construye los diez primeros dinamos para este sistema ([3], vol. 18, p. 494; [40], p. 1784).

George Francis FitzGerald (1851-1901; Irlanda) propone la posibilidad de utilizar capas ionizadas de gas para reflejar la señales inalámbricas. Idea similar a la sugerida por Tesla (véase arriba)²²⁶⁾ ([25], p. 167).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) dicta una conferencia en el *Franklin Institute*, en Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, sobre un plan para transmitir potencia por medios inalámbricos ([25], p. 167).

²²⁶⁾ Heaviside y Kennelly, en 1901, revisarian nuevamente dicha tesis

(continúa 1893)

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos), en una conferencia en San Louis, Missouri, Estados Unidos, propone el uso de un conductor elevado y de conexiones terrestres para la transmisión inalámbrica⁽²²⁷⁾ ([34], vol. XIII, p. 287; [40], p. 1659).

Emil Rathenau (Alemania) demuestra un sistema conductivo de comunicación inalámbrica, transmitiendo señales telegráficas a lo largo de unos 5 km de agua ([25], p. 168).

Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos-Inglaterra) entra a trabajar a la *Walker Manufacturing Company*, en donde perfecciona aún más los equipos de tracción eléctrica ([40], p. 1541).

La *World's Columbian Exposition*, en Chicago, Illinois, Estados Unidos, es el primer lugar público en usar el nuevo sistema de potencia eléctrica de corriente alterna. Un generador bifásico que proporciona dos voltaje desfasados 90° uno con respecto al otro, abastecen de potencia a diversos motores y al alumbrado de la exposición. George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos), principal promotor del sistema de corriente alterna, presenta la posibilidad de una cocina eléctrica, con el fin de popularizar el uso de dicho tipo de corriente para distribución general ([3], vol. 18, p. 494; [25], p. 167; [34], vol. XIII, p. 287). Con dicho evento se da por terminada la guerra de las corrientes -corriente directa vs. corriente alterna- (véase Tesla, 1888) ([3], vol. 12, pp. 605-606).

Karl Friedrich Benz (1844-1929; Alemania) mejora su motor de gasolina y utiliza una versión de éste (de 3.5 cv) en un vehículo de cuatro ruedas. Esta versión mejorada del motor seguiría produciéndose hasta 1901. Su ignición es provocada por medio de una bobina eléctrica de inducción, alimentada por un acumulador y provista de un sistema de contacto rotatorio movido por el mismo motor, a fin de que la chispa se produzca en el momento adecuado del ciclo de cuatro tiempos. Dicho sistema es adoptado muy pronto por otros fabricantes de motores. La chispa se produce por medio de una bujía desmontable, de diseño esencialmente moderno, situada en la culata del cilindro ([55], pp. 888-889).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) descubren que la corriente producida en un fototubo es proporcional a la intensidad de la iluminación recibida por el cátodo (véase 1890) ([10], p. 48).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) asiste a una de las últimas conferencias dadas por Righi sobre las transmisiones inalámbricas. Mientras está de vacaciones en los Alpes, tiene la oportunidad de leer un artículo en el que se describen los trabajos de Hertz. Marconi interrumpe sus vacaciones para regresar a Italia y comenzar sus experimentos en este campo ([25], p. 168), en donde cuenta con la asistencia del propio Righi ([34], vol. IX, p. 98).

1893-94

Wilbur Morvis Stine (1863-1934; Estados Unidos) es editor de la revista *Electrical Engineering* ([40], p. 1613).

²²⁷⁾ El dispositivo que emplea contiene todos los elementos de producción de chispas y ondas continuas, los cuales se incorporarían a los transmisores de radio antes de la invención del bulbo.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- 1893-95 Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) realiza la conversión de una planta de vapor a hidráulica (*J40*, p. 1362).
- 1893-98 Joseph Sachs (1870-1946; Estados Unidos) desarrolla un sistema de señales de alarma eléctrica contra incendios; un sistema de coches eléctrico de bomberos; señales para cables y trenes eléctricos; maquinaria eléctrica de composición tipográfica y sistemas eléctricos de calentamiento y fundición (*J40*, p. 1464).
- Wilbur Morvis Stine (1863-1934; Estados Unidos) es director de ingeniería eléctrica del *Armour Institute of Technology* (*J40*, p. 1613).
- 1893-1900 Henry Price Ball (1868-1941; Estados Unidos), trabajando para la *Ward-Leonard Electric Company*, diseña y patenta la línea completa de atenuadores de réostato de iluminación para teatros y de los interruptores de circuito para control de la corriente eléctrica (*J40*, p. 100).
- 1894 Thomas O'Connor Sloane (1851-1940; Estados Unidos) publica *Standard Electrical Dictionary* (*Diccionario eléctrico estándar*) (*J40*, p. 1559). En él, Sloane incluye términos (que no perdurarían por mucho tiempo) tales como: *electrepeter*, *electromotograph*, *Joulad*, la *Mack unit*, *microtasimeter*, *paragreles*, *telephote* y otros (*J16*, p. 298).
- Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Beiträge zur molecularen Theorie der Piezoelectricität" ("Contribuciones a la teoría molecular de la piezoelectricidad")⁽²²⁸⁾ (*J34*, vol. XIV, p. 62).
- Pierre Curie (1859-1906; Francia) publica "Symétrie dans les phénomènes physiques, symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique" ("Simetría de los fenómenos físicos, simetría de un campo eléctrico y de un campo magnético")⁽²²⁹⁾. En dicho artículo establece una ley (que después llegaría a conocerse como la *ley de simetría de Curie*): «Cuando ciertas causas producen determinados efectos, las simetrías en las causas reaparecen, en su totalidad, en los efectos; si un efecto incluye una simetría, ésta aparece, necesariamente, en la causa». Un fenómeno dado posee una simetría característica, la cual es la máxima simetría compatible con la existencia de dicho fenómeno y éste no puede existir en un ambiente que contiene un elemento de simetría (centro, eje o plano) que no esté incluido en su simetría característica. Por ejemplo, este principio establece que la simetría característica de un campo eléctrico es la de un tronco de un cono de revolución que no tiene ni un plano ni un eje de simetría perpendicular al eje de revolución. Por lo tanto, se pueden predecir cuáles cristales son piroeléctricos, así como la dirección del campo eléctrico. Para el campo magnético, la simetría característica es la de un cilindro de revolución girando sobre su eje, lo cual explica el fenómeno de polarización magnética rotatoria (*J34*, vol. III, pp. 503 y 505).
- Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) publica su primer trabajo científico, "Sur les propriétés magnétiques des aciers trempés" ("Sobre las propiedades del acero templado"), para la *Société pour l'Encouragement de l'Industrie Nationale* (*J34*, vol. III, p. 498).

²²⁸⁾ *Annalen der Physik*, 51, pp. 638-660.

²²⁹⁾ *Journal de physique*, 3.

(continúa 1894)

Oliver Heaviside (1850-1925; Inglaterra) publica *Electromagnetic Theory* (Teoría electromagnética), el cual es un tratamiento de la teoría electromagnética. Formula el teorema de expansión (J40), p. 775). Propone la representación de la distribución de la corriente y el voltaje en un cable, mediante funciones hiperbólicas (J34), vol. VII, p. 288).

August Otto Föppl (1854-1924; Alemania) publica *Einführung in die Maxwell'sche Theorie der Elektrizität* (Introducción a la teoría maxwelliana de la electricidad) (J40), p. 386).

Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Ueber Medien ohne innere Kräfte und über eine durch sie gelieferte mechanische Deutung der Maxwell-Hertz'schen Gleichungen"⁽²³⁰⁾ (J34), vol. XIV, p. 62).

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelandia-Inglaterra) examina la magnetización del hierro por corrientes eléctricas de alta frecuencia, tales como las descargas oscilatorias de una botella de Leyden. Muestra que dicha magnetización ocurre aun para frecuencias superiores a los 10^8 cps. Descubre que las corrientes de alta frecuencia en una bobina decrecientan la magnetización de un núcleo de hierro dulce. Este descubrimiento lo lleva a la invención del detector magnético⁽²³¹⁾ (J1), J3, vol. 18, pp. 202-204; J34, vol. XII, p. 26).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos) investiga los efectos magnéticos de las oscilaciones de alta frecuencia y es uno de los muchos pioneros de la transmisión inalámbrica (J34), vol. XIII, p. 473).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra), en la conferencia para conmemorar la muerte de Hertz, ocurrida hace cinco meses, enfatiza los aspectos experimentales de su trabajo y resalta la importancia de la sintonía resonante. La conferencia se publica como "The Work of Hertz" ("La obra de Hertz")⁽²³²⁾ y luego se publicaría como el libro *The Works of Hertz and His Successors* (La obra de Hertz y sus sucesores), el cual sería de gran influencia en el desarrollo de la radiotelegrafía (J34), vol. VIII, p. 444).

En Leipzig se publica póstumamente una segunda edición alemana de la obra de Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania), *Gesammelte Werke*. Esta edición constituiría el segundo volumen definitivo de la colección completa de trabajos de Hertz (véanse Lenard, 1892 y Jones, 1893) (J6), pp. 108-109; J34, vol. VI, p. 349).

Jules Henri Poincaré (1854-1912; Francia) publica "Oscillations électriques" ("Oscilaciones eléctricas") (J6), p. 175).

Augusto Righi (1850-1920; Italia), a diferencia de Marconi, experimenta con las ondas electromagnéticas para demostrar las leyes de la óptica clásica. Para no recurrir a espejos, prismas y lentes de dimensiones prohibitivas, logra reducir el tamaño de las ondas a 26 mm⁽²³³⁾ (J34), vol. XI, pp. 460-461).

²³⁰⁾ *Annalen der Physik*, 52, pp. 665-672.

²³¹⁾ El cual llegaría a reemplazar a los cohesores en los sistemas inalámbricos.

²³²⁾ *Electrician*, 33.

²³³⁾ Lo que abriría el campo de investigación de las microondas.

(continúa 1894)

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919, Inglaterra) desarrolla la teoría matemática correspondiente a la amplitud modulada ([16], p. 27)

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947, Alemania) expresa claramente, en su conferencia inaugural en la *Academia de Berlín*, la esperanza «de que podamos explicar aquellos procesos que son directamente dependientes de la temperatura, como se manifiestan especialmente en la radiación del calor, sin tener que hacer primero un laborioso rodeo a través de la interpretación mecánica de la electricidad» ([34], vol. XI, p. 10)

Joseph Larmor (1857-1942, Irlanda) presenta su teoría eléctrica en una serie de 3 artículos, todos bajo el título "A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium" ("Teoría dinámica del medio eléctrico y luminífero") y aparecidos en 1894, 1895 y 1898. En el trabajo de este año, Larmor combina el éter óptico de MacCullagh (propuesto en la década de los años 1830) con la teoría del campo electromagnético, identificando la fuerza magnética con la razón de desplazamiento del éter y el desplazamiento eléctrico con la rotación absoluta del medio. Al principio, trata las corrientes eléctricas amperianas permanentes de los átomos materiales como anillos de vórtices en el éter (por lo tanto, introduciendo la teoría de vórtices de W. Thomson). No incluye de forma integral la carga eléctrica; sin embargo, dos meses después de haber escrito el artículo, añade una sección que incorpora los «electrones» a su teoría, como centros móviles de tensión (*strain*) rotacional en el éter ([34], vol. VIII, p. 40).

Paul Karl Ludwig Drude (1863-1906, Alemania) publica *Physik des Äthers* (*Física del éter*), uno de los primeros libros alemanes que basan las explicaciones de los fenómenos eléctricos y ópticos en la teoría de Maxwell ([34], vol. IV, pp. 189 y 191).

Paul Karl Ludwig Drude (1863-1906, Alemania) investiga con mayor profundidad la relación entre las constantes eléctricas y ópticas y la constitución de las sustancias. De acuerdo con la teoría maxwelliana, mientras mayor sea la conductividad eléctrica de un material, mayor debe ser la absorción de la luz. Drude encuentra que no siempre se cumple esta afirmación y explica que tal absorción selectiva se debe a un fenómeno de resonancia con el período natural de los constituyentes moleculares de las sustancias ([34], vol. II, p. 191). Drude obtiene una expresión correcta para la conductividad eléctrica ([34], vol. XIV, p. 208).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920, Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923, Alemania) descubren la dependencia de la corriente fotoeléctrica con la polarización de la luz, así como un efecto fotoeléctrico *normal* y uno *selectivo* (véase 1893)²³⁴⁾ ([34], vol. IV, p. 355)

Joseph John Thomson (1856-1940, Inglaterra), en "On the Velocity of the Cathode-Rays" ("Sobre la velocidad de los rayos catódicos")²³⁵⁾, escribe un valor incorrecto para la velocidad de propagación de los rayos catódicos. Trata de convencer a los eteristas²³⁶⁾ de que los rayos están constituidos por partículas.

²³⁴⁾ Estos efectos llegarían a tener mucha importancia en la teoría electrónica de los metales

²³⁵⁾ *Philosophical Magazine*, 38.

²³⁶⁾ La escuela inglesa se basa en que los rayos catódicos son partículas cargadas, ya que se pueden desviar con campos electromagnéticos; mientras que la escuela alemana establece que son una perturbación del éter, dada su capacidad de hacer que el vidrio fluoreszca.

(continúa 1894)

mostrando que viajan a una velocidad menor a la de la luz, pero sus resultados (erróneos en dos órdenes de magnitud) no son convincentes ([34], vol. XIII, p. 366).

Se instalan en Inglaterra como instrumentos estándar legales, aprobados por el Consejo de Comercio del gobierno inglés, dos balanzas de corriente de W. Thomson especialmente diseñadas por Cardew, y calibradas mediante deposición electrolítica en un circuito. El ampere estándar es definido como «Una unidad estándar de corriente eléctrica, denominada ampere, es la corriente que pasa en y a través de las bobinas de alambre que forman parte del instrumento marcado Ampere Estándar del Consejo de Comercio Verificado en 1894, cuando, al invertir la corriente en las bobinas fijas, los cambios en las fuerzas que actúan sobre la bobina suspendida en su posición vertical son exactamente balanceados por la fuerza ejercida por la gravedad, en Westminster, sobre la pesa de iridio-platino marcada A, y que forma parte del instrumento mencionado» ([18], p. 298).

Las recomendaciones del Cuarto Congreso Eléctrico Internacional, de Chicago, Illinois, Estados Unidos, (véase 1893) cobran carácter legal en lo tocante a resistencia, corriente y voltaje eléctricos ([18], p. 303).

Edward Leamington Nichols (1854-1937; Inglaterra-Estados Unidos) publica *The Galvanometer (El galvanómetro)* ([40], p. 1254).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) publica "An Attempt at a Quantitative Theory of the Telephone" ("Esbozo de una teoría cuantitativa del teléfono")²³⁷⁾ ([34], vol. XIII, p. 105).

Schuyler Skaats Wheeler (1860-1923; Estados Unidos) y Francis B. Crocker publican *Practical Management of Dynamos and Motors (Administración práctica de los dinamos y motores)* ([40], p. 1786).

Charles Algernon Parsons (1854-1931; Inglaterra) construye e instala un equipo de turboalternadores de 350 kW, a 3,000 rpm, en la planta de energía eléctrica (de la compañía *Metropolitan Electric Supply Company*) de Manchester Square, Londres, Inglaterra. Reemplaza los diez equipos Willans de 120 kW de capacidad, que funcionaban a 350 rpm, mismos que causaban tales vibraciones que los habitantes de la zona emprendieron acción legal para que se suprimiera el ruido de la planta (véase 1891) ([18], p. 199).

Charles Leonard Armand Maurice Leblanc (1857-1923; Francia) construye un *panchachuteur*, un convertidor giratorio ([40], p. 1013).

William Hardman Scott (?-1938; Inglaterra) inventa un arreglo de transformadores eléctricos para convertir de dos a tres fases ([18], p. 172).

Frank Leonard Pope (1840-1895; Estados Unidos) publica *Evolution of the Electric Incandescent Lamp (Evolución de la lámpara eléctrica incandescente)* (véase 1889) ([40], p. 1362).

²³⁷⁾ *Philosophical Magazine*, 173.

(continúa 1894)

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) defiende los sistemas de corriente alterna frente a los de corriente directa: «Las combinaciones de dos fases y tres fases de la corriente alterna que emplean tres o cuatro alambres para su transmisión en lugar de los sistemas ordinarios de dos alambres de conductores son ya bien conocidas y sus ventajas totalmente reconocidas» ([18], p. 171).

William LeRoy Emmet (1859-1941; Estados Unidos) publica *Alternating Current Wiring and Distribution* (Cableado y distribución de la corriente alterna) ([40], p. 523).

Se funda la empresa *Brighton Corporation* (que absorbe a la *Hammond Electric Light Company*), en Inglaterra. Establece el primer sistema municipal de suministro de electricidad. Opera una planta con un sistema de dos cables de 115 V y cuatro sistemas *Willans* conectados a dos dinamos de 45 kW y a dos de 120 kW. Una batería mantiene el servicio durante la noche, cuando las máquinas se apagan. Hacia 1900 la capacidad instalada de este sistema sería ya de 6,000 kW suministrados por 19 máquinas *Willans* ([18], p. 151).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) realiza su primera transmisión inalámbrica ([16], p. 301).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) da el nombre de *cohesor* al detector de *Branly* (véase *Branly*, 1890), y muestra que dos esferas metálicas en contacto ligero una con la otra manifiestan el mismo fenómeno. Muestra también un dispositivo *descohesor* que restablece automáticamente la alta resistencia del cohesor mediante un golpeo mecánico con una campana eléctrica en el circuito de la pila (poco más tarde Popov haría una propuesta similar) ([18], p. 268).

Henry Morton Brinckerhoff (1868-1949; Estados Unidos) construye el primer camino elevado largo para la transportación urbana (*large elevated road for city transportation*) operado con electricidad ([40], p. 242).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) participa en la fundación de la *École Supérieure d'Électricité*, de Francia ([34], vol. I, p. 304).

Thomas O'Connor Sloane (1851-1940; Estados Unidos) publica *How to Become a Successful Electrician* (Cómo convertirse en un electricista exitoso) ([40], p. 1559).

ca 1895

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) notan que en un recipiente cerrado que contiene dos electrodos se establece un flujo de carga desde el electrodo caliente hacia el frío (véase A.-E. Becquerel, 1853) ([58], p. 157).

Ocurre un gran desarrollo de las máquinas de corriente directa. Surgen dos formas principales para los rotores. Una de ellas, conocida como *jaula de ardilla*, consiste en un ensamble de estampados de hierro, formando un cilindro ranurado, con una serie de varillas de cobre colocadas en las ranuras y cuyos extremos están conectados a anillos de cobre de modo tal que todas están en corto circuito. La otra emplea un rotor devanado, cuyo enrollado está en una formación de tres fases, con un extremo de cada grupo llevado a un punto común para los

(continúa ca. 1895)

tres y los otros extremos conducidos a tres diferentes anillos deslizantes. En ambos tipos de motor de inducción el rotor gira dentro de un estator provisto con devanados en las ranuras de la cara interior de un núcleo laminado. Cuando los devanados son alimentados con una corriente de dos o tres fases, producen un campo giratorio que arrastra al rotor junto con él (118), p. 189).

1895

Edward Leamington Nichols (1854-1937; Inglaterra-Estados Unidos), Merritt, Bedell y otros publican *A Laboratory Manual of Physics and Applied Electricity* (Manual de laboratorio de física y electricidad aplicada), en dos volúmenes (140), p. 1234).

Arthur Edwin Kennelly (1861-1939; India-Estados Unidos) amplía la idea de Heaviside de 1894 (representar la distribución de la corriente y el voltaje en un cable mediante funciones hiperbólicas), al utilizar funciones hiperbólicas complejas e introduce la notación polar para las cantidades complejas (134), vol. VII, p. 288).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) publica "Propriétés magnétiques de corps à diverses températures" ("Propiedades magnéticas de los cuerpos a diferentes temperaturas")²³⁸⁾, el cual es su tesis doctoral, y constituye la base de todas las teorías posteriores sobre el magnetismo. Divide las sustancias en términos de sus propiedades magnéticas: 1) ferromagnéticas (p. ej. el hierro), las cuales siempre se magnetizan a un alto grado; 2) paramagnéticas (oxígeno, paladio, platino, manganeso y sales de hierro, manganeso, cobalto y níquel), las que se magnetizan en la misma dirección que el hierro, pero mucho más débilmente; y 3) diamagnéticas (que incluyen la mayor parte de los elementos y compuestos), cuya muy baja magnetización está en la dirección contraria a la del hierro, bajo el mismo campo magnético. Sus resultados establecen que, para las sustancias diamagnéticas, la susceptibilidad negativa permanece invariable en los cambios de temperatura y que esta propiedad no depende del estado físico del material. De aquí que el diamagnetismo debe ser una propiedad específica de los átomos y es resultado de la acción del campo magnético sobre las partículas internas de los mismos. Existe también en las sustancias ferromagnéticas o paramagnéticas, pero debido a su debilidad parece imperceptible.

Por el contrario, dice Curie, el ferromagnetismo y el paramagnetismo son propiedades de agregados de átomos y están íntimamente relacionadas. El primero decae cuando se eleva la temperatura de la sustancia y da paso a un paramagnetismo muy débil, a una temperatura característica (punto o temperatura de Curie). Por su parte, la susceptibilidad magnética de las sustancias paramagnéticas es inversamente proporcional a la temperatura absoluta (ley de Curie)²³⁹⁾ (134), vol. III, p. 506).

Francis Eugene Nipher (1847-1927; Estados Unidos) publica *Electricity and Magnetism: A Mathematical Treatise for Advanced Undergraduate Students* (Electricidad y magnetismo: tratado matemático para estudiantes avanzados de licenciatura) (140), p. 1259).

Dugald Caleb Jackson (1865-1951; Estados Unidos) publica *Electricity and Magnetism* (Electricidad y magnetismo) (140), p. 865).

²³⁸⁾ *Journal de physique*, 4.

²³⁹⁾ Algunos años después, P. Langevin ofrecería una versión mecánico-cuántica del fenómeno del magnetismo. Ambas teorías, la de Curie y la Langevin, constituyen la base de las modernas teorías del magnetismo.

(continúa 1895)

Ludwig Boltzmann (1844-1906; Austria) publica una edición alemana del trabajo "On Faraday's Lines of Force" ("Sobre las líneas de fuerza de Faraday"), de Maxwell, a la cual titula *Über Faraday's Kraftlinien*, con 31 páginas de anotaciones propias. Boltzmann es uno de los principales responsables de la aceptación de la teoría de Maxwell en Europa continental, aun cuando no contribuye mucho para su desarrollo (f34, vol. II, p. 266).

Michael Idvorsky Pupin (1858-1935; Banat-Estados Unidos) publica *Das Gesetz des elektromagnetischen Inductionflusses* (Principios de las corrientes eléctricas de inducción) (f40, pp. 1382-1383).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos) y William Duane (1872-1935; Estados Unidos) investigan la velocidad de propagación de las ondas eléctricas (f34, vol. XIII, p. 473).

Arthur Gordon Webster (1863-1923; Estados Unidos) recibe el Premio Thomson (5,000 francos), en París, Francia, por su investigación experimental sobre el período de las oscilaciones eléctricas (f40, p. 1769).

Jagadis Chunder Bose (1858-1937; India) describe sus experimentos sobre las propiedades casi ópticas de las ondas de radio de muy corta longitud de onda. Estos experimentos llevan a Bose a diseñar y construir algunos dispositivos de generación de dichas ondas. Sus mejoras al cohesor²⁴⁰⁾ son de importancia científica y tecnológica y lo motivan a formular una teoría más general de las propiedades de las sustancias sensibles al contacto, teoría que yace en el campo de lo que después llegaría a conocerse como la física del estado sólido (f34, vol. II, p. 323).

Piotr Nikolaievich Lebedev (1866-1912; Rusia) publica "O dvoynom prelomenii luzhei elektrocheskoi sili" ("Sobre la doble refracción de los rayos de la fuerza eléctrica"), en el cual informa sobre la construcción de un vibrador extremadamente pequeño que le permite obtener ondas de 4 a 6 nm, a partir del espectro de una chispa. Debido al tamaño de su dispositivo puede investigar, por primera vez, la doble refracción de las ondas electromagnéticas en cristales naturales de azufre romboidal (f34, vol. VIII, pp. 106-107).

Vilhelm Frimann Koren Bjerknes (1862-1951; Suecia) publica "Über electrische Resonanz" ("Sobre la resonancia eléctrica"), en el cual anuncia su descubrimiento de las curvas teóricas y experimentales del fenómeno de la resonancia eléctrica (f34, vol. II, p. 167). Este trabajo es importante para el desarrollo de la telegrafía inalámbrica (f40, p. 183).

Como consecuencia de su esfuerzo por la generalización, Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) defiende la segunda ley de la termodinámica, en la forma en que Clausius la postuló, en contra de las excesivas simplificaciones de los nuevos energéticos -G. Helm, W. Ostwald y después Mach (f34, vol. XI, p. 9).

Planck empieza a estudiar la electrodinámica como preparación para extender el principio del incremento de la entropía a todas las fuerzas de la naturaleza (véase 1891); estudia la irreversibilidad de la radiación del calor. La meta de Planck es la investigación de los procesos irreversibles a través del

²⁴⁰⁾ Un tubo de vidrio con limaduras de hierro, utilizado como una primera versión de detector de ondas de radio.

(continúa 1895)

estudio de los efectos conservativos (es decir, amortiguamiento conservativo o de radiación). A partir de un «conductor secundario» hertziano concreto (un receptor), confirma sus primeros pasos matemáticos mediante los experimentos de V. Bjerknes con los osciladores, también llamados resonadores. Planck elimina gradualmente todas sus propiedades especiales en los cálculos, ya que no conoce nada sobre su naturaleza real. Tan pronto como los experimentadores de Berlín logran construir el segundo cuerpo negro de Kirchhoff, el *hohlraum*, Planck hace la similitud de ciertos cuerpos radiantes reales con el «estado de radiación del vacío», aún cuando sigue empleando la expresión «resonador» en sus cálculos ([34], vol. XI, pp. 10-11).

Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928; Países Bajos) publica *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern* (Investigaciones de una teoría de efectos ópticos y eléctricos en cuerpos en movimiento). A diferencia de su posición de 1892, cuando derivó las ecuaciones básicas de su teoría a partir de principios mecánicos, ahora simplemente postula estas ecuaciones escribiéndolas, por primera vez, en notación vectorial. Establece cuatro ecuaciones que describen el campo electromagnético en el vacío y formula una quinta ecuación que describe la fuerza eléctrica ejercida por el éter sobre la materia ponderable que contiene las partículas con carga unitaria²⁴¹. Para tal efecto, Lorentz adopta la ecuación electrodinámica de Clausius de 1880 ([34], vol. III, p. 310) y conecta el campo continuo con la electricidad discreta.

Lorentz analiza con mayor profundidad el problema del movimiento de la Tierra a través del éter estacionario y concluye que, ya que éste no es arrastrado, la Tierra debe tener una velocidad absoluta respecto al éter. Lorentz argumenta que esta velocidad se puede detectar valiéndose de los efectos ópticos o electromagnéticos del viento etéreo. Sin embargo, estos efectos no se logran detectar, por lo que Lorentz deduce de su teoría ciertas acciones que eliminan los efectos en aproximaciones de primer orden. Establece su teorema de estados correspondientes, el cual dice que a precisión de primer orden, ningún experimento, empleando fuentes terrestres, puede revelar el movimiento de la Tierra a través del éter. Introduce transformaciones para las magnitudes de campo, coordenadas espaciales y un tiempo local y muestra que en una aproximación de primer orden, las ecuaciones que describen un sistema eléctrico en un marco de referencia en movimiento, son idénticas a aquellas que describen el sistema correspondiente en un marco en reposo respecto al éter.

Para explicar los fracasos de los experimentos de segundo orden que se han realizado, Lorentz utiliza la hipótesis de la contracción, que él y FitzGerald han propuesto independientemente ([34], vol. VIII, p. 495; [40], p. 2067; [59], vol. 2, p. 431).

Joseph Larmor (1857-1942; Irlanda), en la segunda parte de su trabajo "A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium" ("Teoría dinámica del medio eléctrico y luminífero"), cuya primera parte publicó en 1894, desarrolla con mayor profundidad la teoría de electrones, delineada en su artículo anterior. Asegura que la única interacción entre el éter y la materia ordinaria es a través de los electrones discretos (de ambos signos de carga). Discute la relación entre una teoría microscópica (tratando la dinámica del electrón) y una teoría macroscópica (en la cual la corriente y otras variables son tratadas como promedios estadísticos).

De manera similar a la desarrollada por H. A. Lorentz (véase arriba), Larmor trata la influencia del movimiento de la materia a través del éter sobre la propagación de la luz, y el resultado nulo del experimento de Michelson-Morley (véase 1887). Introduce un estándar para la variación del tiempo de punto a

²⁴¹) Esta ecuación llegaría a conocerse como la fuerza de Lorentz, y es su contribución más importante a la electrodinámica.

(continúa 1895)

punto y muestra que la contracción de **FitzGerald-Lorentz**, surge de la teoría del equilibrio de cargas en el éter en movimiento ([34], vol. VIII, p. 40).

Aimé-Charles-Louis Houlevigue (1863-1944; Francia) publica *De l'influence de l'aimantation sur le phénomènes thermo-électriques* (Sobre la influencia de la magnetización en los fenómenos termoelectrónicos) ([40], p. 832).

James Dewar (1842-1923; Escocia) y **John Ambrose Fleming** (1849-1945; Inglaterra) publican "Thermoelectric Powers of Metals and Alloys Between the Temperatures of the Boiling-Point of Water and the Boiling-Point of Liquid Air" ("Poderes termoelectrónicos de los metales y aleaciones entre las temperaturas de ebullición del agua y del aire líquido")²⁴² ([34], vol. IV, p. 81).

Aleksandr Grigorievich Stoletov (1839-1896; Rusia), al estar investigando la relación entre la fotocorriente (véase 1889) y la diferencia en potencial, descubre la existencia de una corriente de saturación. Estudios experimentales a diferentes grados de enrarecimiento del aire, lo llevan a descubrir una regularidad importante: la presión del gas a la cual la corriente alcanza un valor máximo, multiplicada por la distancia entre los electrodos y dividida entre la diferencia de potencial entre ellos, es una cantidad constante ([34], vol. XIII, p. 80).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) publica "On the Electrolysis of Gases" ("Sobre la electrólisis de los gases")²⁴³, en el cual continúa investigando las descargas eléctricas en los gases. Adquiere mucha información pero todavía no llega a entender cabalmente estos aspectos ([34], vol. XIII, p. 365).

Knut Johan Angström (1857-1910; Suecia) inventa un aparato para obtener representaciones fotográficas del espectro infrarrojo ([3], vol. I, p. 414).

Jean Baptiste Perrin (1870-1942; Francia), en "Nouvelles propriétés des rayons cathodiques" ("Nuevas propiedades de los rayos catódicos")²⁴⁴, demuestra que los rayos catódicos están formados por partículas cargadas negativamente y, por lo tanto, no son ondas. **Perrin** colecta los rayos en una *copa de Faraday* (cilindro hueco sin tapas, con conexiones eléctricas apropiadas) ([34], vol. X, p. 525; [40], pp. 1331-1332).

Wilhelm Conrad Röntgen (o **Roentgen**) (1845-1923; Alemania), después de que **Lenard** observara que los rayos catódicos atraviesan su mano (sin darse cuenta de que es una nueva forma de radiación) y que **Crookes** observara que las placas fotográficas se ennegrecen al estar cerca de los rayos catódicos (tampoco se da cuenta de la nueva radiación) y **Hertz** informara de los poderes penetrantes de estos rayos, **Röntgen** piensa que todavía hay algunos problemas sin solucionarse, por lo que comienza a estudiar tales fenómenos.

El 8 de noviembre, **Röntgen** cubre con cartón negro un tubo de descarga y, al accionar el dispositivo, observa que una pantalla cercana, pintada con platinocianuro de bario (*barium platino-cyanide*), comienza a brillar intensamente. Descubre que esta nueva radiación es producida por la pared del tubo opuesta al cátodo. La que recibe el haz de rayos catódicos.

²⁴²) *Philosophical Magazine*, 5ª ser., 40.

²⁴³) *Proceedings of the Royal Society of London*, 58.

²⁴⁴) *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 121.

(continúa 1895)

En los dos últimos meses del año, **Röntgen** descubre que esta radiación viaja en línea recta, no se refracta ni se refleja, no es desviada por un imán y puede viajar alrededor de dos metros en el aire. Descubre sus poderes penetrantes y logra fotografiar objetos colocados en lugares cerrados. El 22 de diciembre fotografía la mano de su esposa, en la cual se pueden observar los huesos. El 28 de diciembre comunica el descubrimiento de los rayos X, así los llama, a la *Sociedad Física y Médica de Würzburg* ([16], p. 305; [25], p. 170; [34], vol. XI, p. 530; [52], p. 62).

Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959; Escocia) comienza a estudiar la condensación de los iones y la electricidad atmosférica ([40], p. 1806).

Pocos meses después del descubrimiento del primer gas inerte, el argón, **Hans Peter Jörgen Julius Thomsen** (1826-1909; Dinamarca), basado en su teoría de que los elementos están compuestos por partículas elementales más pequeñas (véase 1880), predice la existencia de cinco miembros más de este grupo, indica su lugar en el sistema periódico de elementos y predice su pesos atómicos aproximados. Los cinco elementos serían descubiertos dentro de los pocos años siguientes, y las predicciones de **Thomsen** acerca de los pesos atómicos estarían sorprendentemente cercanas a los valores encontrados²⁴⁵⁾. Publica "Über die mutmassliche Grupp inaktiver Elemente" ("Sobre el probable grupo de elementos inactivos")²⁴⁶⁾ y "Systematische Gruppierung der chemischen Elemente" ("Clasificación sistemática de los elementos químicos")²⁴⁷⁾ ([34], vol. XIII, p. 359).

Giovanni Giorgi (1871-1950; Italia), en una carta dirigida a la revista inglesa *Electrician*, con fecha 28 de marzo (publicada en abril), cuestiona la validez de mantener el sistema CGS de unidades de **Weber**²⁴⁸⁾. Argumenta que este sistema, cuya unidad básica de energía es el *erg* ($1 \text{ g cm}^2/\text{s}^2$), o *centímetrodina*, está erróneamente adaptado a la física ordinaria, dada la relación entre electricidad y magnetismo ([34], vol. V, p. 407).

Henry Smith Carhart (1844-1920; Estados Unidos) y **G. W. Patterson** publican *Electrical Measurements* (*Mediciones eléctricas*) ([40], p. 298).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica *Polyphase Electric Current and Alternate-Current Motors* (*Motores de corriente eléctrica polifásica y alterna*) ([34], vol. XIII, p. 357).

Roland Eötvös (1848-1919; Hungría) desarrolla el *trasladómetro magnético*, esencialmente una balanza de torsión magnética. Se emplea para determinar la polaridad magnética y el magnetismo preservado por objetos de barro; el trasladómetro es precursor de la orientación de núcleo ([53]).

William Thomson (Lord **Kelvin**) (1824-1907; Irlanda) construye un amperímetro en el que una bobina colocada en el extremo superior de una caja (con una cubierta frontal de vidrio) tira de un núcleo de hierro dulce contra la fuerza de la gravedad. Una suspensión simple sostiene el extremo superior de un

²⁴⁵⁾ El sistema de elementos de **Thomsen** sería el usado por **Bohr** cuando este último propusiera la explicación, en 1922, del sistema periódico basado en el número de electrones que envuelven al núcleo atómico.

²⁴⁶⁾ *Zeitschrift für anorganische ... Chemie*, 8, pp. 283-288.

²⁴⁷⁾ *Zeitschrift für anorganische ... Chemie*, 9, pp. 190-193.

²⁴⁸⁾ Estandarizado en 1898.

(continúa 1895)

apuntador cuyo extremo inferior se mueve a lo largo de una escala vertical (118, p. 306)

Se otorga la primera patente que cubre el principio de un cable coaxial (125, p. 169).

Henry-Charles-Victor-Jacob Léauté (1847-1916; Honduras Británicas-Francia) publica *Transmission par cables métalliques (Transmisión por cables metálicos)* (140, p. 1012)

Se termina de instalar el sistema de potencia de corriente alterna en las Cataratas del Niágara, en Estados Unidos, al poner en operación el primer generador, de 3,725 kW (111, p. 387; 125, p. 169).

George Forbes (1849-1936; Inglaterra) publica *Alternating and Interrupted Electric Currents (Corrientes eléctricas alternas e interrumpidas)* (140, p. 586).

La empresa *Niagara Falls Power Company* utiliza en el Niágara dos turbinas centrífugas **Fourneyron**, cada una de las cuales genera 5,500 cv (véase 1893) (153, p. 909).

Emile Berliner (1851-1929; Alemania-Estados Unidos) ha desarrollado ya su gramófono lo suficiente como para que sea un sistema comercialmente práctico de grabación de sonidos. Incorpora diferentes ideas propias y de otros (véase 1888): el surco lateral de Scott, su propio disco plano, y el recubrimiento de cera de Bell y Tainter. Este sistema sería el estándar por unos 50 años (152, p. 60).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) patenta su sistema de telegrafía inductiva (125, p. 169).

Alfred Rosling Bennet (1850-1928; Inglaterra) publica *Telephone Systems of Continental Europe (Sistemas telefónicos de Europa continental)* (140, p. 152).

En el verano, Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) descubre que si utiliza estructuras elevadas de antenas y conexiones aterrizadas, tanto en transmisores como en receptores, obtiene una mayor distancia en las transmisiones de las ondas electromagnéticas. Para finales del año, el rango llega a unos 4,5 km y con ello concibe la idea de la comunicación inalámbrica. Sin embargo, el gobierno italiano no está interesado en las potencialidades prácticas de su trabajo (125, p. 169; 134, vol. IX, p. 98).

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906; Rusia) añade al cohesor de Lodge del año pasado un aparato en forma de cinturón que automáticamente golpea el tubo con la limadura cuando se produce el impulso de la corriente, restaurando la sensibilidad del dispositivo para recibir la señal original, con lo cual hace posible registrar descargas sucesivas separadas de carácter oscilatorio. En mayo publica "Ob otnoshenii metallicheskiy poroshkiv k elektricheskimi kolebaniyam" ("Sobre la relación entre polvos metálicos y oscilaciones eléctricas")²⁴⁹⁾ (134, vol. XI, p. 93).

²⁴⁹⁾ *Yurnal Russkago fiziko-jumicheskago obshchestva*... 1, 27

(continúa 1895)

Nikola Tesla (1856-1943, Croacia-Estados Unidos) desarrolla generadores mecánicos de oscilaciones eléctricas ([40], p. 1639).

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelandia-Inglaterra) incrementa el rango de transmisión de señales de radio aproximadamente a 1 km, en Cambridge, Inglaterra ([25], p. 169).

En julio, Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906; Rusia) utiliza, a partir de las ideas de Lodge y de Hertz, y la tesis de que los rayos de las tormentas son descargas oscilatorias generadoras de ondas electromagnéticas, un pararrayos a manera de antena receptora y un cohesor Branly-Lodge para registrar perturbaciones eléctricas atmosféricas ([3], vol. 9, p. 608; [10], p. 16; [25], p. 169).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) desarrolla un sistema de control múltiple que permite a todos los motores de un tren eléctrico, distribuidos a lo largo de él, obtener su corriente directa e individualmente desde las vías, pero manteniéndose bajo control del maquinista, que opera un controlador maestro en el frente del tren ([18], p. 186).

Wilhelm Emil Fein (1842-1898; Alemania) inventa el primer taladro de mano eléctrico ([40], p. 552).

Luego de que el fisiólogo londinense A. D. Waller publica un artículo en el que describe la forma de la curva de la corriente eléctrica de la acción cardíaca deducida a partir de la superficie del cuerpo y que anuncia que no ha logrado calcular su forma real (registrada con el electrómetro capilar de Lippmann, véase 1875), Willem Einthoven (1860-1927; Java-Paises Bajos) repite los mismos experimentos. Define las constantes físicas del electrómetro capilar y calcula la forma real de la curva, a la cual llama electrocardiograma (véase 1896). Publica "Über den Einfluss des Leitungswiderstandes auf die Geschwindigkeit der Quecksilberbewegungen in Lippmann's Capillarelektrometer" ("Sobre la influencia de la dirección de la resistencia en la velocidad del movimiento del mercurio en el electrómetro capilar de Lippmann")²⁵⁰⁾ y "Über die Form des menschlichen Elektrokardiogramms" ("Sobre la forma del electrocardiograma humano")²⁵¹⁾ ([34], vol. IV, p. 333).

Louis Duncan (1862-1916; Estados Unidos) es electo presidente del *American Institute of Electrical Engineers*, en Estados Unidos ([40], p. 492).

Charles Proteus Steinmetz (1865-1923; Alemania-Estados Unidos) es elegido ingeniero consultor de la *General Electric Company*. En los 28 años siguientes recibiría 195 patentes, que incluyen un electrodo magnético para lámpara de arco; transformación bifásica a trifásica; mejoras importantes a motores, generadores y transformadores; análisis y diseño de transmisión de corriente alterna de alto voltaje. En este último campo, estudiaría los fenómenos transitorios ([34], vol. XIII, p. 24).

1895-96

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906, Rusia) estudia los rayos X, desatendiendo su detector de tormentas (véase 1895) ([3], vol. 9, p. 608, [10], p. 16; [25], p. 169).

²⁵⁰⁾ *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 60, pp. 91-100.

²⁵¹⁾ *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 60, pp. 101-123.

- 1895-1907 Hiram Percy Maxm (1869-1936; Estados Unidos) trabaja como ingeniero jefe de *Electric Vehicle Company* en Hartford, Connecticut, Estados Unidos ([40], p. 1133).
- ca. 1896 Edmond Bouty (1846-1922; Francia) estudia el magnetismo y el paso de la electricidad a través de los gases ([40], p. 220).
- 1896 P. Wormell edita *Electricity in the Service of Man (Electricidad al servicio del hombre, véase 1888)*, libro de texto de 900 páginas. Es de notar que la teoría matemática de las corrientes alternas se descarta como «fuera de los propósitos del presente libro» ([51], p. 63).
- John Ambrose Fleming (1849-1945; Inglaterra) y Joseph Ernest Petavel (1873-1936; Inglaterra) publican un artículo sobre corrientes alternas ([40], p. 1333).
- Henri Du Bois (1863-1918; Bélgica) publica *Magnetic Circuits (Circuitos magnéticos)* ([40], p. 485).
- Pierre Weiss (1865-1940; Francia), influido por los estudios de P. Curie del año pasado (sobre las propiedades magnéticas de los cuerpos sometidos a diferentes temperaturas), realiza investigaciones con la magnetita, pero sólo logra descubrir que no se comporta como un medio isotrópico, aun cuando se cristalice en el sistema cúbico. Recibe su doctorado con la disertación "Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée et de quelques alliages de fer et d'antimoine" ("Investigación sobre la magnetización de la magnetita cristalizada y de algunas aleaciones de hierro y de antimonio")²⁵²⁾ ([34], vol. XIV, pp. 244-245).
- Pieter Zeeman (1865-1943; Países Bajos), convencido de que el campo magnético debe ejercer sobre la luz polarizada una influencia observable en su espectro por la duplicación de una raya negra, solicita la opinión de H. A. Lorentz, quien le explica que si su propia teoría de los electrones es aplicable al caso, debe existir una influencia del campo magnético sobre el espectro. Zeeman realiza entonces los experimentos necesarios y descubre el *efecto Zeeman*, consistente en que el espectro del sodio sometido al campo magnético ensancha las dos rayas D. Comprueba además, como lo ha previsto Lorentz, que la luz de las rayas ensanchadas es circularmente polarizada en la dirección de las líneas de campo magnético y que la magnitud de ese ensanchamiento permite determinar la relación entre la carga eléctrica del electrón y su masa. Cuando el campo magnético y la dispersión son suficientemente intensos, la raya D₁ se divide en cuatro y la raya D₂ en seis, y entonces, en cada caso, las dos rayas centrales son polarizadas perpendicularmente a las líneas de fuerza, y las marginales lo están paralelamente. Este fenómeno se explica en la teoría de los electrones como una influencia del campo magnético sobre el periodo de vibración de los electrones, vibración a la cual esta teoría atribuye la luz (véase Faraday, 1862).
- Zeeman establece que la partícula que bajo la teoría de H. A. Lorentz produce el desdoblamiento de las líneas espectrales, tiene un cociente carga-masa 1,000 veces mayor que el ión del hidrógeno electrolítico ([34], vol. XIII, p. 368 y vol. XIV, p. 598; [40], p. 1843; [51], p. 22; [59], vol. 2, pp. 430-431).

²⁵²⁾ *Éclairage électrique*, 7.

(continúa 1896)

Georg Washington Littlehales (1860-1943; Estados Unidos) es uno de los fundadores de la revista *International Journal of Terrestrial Magnetism* (40), pp. 1054-55).

Roland Eötvös (1848-1919; Hungría) publica "Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus" ("Investigación sobre la gravitación y el magnetismo terrestre")²⁵³⁾ (34), vol. II, p. 380).

Olaf Kristian Birkeland (1867-1917; Noruega) expone un modelo magnetizado de la Tierra a la acción de los rayos catódicos en un tubo al vacío y obtiene efectos luminosos. Con este trabajo sugiere las causas de las auroras boreales (34), vol. XIV, p. 32; 40), p. 180).

Se traduce al inglés y se publica (póstumamente) el segundo tomo de la obra *Miscellaneous Papers* (Artículos misceláneos), de Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894; Alemania) (3), vol. 5, p. 892).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) se refiere explícitamente a la radiación de cavidades (que Wien propusiera en 1894 y abandonara en este año). Al igual que Wien, Planck se siente obligado a incluir ciertos centros de radiación además de la radiación en sí, siguiendo la aproximación de W. A. Michelson (véase 1887) (34), vol. XI, p. 11).

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864-1928; Prusia) establece la ley de distribución de la energía (34), vol. XIV, p. 339).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica *Light Visible and Invisible* (Luz visible e invisible) (34), vol. XIII, p. 357).

Augusto Righi (1850-1920; Italia) investiga la propagación de la electricidad a través de gases, por los cuales pasan rayos X (40), p. 1424).

En la Universidad de Cambridge, Inglaterra, Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) le pide a Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelandia-Inglaterra) que trabajen juntos en el estudio de los rayos X. Ambos publican sus resultados preliminares en "On the Passage of Electricity Through Gases Exposed to Röntgen Rays" ("Sobre el paso de electricidad a través de gases expuestos a los rayos de Röntgen")²⁵⁴⁾. Descubren la conductividad del aire inducida por estos rayos, por lo que establecen una teoría de la ionización de los gases, según la cual los rayos X crean un número igual de portadores positivos y negativos y negativos electricidad, o iones, en las moléculas de gas (34), vol. VII, p. 26).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos) estudia la descarga eléctrica en los gases y comienza a investigar la producción y los efectos de la radiación de Röntgen (34), vol. XIII, p. 473).

²⁵³⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, 27, pp. 448-459.

²⁵⁴⁾ *Philosophical Magazine*, 42.

(continúa 1892)

Wilhelm Conrad **Röntgen** (o **Roentgen**) (1845-1923, Alemania), en los primeros meses de este año, da a conocer al mundo el descubrimiento de los rayos X (véase 1895) (*J34*, vol. XI, pp. 530-531).

Joseph John **Thomson** (1856-1940; Inglaterra) encuentra que la nueva radiación, los rayos X de **Röntgen**, hacen que los gases por los que atraviesan se conviertan en conductores, lo cual ofrece un medio mucho más conveniente para producir iones gaseosos que la ruptura por descarga eléctrica. Publica "On the Röntgen Rays" ("Sobre los rayos de Röntgen")²⁵⁵ y "On the Leakage of Electricity Through Dielectrics Traversed by Röntgen Rays" ("Sobre la fuga de electricidad a través de los dieléctricos por los que pasan rayos de Röntgen")²⁵⁶, este último escrito con **McClelland**.

Thomson invita a **Lenard** a trabajar con él, por los descubrimientos que este último ha realizado desde 1892 (véase **Lenard**, 1892-96) (*J34*, vol. XIII, p. 366).

Michael Idvorsky **Pupin** (1858-1935; Banat-Estados Unidos) publica *Versuche mit kathodenstrahlen* (Investigación con rayos catódicos) (*J40*, pp. 1382-1383).

Philipp **Lenard** (1862-1947; Austria-Hungría), a raíz del descubrimiento de **Röntgen**, se deprime profundamente ya que él, en el curso de sus experimentos no había logrado tales avances. Más aún, a petición de **Röntgen**, **Lenard** le había dado un tubo «confiable» para sus investigaciones; **Röntgen** no le revelaría si utilizó dicho tubo en sus investigaciones (*J34*, vol. VIII, p. 180).

Arthur **Schuster** (1851-1934; Alemania) sugiere que los rayos X son vibraciones transversales de corta longitud de onda del éter (*J34*, vol. XII, p. 238).

Jules Henri **Poincaré** (1854-1912; Francia) propone que la radiación recién descubierta por **Röntgen** es una emisión llamada *hiperfluorescencia*, surgida de la pared de vidrio de un tubo de Crookes, cuando esta pared es golpeada por los rayos catódicos (*J34*, vol. III, p. 498).

Wilbur Morvis **Stine** (1863-1934; Estados Unidos) anuncia el descubrimiento de la fuente de los rayos X (*J40*, p. 1613).

Charles Thomson Rees **Wilson** (1869-1959; Escocia) inventa la cámara de nubes para estudiar la actividad de las partículas ionizadas (*J40*, p. 1806).

Antoine-Henri **Becquerel** (1852-1908; Francia) se entera a través de **Poincaré** que en los tubos de **Röntgen** (véase 1895) los rayos X surgen de la mancha fluorescente donde un haz de rayos catódicos pega sobre la pared de vidrio. Infiere que la luz visible y los rayos X invisibles pueden ser producidos por el mismo mecanismo, y que estos últimos acompañan toda luminiscencia.

El 24 de febrero, **Becquerel** informa a la *Académie française des sciences* que cristales fluorescentes de sulfato de uranilo potásico (*potassium uranyl sulfate*) velan una placa fotográfica envuelta en papel negro mientras ambos yacen por varias horas bajo luz solar directa.

Posteriormente, el 2 de marzo, informa de velaciones similares cuando tanto los cristales como la placa están en la oscuridad total. **Becquerel** muestra que,

²⁵⁵) *Nature*, 53.

²⁵⁶) *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 9.

(continúa 1896)

como los rayos X, los rayos penetrantes que surgen de sus cristales descargan cuerpos electrificados (en términos modernos, ionizan el aire a través del cual pasan). Encuentra evidencia para sugerir que los rayos son refractados y reflejados como la luz visible, aunque posteriormente atribuye esos efectos a electrones secundarios lanzados de sus placas y espejos de vidrio. Mantiene algunos de sus cristales en la oscuridad, esperando que la energía contenida se disipe por sí misma y queden listos para la reexcitación. Trata otros cristales luminiscentes y encuentra que sólo los que contienen uranio emiten la radiación penetrante. Prueba compuestos no luminiscentes de uranio y encuentra que emiten sus rayos penetrantes.

Finalmente, **Becquerel** trata un disco de metal de uranio puro y encuentra que produce radiación penetrante tres o cuatro veces más intensa que la que había visto primero con el sulfato de uranilo potásico. Con éste último anuncio, el 18 de mayo, el descubrimiento de la radioactividad queda completo.

Becquerel publica los siguientes artículos²⁵⁷: "Emission de radiations nouvelles par l'uranium métallique" ("Emisión de radiaciones nuevas por el uranio metálico"), "Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents" ("Sobre algunas propiedades nuevas de las radiaciones invisibles emitidas por diversos cuerpos fosforescentes"), "Sur les radiations émises par phosphorescence" ("Sobre las radiaciones emitidas por fosforescencia"), "Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents" ("Sobre las radiaciones invisibles emitidas por los cuerpos fosforescentes"), "Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium" ("Sobre las radiaciones invisibles emitidas por las sales de uranio") y "Sur diverses propriétés des rayons uraniques" ("Sobre diversas propiedades de los rayos uránicos"). El uranio es el elemento natural más pesado ([34], vol. I, p. 559; [25], p. 170; [45], p. 306).

Dragomir Hurmuzescu (1865-1954; Rumania) publica *Nouvelle détermination du rapport V' entre les unités électrostatique et électromagnétique* (Nueva determinación del cociente V' entre las unidades electrostática y electromagnética) ([40], p. 847).

D. C. Voss (Estados Unidos) recibe la patente estadounidense (no. 573,558) por una resistencia de composición moldeada (véanse **Bradley** y **Slattery**, 1883) ([52], p. 60).

Dugald Caleb Jackson (1865-1951; Estados Unidos) es coautor de *Alternating Currents and Alternating Current Machinery* (Corrientes alternas y maquinaria de corriente alterna) ([40], p. 865).

George Forbes (1849-1936; Inglaterra) publica *Elektrische Wechselströme und Unterboche ne Ströme* (Corrientes eléctricas alternas [...]) ([40], p. 586).

Willem Einthoven (1860-1927; Java-Paises Bajos) cree que el registro directo (empleando un electrómetro capilar) de la forma real de la curva de la corriente eléctrica de la acción cardíaca es muy necesaria. En el estudio de los electrómetros, comienza con el galvanómetro de **Deprez-d'Arsonval**. Finalmente inventa un electrómetro de resorte y con él puede estudiar los fenómenos bioeléctricos con gran precisión ([34], vol. II, p. 333; [52], p. 53).

²⁵⁷ Todos ellos en *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*

(continúa 1896)

Se transmite potencia eléctrica desde las Cataratas del Niágara hasta la ciudad de Buffalo, Nueva York, en Estados Unidos, a una distancia de 35 km. La línea está diseñada para una transmisión trifásica a 11,000 V ([3], vol. 18, p. 494; [25], p. 170).

Louis Bell (1864-1923; Estados Unidos) publica *Power Distribution for Electric Railroads* (Distribución de potencia para los trenes eléctricos) ([40], p. 147).

Morgan Brooks (1861-1947; Estados Unidos) patenta un sistema telefónico automático ([40], p. 250).

En enero, Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906; Rusia) publica "Pribor dlia obnaruyeniia i registratsii elektricheskij kolebani" ("Un aparato para detectar y registrar oscilaciones eléctricas")²⁵⁸, en el cual introduce un diagrama del circuito. El artículo concluye con «da esperanza de que mi aparato, cuando se perfeccione, pueda ser utilizado para la transmisión a distancia de señales con la ayuda de oscilaciones eléctricas rápidas, tan pronto como se descubra una fuente de tales vibraciones con suficiente energía.» ([34], vol. XI, p. 93).

En marzo, Popov realiza una demostración de la transmisión de ondas hertzianas. En septiembre lee los primeros reportajes periodísticos sobre los experimentos de Marconi; ello lo obliga a realizar nuevas investigaciones ([3], vol. 9, p. 608).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia), motivado por los estudios de Lodge, presenta una solicitud de patente en la cual se describen los principios de un método práctico para transmitir señales radiotelegráficas a distancia, por medios inalámbricos. Realiza algunas modificaciones al cohesor de Branly de 1890, utiliza receptores en forma de tubo y los conecta a tierra y a una antena elevada. Desde el techo de la *London General Post Office*, logra transmitir señales a una distancia de unos 100 m. El 2 de junio recibe la patente británica. Poco después logra una transmisión de unos 3 km a través de Salisbury Plain, Inglaterra. La patente estadounidense se le otorga al año siguiente ([10], p. 16; [25], pp. 170 y 171; [52], p. 62).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) solicita una patente para un sistema de transmisores y receptores de sintonía inalámbrica ([25], p. 171).

Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos) inventa un equipo de rayos X para ayudar a los cirujanos, llamado fluoroscopio o lámpara fluorescente. Debido a su uso médico, no lo patenta ([16], p. 307; [25], p. 170).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa la primera máquina práctica de rayos X ([62], p. 129).

Menos de tres meses después de los estudios de Röntgen, se empiezan a usar los rayos X en un hospital de Viena, Austria ([15], p. 48).

A finales de año se han escrito ya casi 1,000 artículos relacionados con la investigación y las aplicaciones de los rayos X ([16], p. 305).

²⁵⁸) Yurnal Russkago fiziko-jumcheskogo obshchestva ..., 28.

(continúa 1896)

John Daniel (1862-1950; Estados Unidos) describe²⁵⁹⁾ su descubrimiento sobre los efectos depilatorios y abrasivos de los rayos X ([40], p. 406).

John Ambrose Fleming (1849-1945; Inglaterra), antiguo alumno de Maxwell en Cambridge, Inglaterra, desarrolla un diodo detector con base en el efecto Edison (véanse Edison, 1884 y Fleming, 1884) ([25], p. 170).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930; Inglaterra) funda la Ferranti, Ltd., en Lancashire, Inglaterra ([40], pp. 430-431).

Theodore Newton Vail (1845-1920; Estados Unidos) viaja a Argentina y comienza a colaborar con diversas empresas eléctricas de ese país ([40], p. 1704).

Jean-Alexandre Ray (1861-1935; Suiza-Francia) publica "Notes sur les feux-éclairs à l'huile et à l'électricité" ([40], p. 1414).

Las dos grandes compañías eléctricas de Estados Unidos, la General Electric Company, de Thomas Alva Edison (1847-1931; Estados Unidos), y la Westinghouse Electric Company, de George Westinghouse (1846-1914; Estados Unidos), tienen ya más de 300 litigios pendientes por diversas patentes. Para resolver el problema se crea una fondo común conjunto de patente (*joint patent pool*) que divide las regalías combinadas en un 62.5% para la General Electric Company y un 37.5% para la Westinghouse Electric Company. Sin embargo, la rivalidad entre las dos empresas continuaría hasta que Westinghouse pierde el control de su compañía en 1907 ([62], p. 131).

1896-98

William Duane (1872-1935; Estados Unidos) realiza un trabajo experimental sobre el electromagnetismo, bajo la dirección de Warburg. Descubre un efecto imprevisto, pero se dan cuenta de que es un falso efecto ([34], vol. VI, p. 194).

1896-1900

Georges M. M. Sagnac (1869-1928; Francia) estudia las radiaciones producidas por los rayos X. Observa que se produce una radiación secundaria cuando los rayos caen sobre metales más pesados. Muestra que esta radiación contiene rayos X secundarios (de menor frecuencia que los originales) y rayos cargados negativamente. Sugiere que es por medio de los rayos negativos que los rayos X producen la ionización en el aire ([34], vol. XII, p. 69).

Marcel Deprez (1843-1918; Francia) publica *Traité d'électricité industrielle théorique et pratique* (Tratado de electricidad industrial teórica y práctica), en 3 volúmenes ([40], p. 445).

1896-1905

Pierre Weiss (1865-1940; Francia) estudia la pirroita, cristal de prismas hexagonales. Descubre que no importa cuál sea la dirección o intensidad del campo magnético aplicado, la magnetización resultante siempre está, en buena aproximación, dirigida en el plano perpendicular al eje del prisma cristalino. Encuentra que en este plano existe una dirección de fácil magnetización, en la cual se alcanza la saturación en campos de 20 a 30 Oe y, perpendicularmente, una dirección de difícil magnetización, en la cual la saturación tiene el mismo valor, pero en campos que exceden los 10,000 oersteds. Finalmente, muestra que

²⁵⁹⁾ Science, Mayo de 1896.

(continúa 1896-1908)

se puede determinar la magnetización producida por un campo arbitrario, sustrayendo vectorialmente de éste, un «campo estructural» dirigido a lo largo del eje de la magnetización difícil y proporcional a la componente de la magnetización en ese eje. El campo resultante queda en dirección de la magnetización y su intensidad está ligada a la de ésta, mediante una relación que es independiente de esa dirección. Con este campo estructural explica el anisotropismo magnético de la pirrorta ([34], vol. XIV, pp. 244-245).

ca 1897

Michael Idvorsky **Pupin** (1858-1935; Banat-Estados Unidos) desarrolla una pantalla fluorescente sensitiva a los rayos X ([40], pp. 1382-1383).

1897

Leo **Graetz** (1856-1941; Alemania) publica *Kurzer Abriss der Elektrizität* (*Compendio de electricidad*) ([40], p. 688).

Charles Proteus **Steinmetz** (1865-1923; Alemania-Estados Unidos) y Ernst Julius **Berg** (1871-1941; Suecia), en su libro de texto *Theory and Calculations of Alternating Current Phenomena* (*Teoría y cálculos de los fenómenos de corriente alterna*), incorporan por primera vez el análisis complejo de las corrientes alternas a la ciencia eléctrica. Dicho libro resultaría decisivo en el debate entre las tecnologías de corriente directa y corriente alterna⁽²⁶⁰⁾ ([25], p. 172; [34], vol. XIII, p. 24).

Johann Friedrich Wilhelm **Von Bezold** (1837-1907; Alemania) publica "Zur Theorie des Erdmagnetismus" ("Sobre la teoría del magnetismo terrestre") ([40], p. 1729).

Joseph **Larmor** (1857-1942; Irlanda) publica la tercera parte de su trabajo "A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium" ("Teoría dinámica del medio eléctrico y luminífero"), cuyas dos primeras partes publicó en 1894 y 1895, respectivamente. **Larmor** desarrolla con mayor profundidad los efectos del medio material, incluyendo la dispersión óptica y, particularmente, las tensiones eléctricas.

Larmor incorpora gran parte de dicho trabajo en *Aether and Matter* (*Éter y materia*; que se publicaría en 1900). El libro está enfocado al problema del movimiento de la materia a través del éter y contiene probablemente por primera vez las transformaciones completas de H. A. **Lorentz** para el espacio, el tiempo y el campo electromagnético en el vacío.

Larmor muestra la precesión que presentan las cargas en órbita cuando son sometidas a un campo magnético, fenómeno que se llegaría a conocer como *precesión de Larmor*. Esto lo hace en relación a la discusión del *efecto Zeeman* (1896). En el mismo artículo trata la radiación de una carga acelerada; obtiene la fórmula no relativista que expresa la potencia radiada como proporcional al cuadrado del producto de la carga y la aceleración ([34], vol. VIII, p. 40).

Arthur Gordon **Webster** (1863-1923; Estados Unidos) publica *A mathematical Treatise on the theory of Electricity and Magnetism* (*Tratado matemático del teoría de la electricidad y el magnetismo*) y *Lowell Institute Lectures on Electricity and Ether* (*Conferencias sobre la electricidad y el éter del Instituto Lowell*) ([40], p. 1769).

²⁶⁰⁾ En 1916 se publicaría la 5ª edición

(continúa 1897)

Hermann Ebert (1861-1913; Alemania) publica *Magnetische Kraftfelder (El campo magnético de fuerzas)* ([40], p. 504).

Augusto Righi (1850-1920; Italia) publica *L'ottica delle oscillazioni elettriche (La óptica de las oscilaciones eléctricas)*, en donde describe los resultados de sus investigaciones de los últimos cuatro años. Demuestra que las ondas electromagnéticas no sólo se refractan, reflejan e interfieren entre sí, sino que también están sujetas a la difracción, absorción y a la doble refracción, como las ondas del espectro visible ([34], vol. XI, p. 461). Muestra que las ondas de radio y las de la luz son diferentes en longitud de onda, mas no en su naturaleza ([40], p. 1424).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) publica "On the passage of electric waves through tubes or vibrations of dielectric cylinders" ("Sobre el paso de las ondas eléctricas a través de tubos o vibraciones de cilindros dieléctricos")⁽²⁶¹⁾. Analiza la propagación de ondas electromagnéticas (ondas de onda) en ductos de sección circular y rectangular llenos con un dieléctrico ([52], p. 62).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) abandona el «segundo» punto de vista de la naturaleza del calor -según el cual el calor consiste en algún tipo de movimiento de las partículas, cuya precisa naturaleza no se ha especificado (el «primer» punto de vista es el estadístico)-, y pasa al «tercer» punto de vista, en el que uno «se abstiene completamente de cualquier suposición definitiva sobre la naturaleza del calor» ([34], vol. XI, p. 8).

Según Planck, su resonador (véase 1895) debe producir con sus vibraciones un intercambio de energía entre la radiación emitida y la absorbida. Boltzmann, quien ha estado debatiendo con Loschmidt y otros la interpretación de la irreversibilidad de los procesos, ataca el papel equilibrador del resonador, por lo que Planck lo toma como concepto central en sus consideraciones (véase 1898) ([34], vol. XI, p. 11).

William Duane (1872-1935; Estados Unidos) recibe su doctorado con la disertación "Über elektrolytische Thermoketten" ("Sobre la termopila electrolítica"), trabajo realizado bajo la dirección de Nernst ([34], vol. VI, p. 194).

Emil Gabriel Warburg (1846-1931; Alemania) empieza a estudiar la descarga de chispa y la descarga de punto en los gases⁽²⁶²⁾ ([34], vol. XII, p. 171).

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die Verteilung der freien Elektrizität in Innern einer Geissler'schen Röhre" ("Sobre la distribución de la electricidad libre en el interior de los tubos de Geissler")⁽²⁶³⁾ ([34], vol. XI, p. 447).

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelandia-Inglaterra) continúa su trabajo sobre los rayos X, iniciado el año pasado, midiendo las velocidades iónicas, tasas de recombinación y absorción de la energía y la electrificación de diferentes gases. Luego investiga la descarga de la electricidad por luz ultravioleta y estudia los efectos de la radiación del uranio ([34], vol. XII, p. 26).

²⁶¹) *Philosophical Magazine*, 43 (febrero), p. 125

²⁶²) La descarga de punto sería la base de los experimentos de J. Franck y de G. L. Hertz, sobre las colisiones de los electrones

²⁶³) *Annalen der Physik*, 63, pp. 220-233.

(continúa 1897)

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz **Wien** (1864-1928; Prusia) confirma que los rayos catódicos están constituidos por partículas y que tienen una velocidad muy alta, aproximadamente $1/3$ de la velocidad de la luz (*[34]*, vol. *XIV*, p. 339).

Wilbur Morvis **Stine** (1863-1934; Estados Unidos) es uno de los primeros en sugerir el uso terapéutico de los rayos X, especialmente en el tratamiento contra el cáncer (*[40]*, p. 1613).

Jean Baptiste **Perrin** (1870-1942; Francia) publica "Rayons cathodiques et rayons de Röntgen" ("Rayos catódicos y rayos de Röntgen")²⁶⁴⁾, trabajo que forma su tesis doctoral (*[34]*, vol. *X*, p. 525).

Walter (o Walther) **Kaufmann** (1871-1947; Alemania) estudia la desviación magnética de los rayos catódicos e intenta una primera aproximación del valor del cociente entre la carga eléctrica y su masa, determinando que éste es de 1.865×10^7 cgs/g. En "Die magnetische Ablenkbarkeit der Kathodenstrahlen und ihre Abhängigkeit vom Entladungspotential" ("La desviabilidad magnética de los rayos catódicos y su dependencia con el potencial de descarga")²⁶⁵⁾ Kaufmann se pronuncia en contra de la «hipótesis que supone que los rayos catódicos son partículas cargadas.» (*[34]*, vol. *VII*, p. 263).

John Sealy Edward **Townsend** (1868-1957; Irlanda) realiza un cálculo directo de la unidad absoluta de carga, empleando un método original, con el cual mide la razón de caída de una nube que ha sido condensada en un gas electrificado, liberado por electrólisis y burbujeado a través de agua (*[34]*, vol. *XIII*, p. 446).

Joseph John **Thomson** (1856-1940; Inglaterra) describe la emisión termiónica como la *ebullición* de electrones libres en los sólidos en una cavidad de vacío (*[58]*, p. 157).

Joseph John **Thomson** (1856-1940; Inglaterra), estudiando los trabajos de **Maxwell**, **Crookes**, **Hertz**, **Lenard** y **Zeeman**, entre otros, el *efecto Edison* y utilizando la técnica de **Schuster** de la desviación magnética, calcula por varios métodos el cociente de la carga eléctrica a la masa de la hipotética partícula de la cual están constituidos los rayos catódicos. Encuentra que es 1,000 veces mayor que el mismo cociente para los iones producidos por electrólisis. Teniendo en mente la teoría de los vórtices, los experimentos de A. M. **Mayer**, el problema de la combinación química y la naturaleza de la electricidad, se aventura a proclamar la existencia real de la buscada partícula. Deduce que debe tener una masa muy pequeña (bajo la suposición de que su carga es del orden de la unidad electrostática), que sus dimensiones son extremadamente pequeñas y que tiene gran capacidad de penetración. A partir de su tamaño tan pequeño y de que el valor del cociente es independiente del método de producción, **Thomson** concluye que es el constituyente fundamental de todos los átomos. Cree que dichas partículas, a las que llama *corpúsculos*, tienen una carga eléctrica mayor

²⁶⁴⁾ *Annales de chimie et de physique*, 11.

²⁶⁵⁾ *Annalen der Physik*, 61

(continúa 1897)

que la del electrón Thomson publica "Cathode Rays" ("Rayos catódicos")²⁶⁶⁾ ([6], p. 199; [10], p. 31; [15], p. 48; [16], p. 305; [25], pp. 171-172; [34], vol. XIII, pp. 366-367; [52], p. 63).

T. E. Gambrell (Reino Unido) y A. F. Harris (Reino Unido) reciben la patente británica (no. 25,412) por la invención de la resistencia de película de carbón ([52], p. 64).

John Trowbridge (1843-1923; Estados Unidos), consciente de la necesidad de una fuente constante de alto voltaje, desarrolla un acumulador de 10,000 celdas ([34], vol. XIII, p. 473).

W. Langdon Davies perfecciona su motor eléctrico unifásico de inducción (véase 1891) e inicia su producción comercial. El estator está construido con hojas laminadas y ranuradas, y porta dos grupos de devanados, uno de ellos desplazado circunferencialmente con respecto del otro. Los conductores de la caja de ardilla están dispuestos de lado, mejorando las cualidades del modelo del anterior ([18], p. 189; [25], p. 172).

Elihu Thomson (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa un transformador de corriente constante ([62], p. 129).

Karl Ferdinand Braun (1850-1918; Alemania), en la Universidad de Estrasburgo (ciudad alemana), inventa un tubo de rayos catódicos, con el fin de poder estudiar la variación en el tiempo de las corrientes eléctricas alternas de alta frecuencia, mediante la desviación electromagnética del haz catódico. Este haz es proyectado contra una pantalla recubierta con material luminescente. Publica "On a method for the demonstration and study of currents varying with time" ("Sobre un método para mostrar y estudiar las corrientes variables con el tiempo")²⁶⁷⁾. A este dispositivo se le llegaría a conocer como *osciloscopio de rayos catódicos* o *tubo de Braun* ([10], p. 47; [18], p. 283; [24], p. 1302; [25], p. 170; [34], vol. II, pp. 427-428; [40], p. 233).

William du Bois Duddell (1872-1917; Inglaterra) inventa un oscilógrafo práctico. El oscilógrafo es un galvanómetro con un par de tiras estrechas planas, de bronce, que sostienen en la abertura de aire de un electroimán poderoso a una bobina con un diminuto espejo sumergido en aceite, con propósitos de amortiguamiento, con lo que el instrumento tiene un periodo de vibración libre de un diezmilésimo de segundo. Un dispositivo visual impulsado mecánicamente, con un motor sincrónico, difunde las desviaciones sobre una escala de tiempo, de tal modo que puede mostrar la forma de una onda de corriente que se repite cincuenta o cien veces por segundo²⁶⁸⁾ ([18], p. 312; [40], p. 487-88).

Hermann Walther Nerst (1864-1941; Prusia) patenta una lámpara incandescente, cuyo elemento luminoso es una varilla de magnesio. Requiere de un calentamiento previo y no necesita un vacío. Es lenta para comenzar a iluminar y no es satisfactoria para intensidades bajas de iluminación. Su eficiencia es de cerca de 5 lm/W y puede utilizarse en exteriores ([25], p. 172; [40], p. 1246).

²⁶⁶⁾ *Philosophical Magazine*, 44, p. 123.

²⁶⁷⁾ *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 60, p. 552.

²⁶⁸⁾ El instrumento original construido por Duddell se encuentra en el Museo de Ciencias en South Kensington, Londres, Inglaterra.

(continúa 1897)

Louis Bell (1864-1923, Estados Unidos) publica *Electric Power Transmission* (*Transmisión de potencia eléctrica*) (J40, p. 147).

Ernest Mercadier (1836-1911, Francia) inventa un telégrafo de frecuencia de tono múltiple (J40, p. 1162).

Guglielmo Marconi (1874-1937, Italia) establece comunicación radiotelegráfica entre Salisbury y Bath, Inglaterra, distantes unos 40 km (J25, p. 172).

Adolph Karl Heinrich Slahy (1849-1913, Alemania), después de presenciar una demostración del sistema inalámbrico de Marconi, regresa a Berlín, Alemania y, junto con George Wilhelm Alexander Hans Von Arco (1869-1940, Alemania), empieza a realizar experimentos en este campo. Para finales de año, logran transmitir señales a una distancia de unos 20 km (J25, p. 172). Publica *Die Funkentelegraphie* (*La radiotelegrafía*) (J40, p. 1537).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940, Inglaterra) propone la utilización del principio de sintonía en la radiotelegrafía, tanto para la transmisión como para la recepción (J10, p. 26; J25, p. 172).

Nikola Tesla (1856-1943, Croacia-Estados Unidos) desarrolla un transmisor amplificador de alta potencia. Estudia además la radiación electromagnética (J40, p. 1639).

El 13 de julio, Guglielmo Marconi (1874-1937, Italia) recibe la patente estadounidense (no. 586,193) por su sistema de radiotelegrafía. Esta es la primera patente para un sistema práctico de radiotelegrafía que se otorga en Estados Unidos (a diferencia del de Loomis de 1872) (J25, p. 173).

Guglielmo Marconi (1874-1937, Italia) instala la primera estación inalámbrica de radio sobre un crucero italiano; así, la Marina Italiana es la primera en adoptar la telegrafía inalámbrica. El sistema de Marconi tiene un rango de operación de unos 20 km (J25, p. 172).

El 20 de julio, Guglielmo Marconi (1874-1937, Italia) y su primo Henry Jameson Davis fundan la *Wireless Telegraph and Signal Company, Ltd.*, en Inglaterra, con el propósito de instalar equipo inalámbrico en los faros terrestres y buque faros, alrededor de Inglaterra. Es la primera compañía de sistemas inalámbricos en el mundo (J25, p. 172).

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906, Rusia), con base en los descubrimientos de Hertz de 1888, referentes a la reflexión de las ondas radioeléctricas en los cuerpos conductores, concibe la idea del radar (J10, p. 59).

Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921, Luxemburgo) perfecciona el método de coincidencias para medir la diferencia entre los periodos de dos péndulos. método en el que emplea una fotografía de destello de alta velocidad para determinar el cambio de fase a intervalos cortos de tiempo. Publica "Méthodes pour comparer, à l'aide de l'étrincelle électrique, les durées d'oscillation de deux pendules réglés sensiblement à la même période" ("Métodos para comparar, con la ayuda de la

(continúa 1897)

chispa eléctrica, la duración de las oscilaciones de dos péndulos arreglados sensiblemente al mismo período")⁽²⁶⁹⁾. De esta forma, **Lippmann** investiga la manera de mantener un péndulo en oscilación continua, y sugiere que se puede emplear un condensador que se cargue y descargue alternativamente, mediante una bobina ([34], vol. VIII, p. 388).

Galileo Ferraris (1847-1897; Italia) escribe *Lezioni de elettrotecnia* (*Lecciones de electrotécnica*) ([40], p. 559).

Arsène d'Arsonval (1851-1940; Francia) participa en la fundación de una sociedad internacional para la investigación eléctrica ([34], vol. I, p. 304).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) instala por primera vez su «sistema de unidad múltiple» para el control de trenes eléctricos (véase 1895), en el *South Side Elevated Railway*, en la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos ([62], p. 129).

²⁶⁹⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 124

XII. DÉCIMO CICLO ECONÓMICO LARGO (1898 - 1939)

AÑO	ACONTECIMIENTO	REACTIVACIÓN (1898-1911)
ca. 1898	Theodor Des Coudres (1862-1926; Alemania) desarrolla un método para medir la velocidad de los rayos catódicos ¹⁾ ([34], p. 449).	
1898	Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Lässt sich die Pyroelectricität der Krystalle vollständig auf piezoelectrische Wirkungen zurückführen?"²⁾ ([34], vol. XII, p. 62). Dragomir Hurmuzescu (1865-1954; Rumania) publica <i>Sur les modifications mécaniques, physiques et chimiques que prouvent les différents corps par l'aimantation</i> (Sobre la modificaciones mecánicas, físicas y químicas sufrén los diferentes cuerpos por la magnetización) ([40], p. 847). Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Doppel brechung von im Magnetfelde befindlichen Natriumdampf in der Richtung normal zu den Kraftlinien" ("Birrefringencia de los vapores de sodio situados en un campo magnético en la dirección normal a las líneas de fuerza")³⁾ ([34], vol. XIV, p. 62). Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) publica <i>The Life of Michael Faraday</i> ([34], vol. XIII, p. 357). Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) introduce el concepto de «resonador analizador espectral» y el concepto de radiación natural, siendo este último el análogo a la suposición de Boltzmann del caos molecular en la teoría cinética de los gases. Esta suposición de azar en la radiación, le permite a Planck establecer una relación causal entre la energía de un resonador con determinada frecuencia y la intensidad del campo de radiación circundante con la misma frecuencia. Planck todavía no introduce ninguna estadística molecular en esta etapa ([34], vol. XI, p. 11). Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Zur Theorie des Galvanismus und der Wärme" ("De la teoría del galvanismo y del calor")⁴⁾ y "Ueber den Reactionsdruck der Kathodenstrahlen" ("Sobre la presión de reacción de los rayos catódicos")⁵⁾. Establece que los metales están constituidos por	

¹⁾ El cual sería utilizado por primera vez por Wiechert.

²⁾ *Annalen der Physik*, 66, pp. 1030-1060.

³⁾ *Nachrichten von der Königlischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, pp. 355-359.

⁴⁾ *Annalen der Physik*, 66, pp. 353-389, 545-581.

⁵⁾ *Annalen der Physik*, 66, pp. 954-979.

(continúa 1898)

átomos neutros, unidos entre sí en un arreglo reticular. Mediante la ionización de algunos de estos átomos, se puede explicar la presencia o existencia de los iones metálicos positivos y de los electrones negativos. Explica las propiedades de los metales mediante relaciones hipotéticas entre los dos tipos de partículas cargadas y el medio. La teoría de **Riecke** trata de analizar la conducción eléctrica, la térmica, el cociente *Wiedemann-Franz*, diferentes efectos de contacto (incluyendo el efecto *Peltier*, varios potenciales de contacto y el efecto *Thomson*), varios fenómenos asociados con la presencia de un campo magnético externo (el efecto *Hall*, el efecto *Nernst* y el efecto *Leduc*), y las conductividades eléctrica y térmica en aleaciones. La suposición básica de **Riecke** es la de que el espacio intermolecular contiene no sólo partículas negativas, sino también positivas. Cada molécula metálica es capaz de descargar, por colisión, a ambos tipos de partículas. Cada ion descargado se mueve en línea recta hasta que cae bajo la influencia de una molécula metálica aun unida a la red, por lo que el ion es forzado a una trayectoria circular. De esta forma, las cargas se mueven aleatoriamente a través del metal. Teniendo en mente el modelo de un gas, **Riecke** supone que la velocidad media de las partículas es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta, por lo que es posible aplicar las técnicas matemáticas de la teoría cinética de los gases a las propiedades de los metales. El principal éxito de esta teoría, la predicción precisa del cociente *Wiedemann-Franz* (véase 1853), duraría poco tiempo, ya que poco después de que **Riecke** propone su teoría, se demostraría que el cociente mencionado (entre la conductividad térmica y la eléctrica) no es estrictamente proporcional a la temperatura. Sin embargo el trabajo de **Riecke** abre un nuevo campo de investigación (*[34]*, vol. XI, p. 447).

Piotr Nikolaievich Lebedev (1866-1912; Rusia) comienza una investigación experimental sobre la presión de la luz. Aun cuando la presencia de esta radiación ha sido predicha por la teoría de **Maxwell**, no se ha logrado detectar en el laboratorio. Mediante ingeniosos métodos, **Lebedev** puede eliminar por completo los efectos colaterales, tales como el calentamiento del cuerpo estudiado o el efecto radiométrico, y no sólo detecta la presión, sino que la mide y demuestra que la teoría cuantitativa de **Maxwell** es correcta (*[34]*, vol. VIII, p. 107).

John William Strutt (Lord Rayleigh) (1842-1919; Inglaterra) publica "Note on the Pressure of Radiation, Showing an Apparent Failure of the Usual Electromagnetic Equations" ("Nota sobre la presión de radiación, mostrando una falla aparente de las ecuaciones electromagnéticas usuales")⁶⁾ (*[34]*, vol. XIII, p. 105).

Paul Villard (1860-1934; Francia) observa que el material cargado positivamente dentro de los tubos de rayos catódicos se mueve hacia el cátodo y que cuando el cátodo tiene agujeros, un haz visible pasa a través de él, produciendo calor. Sin embargo, no logra desviar este flujo por medio de campos magnéticos o eléctricos, por lo que supone que pierde toda su carga en el cátodo. Con base en la acción reductiva de varios rayos en los tubos catódicos, concluye que el material en movimiento es hidrógeno. Publica "Sur les rayons cathodiques" ("Sobre los rayos catódicos")⁷⁾ (*[34]*, vol. XIV, p. 32).

⁶⁾ *Philosophical Magazine*, 45

⁷⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*, 126

(continúa 1898)

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz **Wien** (1864-1928; Prusia), alumno de **Goldstein**, muestra que los rayos positivos pueden ser desviados por campos eléctricos y magnéticos. Encuentra, además, que la razón de la carga eléctrica a su masa, es del orden de la del ión de hidrógeno y aproximadamente 10,000 veces mayor que la de los rayos catódicos, no importando los elementos que utilice para producir los rayos. Establece que su velocidad es de 3.6×10^7 cm/s. Describe sus resultados en "Die electrostatische und magnetische Ablenkung der Kanalstrahlen" ("La desviación eléctrica y magnética de los rayos de canal")⁸⁾ y en "Untersuchungen über die electrische Entladung in verdünnten Gasen" ("Investigación sobre la descarga eléctrica en gases enrarecidos")⁹⁾ (*J34*, vol. V, p. 439 y vol. XIV, pp. 32 y 340).

John Sealy Edward **Townsend** (1868-1957; Irlanda) determina un valor para la unidad de carga eléctrica igual a 5×10^{-10} esu (véase 1897). Demuestra que la constante fundamental de la electrólisis es equivalente a la carga que lleva un ión gaseoso, no importando la forma de su producción. Desarrolla un método para determinar indirectamente la razón de difusión iónica, en el que emplea la movilidad de los iones (*J34*, vol. XIII, p. 446).

Joseph John **Thomson** (1856-1940; Inglaterra), en "On the Charge of Electricity Carried by Ions Produced by Roentgen-Rays" ("Sobre la carga de la electricidad llevada por los iones producidos mediante los rayos de Röntgen")¹⁰⁾, afirma que el corpúsculo descubierto el año pasado posee la unidad elemental de carga; es decir, **Thomson** identifica dicho corpúsculo con el electrón (*J34*, vol. XIII, p. 367).

Philipp Lenard (1862-1947; Austria-Hungría), al igual que **Perrin**, **Wien** y **J. J. Thomson**, establece que los rayos catódicos están constituidos por partículas cargadas negativamente. En amargas disputas, especialmente con **Thomson**, **Lenard** reclama en su artículo "Über die elektrostatischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen" ("Sobre las propiedades eléctricas de los rayos catódicos") la prioridad de haber realizado la primera «determinación convincente e irrefutable de lo que pronto se conocería como *electrones*.»

Para comprobar la existencia de la absorción, **Lenard** utiliza una pantalla fosforescente y logra inferir la conclusión, correcta, de que el centro efectivo de los átomos se concentra en una fracción pequeña del volumen atómico. Su modelo (llamado *dinamida*) es un predecesor importante del modelo atómico de **Rutherford** de 1910-1911 (*J34*, vol. VIII, pp. 180-181).

Paul Langevin (1872-1946; Francia), trabajando bajo la dirección de **J. J. Thomson**, estudia la ionización por rayos X. Descubre, independientemente de **Sagnac**, que los rayos X liberan electrones secundarios de los metales (véase 1896-1900). Sin embargo, **Langevin** publicaría este descubrimiento hasta 1902 (*J34*, vol. VIII, p. 10).

Paul Karl Ludwig Drude (1863-1906; Alemania) empieza a considerar que los fenómenos tales como la conducción eléctrica en los metales, la conductividad térmica y las propiedades ópticas de los metales son resultado de la interacción de las cargas eléctricas de las sustancias con el medio circundante (*J34*, vol. IV, p. 189).

8) *Berlin Physikalische Gesellschaft Verhandlungen*, 17.

9) *Annalen der Physik und Chemie*, n.s. 65 (301).

10) *Philosophical Magazine*, 46.

(continúa 1898)

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelandia-Inglaterra), en la Universidad de McGill, Montreal, Canadá, trabaja con la radiación del torio. Cuando un colega obtiene mediciones de ionización erráticas, Rutherford es capaz de rastrear la irregularidad hasta un producto radiactivo gaseoso que escapa del torio ([34], vol. XII, p. 27).

Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1865-1949; Inglaterra) examina una gran variedad de elementos y compuestos, con el objetivo de determinar si cualquiera de los rayos que éstos emiten son similares a aquéllos que A.-H. Becquerel descubrió en el uranio y los compuestos de este elemento. Descubre que sólo un elemento, el torio, produce tales rayos y realiza experimentos de absorción, ionización, reflexión, refracción y polarización para determinar las características de sus rayos. Concluye que los rayos del torio se parecen mucho a los de Röntgen (conclusión errónea ya que combina una mala interpretación suya con una de Becquerel). Publica "Ueber die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung"⁽¹⁾ ([34], vol. XII, p. 191).

Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) utiliza el instrumento para medir corrientes muy débiles construido por los hermanos Curie en 1881, en el estudio de las emisiones de radiación. Su primer paso es el buscar si otros elementos tienen la misma propiedad (véase Schmidt, arriba). Quiere averiguar si se pueden calcular, por medios eléctricos, los efectos sobre la conductividad del aire. Encuentra que la pechblenda y el torio son *radiactivos* (término de M. Curie). Publica estos resultados en su primera "Nota"⁽²⁾, en la cual, además, establece que «dos núcleos de uranio [...] son mucho más activos que el propio uranio. Este hecho [...] lleva a uno a creer que estos núcleos pueden contener un elemento mucho más activo que el uranio.» ([34], vol. III, p. 499).

M. Curie propone que la emisión radiactiva es una fluorescencia del uranio, el cual es excitado por una radiación muy penetrante que se encuentra en todo el espacio. Por esta razón, denomina a este fenómeno como *radiactividad*, es decir, «activado por radiación» ([34], vol. IV, p. 355).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) y Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) aíslan el descendiente radiactivo del uranio, el radio, que siempre está presente en este mineral en la proporción de 2 gramos de radio por cada tres toneladas de uranio ([65], p. 7). Además descubren el polonio ([1]; [34], vol. III, p. 499; [53]).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) colocan uranio en un recipiente de vidrio al vacío y encuentran que la radiación permanece constante. Además, colocan uranio y una placa fotográfica en el recipiente y encuentran que el ennegrecimiento de la placa es independiente de la presión. Con esto demuestran que la radiación no es estimulada por las moléculas del aire, como lo ha sugerido Crookes (véase arriba).

Elster y Geitel demuestran que la intensidad de la radiación del uranio sobre la superficie de la Tierra es la misma que dentro de una mina a 852 m de profundidad. También demuestran que el uranio no emite radiación más fuerte cuando está bajo la influencia de los rayos catódicos; esto lo logran mediante un nuevo tubo de Lenard, el cual deja pasar a la atmósfera un haz intenso de radiación, con sección transversal de varios centímetros cuadrados. Además,

(1) *Annalen der Physik*, 65, pp. 141-151

(2) *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*

(Continúa 1898)

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelanda-Inglaterra), en la Universidad de McGill, Montreal, Canadá, trabaja con la radiación del torio. Cuando un colega obtiene mediciones de ionización erráticas, Rutherford es capaz de rastrear la irregularidad hasta un producto radiactivo gaseoso que escapa del torio ([34], vol. XII, p. 27).

Gerhard Carl Nathaniel Schmidt (1865-1949; Inglaterra) examina una gran variedad de elementos y compuestos, con el objetivo de determinar si cualquiera de los rayos que éstos emiten son similares a aquéllos que A.-H. Becquerel descubrió en el uranio y los compuestos de este elemento. Descubre que sólo un elemento, el torio, produce tales rayos y realiza experimentos de absorción, ionización, reflexión, refracción y polarización para determinar las características de sus rayos. Concluye que los rayos del torio se parecen mucho a los de Röntgen (conclusión errónea ya que combina una mala interpretación suya con una de Becquerel). Publica "Ueber die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung"⁽¹¹⁾ ([34], vol. XII, p. 191).

Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) utiliza el instrumento para medir corrientes muy débiles construido por los hermanos Curie en 1881, en el estudio de las emisiones de radiación. Su primer paso es el buscar si otros elementos tienen la misma propiedad (véase Schmidt, arriba). Quiere averiguar si se pueden calcular, por medios eléctricos, los efectos sobre la conductividad del aire. Encuentra que la pechblenda y el torio son *radiactivos* (término de M. Curie). Publica estos resultados en su primera "Nota"⁽¹²⁾, en la cual, además, establece que «dos núcleos de uranio [...] son mucho más activos que el propio uranio. Este hecho [...] lleva a uno a creer que estos núcleos pueden contener un elemento mucho más activo que el uranio.» ([34], vol. III, p. 499).

M. Curie propone que la emisión radiactiva es una fluorescencia del uranio, el cual es excitado por una radiación muy penetrante que se encuentra en todo el espacio. Por esta razón, denomina a este fenómeno como *radiactividad*, es decir, «activado por radiación» ([34], vol. IV, p. 355).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) y Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) aíslan el descendiente radiactivo del uranio, el radio, que siempre está presente en este mineral en la proporción de 2 gramos de radio por cada tres toneladas de uranio ([63], p. 7). Además descubren el polonio ([1]; [34], vol. III, p. 499; [53]).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) colocan uranio en un recipiente de vidrio al vacío y encuentran que la radiación permanece constante. Además, colocan uranio y una placa fotográfica en el recipiente y encuentran que el ennegrecimiento de la placa es independiente de la presión. Con esto demuestran que la radiación no es estimulada por las moléculas del aire, como lo ha sugerido Crookes (véase arriba).

Elster y Geitel demuestran que la intensidad de la radiación del uranio sobre la superficie de la Tierra es la misma que dentro de una mina a 852 m de profundidad. También demuestran que el uranio no emite radiación más fuerte cuando está bajo la influencia de los rayos catódicos; esto lo logran mediante un nuevo tubo de Lenard, el cual deja pasar a la atmósfera un haz intenso de radiación, con sección transversal de varios centímetros cuadrados. Además,

⁽¹¹⁾ *Annalen der Physik*, 65, pp. 141-151

⁽¹²⁾ *Comptes rendus hebdomadaires de séances de l'Académie des sciences*.

muestran que la radiación es independiente de la temperatura del uranio y del compuesto en el cual ocurre el efecto ([34], vol. IV, p. 355).

(continúa 1898)

William Crookes (1832-1919; Inglaterra) propone la hipótesis de que los rayos de A.-H. Becquerel son estimulados por las moléculas de mayor velocidad que se encuentran en el aire ([34], vol. IV, p. 355).

Paul Boucherot (1869-1943; Francia) publica "Condensateurs du papier" ("Condensadores de papel")¹³⁾ ([52], p. 54).

James Wimshurst (1832-1903; Inglaterra) publica *The Particulars of Several Forms of Electrical Machines since 1880* ([40], p. 1809).

Wilhelm Eugen Hartmann (1853-1915; Alemania) y Karl Ferdinand Braun (1850-1918; Alemania) perfeccionan el voltímetro de alambre caliente de Cardew (véase 1883). Sustituyen el incremento directo de la longitud del alambre por la flexión de un alambre tenso. Un alambre unido al centro del que transporta la corriente se mantiene tenso mediante un resorte y es pasado alrededor del entramado de un señalador, moviéndolo conforme el alambre principal se calienta o enfría. Este arreglo permite la colocación de todo el equipo en una caja circular, en lugar del tubo largo del instrumento original de Cardew ([18], p. 310).

Shallenberger inventa un medidor de corriente alterna de tipo inducción. El inicio de los servicios de distribución de corriente alterna hace ver la necesidad de tomar precauciones especiales al adoptar los primeros tipos de medidores de energía (por ejemplo, la prevención de corrientes parásitas en los componentes del circuito principal). El diseño de Shallenberger tiene un rotor de disco horizontal ligero de hierro. Una larga bobina vertical de campo en dos partes transporta la corriente principal; entre esta bobina y el rotor, dispuesto a un ángulo de 45°, coloca una bobina de circuitos de cobre en corto circuito. La corriente en la bobina principal y la inducida en la bobina en corto circuito producen un campo giratorio y un par sobre el disco, proporcional al cuadrado de la corriente principal. Un ventilador de aspas de aluminio acoplado al rotor ofrece una resistencia al aire proporcional al cuadrado de la velocidad. Así, la velocidad real de giro es proporcional al flujo de corriente. Este medidor permite registrar sólo amperes-hora y no watts-hora ([18], pp. 311-312).

Carl Auer Von Welsbach (1858-1929; Austria) introduce los filamentos de osmio para lámparas incandescentes, con un punto de fusión de 2.700 °C (véase 1885) ([55], p. 933; [40], p. 1740).

Se toma la primera fotografía usando luz artificial ([1]).

Con la introducción al mercado de las lámparas de arco de llama de Bremer (véase 1889) se incrementa la eficiencia de este tipo de iluminación. Las barras utilizadas tienen forma de cilindro, rellenas de un compuesto de mezclas de fluoridos para producir una fuente más brillante y poder controlar hasta cierto grado el color de la luz ([25], p. 173; [51], p. 112).

¹³⁾ *L'Eclairage Electrique*.

Se instala una línea de transmisión de potencia eléctrica de 30 kV, entre Santa Ana y Los Angeles, California, Estados Unidos, distantes 120 km (*/3/*, vol. 18, p. 494).

(continúa 1898)

El 27 de abril, Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) recibe la patente británica (no. 9,712) por una bocina de bobina móvil, es decir, con un sistema de suspensión (véase E. W. Siemens, 1877) (*/25/*, p. 173; */52/*, p. 57).

Valdemar Poulsen (1869-1942; Dinamarca) encuentra, durante sus experimentos, que «sería posible magnetizar un alambre a diferentes grados, tan juntos uno de otro que el sonido se registraría al hacer pasar una corriente desde un micrófono a través de un electroimán y al jalar rápidamente el alambre por el imán o bien al pasar rápidamente el imán a lo largo del alambre.» Lo registrado puede ser reproducido un gran número de veces sin que decaiga la calidad; además, desmagnetizándolo, el alambre puede ser usado nuevamente cuantas veces se quiera. Poulsen inventa así la primera grabadora magnética práctica, a la que llama telegráfico. Solicita un patente danesa y dentro de los dos siguientes años solicitaría patentes adicionales en la mayoría de los países europeos y en Estados Unidos (*/52/*, p. 64). Sin embargo, el dispositivo nunca tendría un uso amplio debido a que no puede amplificarse la señal de salida (*/25/*, p. 173).

Jan Szczepanik diseña una televisión que resuelve el problema de la lentitud del selenio de los dispositivos anteriores. Utiliza un disco giratorio que expone continuamente una superficie fresca de selenio a la escena. El sistema nunca se llegaría a construir (*/25/*, p. 173).

Oliver Joseph Lodge (1851-1940; Inglaterra) desarrolla una de las primeras aplicaciones de la sintonía al incluir condensadores en los circuitos, lo cual reduce los requerimientos de potencia para que la transmisión inalámbrica alcance cierta distancia. Obtiene una patente por este dispositivo (*/25/*, p. 173).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) logra extender el rango de transmisión inalámbrica al aplicar el sistema de sintonía de Lodge (véase arriba) a su equipo. Esto lo lleva a sugerir la factibilidad de las transmisiones transatlánticas (*/25/*, p. 173).

Aleksandr Stepanovich Popov (1859-1906; Rusia), trabajando para la Armada rusa, realiza transmisiones inalámbricas desde un barco hasta la playa a una distancia de 10 km (*/3/*, vol. 9, p. 608).

William Thomson (Lord Kelvin) (1856-1940; Inglaterra) envía los dos primeros telegramas comerciales inalámbricos, uno a Preece y otro a Stokes, desde Needles, en la Isla de Wight, al sur de Inglaterra. Paga un chelín por cada uno. Demuestra así que la telegrafía inalámbrica está lista para su explotación comercial (*/25/*, p. 174).

Nikola Tesla (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) es el primero en realizar una demostración de control remoto, en la que utiliza ondas de radio. En dicha exhibición, dada en el *Madison Square Garden*, Nueva York, Estados Unidos, Tesla utiliza un modelo a escala de un barco (*/34/*, vol. XIII, p. 297).

- Karl Ferdinand Braun (1850-1918; Alemania) utiliza circuitos de sintonía acoplada para mejorar la selectividad de recepción de las señales inalámbricas ([16], p. 303).
- (continúa 1898)
- La Armada y el Ejército rusos comienzan a adoptar el sistema de transmisiones inalámbricas de Popov (véase arriba); el proceso de adopción en Rusia es lento comparado con el desarrollo de otros países ([34], vol. XI, p. 94).
- Louis-Victor Mandroux (1843-1913; Francia) publica *Etude sur les commutateurs centraux* (Estudio sobre los conmutadores centrales) ([40], p. 1103).
- Sidney Howe Short (1858-1902; Estados Unidos-Inglaterra) viaja a Inglaterra para promover la manufactura de sus invenciones en el campo de los trenes eléctricos ([40], p. 1541).
- 1898-1924 Ernst Carl Adolf Gumlich (1859-1930; Alemania) es director del laboratorio de magnetismo del Instituto Físico-Tecnológico Reich, en Berlín, Alemania ([40], p. 720).
- 1899 John J. Carty (1861-1932; Estados Unidos) demuestra que la inducción eléctrica entre circuitos paralelos es, principalmente, electrostática ([40], pp. 306-307).
- Thomas H. Blakesley (1847-1929; Inglaterra) publica *Alternating Currents of Electricity* (Corrientes alternas de la electricidad) ([40], p. 186).
- Hans Benndorf (1870-1953; Suiza-Austria) refuta la teoría de Exner sobre el origen de la electricidad atmosférica con sus propias investigaciones y pruebas en Siberia, Rusia ([40], p. 132).
- Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) determinan que las gotas de lluvia llevan carga eléctrica ([40], p. 521).
- Woldemar Voigt (1850-1919; Alemania) publica "Zur Theorie der magneto-optischen Erscheinungen" ("De la teoría de los fenómenos magnetoópticos")¹⁴⁾, "Weiters zur Theorie der Zeemaneffectes" ("Extensión de la teoría del efecto Zeeman")¹⁵⁾ y "Neuere Untersuchungen über die optischen Wirkungen eines Magnetfeldes" ("Nuevo análisis sobre los resultados ópticos de los campos magnéticos")¹⁶⁾ ([34], vol. XIV, p. 62).
- Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928; Países Bajos) publica "Théorie simplifiée des phénomènes électriques et optiques dans des corps en mouvement" ("Teoría simplificada de los fenómenos eléctricos y ópticos dentro de los cuerpos en movimiento"). Establece las transformaciones de las coordenadas espaciales y temporales¹⁷⁾. Estudia con mayor profundidad los efectos de segundo orden del

¹⁴⁾ *Annalen der Physik*, 67, pp. 345-365.

¹⁵⁾ *Annalen der Physik*, 68, pp. 352-364.

¹⁶⁾ *Physikalische Zeitschrift*, 1, pp. 116-120, 128-131, 138-143.

¹⁷⁾ Equivalentes a las presentadas en 1904, excepto por un coeficiente indeterminado.

(continúa 1899)

teorema de estados correspondientes, introducido en 1895. Propone, sin explorarla extensamente, la idea de que las transformaciones de segundo orden implican que la masa de un electrón varía con la velocidad y que la masa es diferente para movimientos paralelos o perpendiculares a la dirección del movimiento.

Dado que los rayos catódicos son partículas cargadas negativamente e independientes del procedimiento de producción, Lorentz identifica estas partículas con los electrones de su teoría. Esta teoría también explica el *efecto Zeeman* (véase 1896). El valor teórico que obtiene para el cociente entre la carga y la masa de los electrones está de acuerdo con los valores experimentales obtenidos por J. J. Thomson, Kaufmann y otros científicos ([34], vol. VIII, p. 496).

Se traduce al inglés y se publica (póstumamente) el tercer tomo de la obra *Principles of Mechanics* (*Principios de mecánica*), de Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894; Alemania) ([3], vol. 5, p. 892).

Otto Richard Lummer (1860-1925; Alemania) y Ernst Pringsheim (1859-1917; Alemania) investigan la energía y la temperatura de radiación, incluyendo la comprobación de varias leyes teóricas, y sobre la radiación de cuerpo negro (lo que llevaría a Planck a su teoría cuántica) ([40], p. 1078).

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947; Alemania) completa la derivación de la ley de distribución espectral para la radiación del calor, al obtener la forma dada primero por Wien en 1896. Para este propósito, Planck tiene que introducir la entropía del resonador mediante una definición en la que intervienen «dos constantes positivas universales», que aparecen aquí por primera vez. Haciendo uso de la relación entre la energía del resonador y la intensidad espectral de la radiación en equilibrio Planck obtiene la forma de Wien de la ley de distribución de la energía radiante. Planck obtiene otro resultado adicional: la ecuación de la diferencia entre la energía absorbida y la emitida. A partir de esta relación, concluye que «la energía absorbida podría ser negativa bajo ciertas circunstancias [...] En este caso la onda excitadora extraería energía del resonador.» Planck, al igual que Wien antes que él, estudia la temperatura de la radiación. Hacia finales de año, Planck se da cuenta de que los resultados experimentales publicados por Rubens, Lummer y E. Pringsheim en septiembre, muestran desviaciones de la ley de Wien y así de las predicciones de su propia teoría de los osciladores, los cuales él asocia todavía con átomos ponderables ([34], vol. XI, pp. 11-12).

Harry Manly Goodwin (1870-1949; Estados Unidos) publica *The Fundamental Laws of Electrolytic Conduction* (*Las leyes fundamentales de la conducción electrolítica*), en el que incluye una memoria de Faraday y otra de F. Kohlrausch, así como el primer volumen de los cuatro artículos escritos por Hittorf en 1853-59, con el título "On the Migration of Ions During Electrolysis" ([34], vol. VI, p. 440).

Piotr Nikolaievich Lebedev (1866-1912; Rusia) lee ante el *Congreso Internacional de Física*, en París, su trabajo "Opyotnoe issledovanie svetogo davlenia" ("Una investigación experimental sobre la presión de la luz", publicado en 1901), que es resultado de su investigación del año pasado ([34], vol. VIII, p. 107).

(continúa 1899)

Eduard Riecke (1845-1915; Alemania) publica "Ueber die Vertheilung von freier Elektrizität an der Oberfläche einer Crooks'schen Röhre" ("Sobre la distribución de la electricidad libre en la superficie de los tubos de Crookes")¹⁸⁾. Riecke identifica, como resultado de sus estudios con tubos de Geissler, que las partículas proyectadas desde el cátodo tienen carga negativa; demuestra que dicha carga es la misma para todos los metales, es decir, no depende del metal del cual está fabricado el cátodo (134), vol. XI, p. 446).

Joseph John Thomson (1856-1940; Inglaterra) publica "On the Theory of Conduction of Electricity Through Gases by Charged Ions" ("Sobre la teoría de conducción de la electricidad a través de gases por iones cargados")¹⁹⁾. Continúa algunos experimentos de Elster y Guttel; encuentra otras partículas (liberadas de los metales mediante luz ultravioleta y de filamentos de carbón mediante calor) que poseen aproximadamente el mismo valor del cociente carga-masa que los electrones. Trata de medir directamente la carga eléctrica, pero no logra obtener valores correctos.

En "On the Masses of the Ions in Gases at Low Pressure" ("Sobre las masas de los iones en gases a bajas temperaturas")²⁰⁾, Thomson explica el efecto Edison (1883), al mostrar que la corriente que fluye entre el filamento y la placa del tubo son electrones.

Por sí sola, la teoría de Thomson es incompleta, pero cuando se une a los resultados de Zeeman de 1896, la existencia del electrón es definitiva (167, p. 80; 125), p. 174; 134), vol. XIII, pp. 364-368).

Georges M. M. Sagnac (1869-1928; Francia) publica "Sur la transformation des rayons X par la matière" ("Sobre la transformación de los rayos X por la materia")²¹⁾ (véase 1896-1900) (134), vol. XII, p. 69).

McClelland encuentra que si en un gas enrarecido la temperatura del cátodo metálico es alta, la corriente de saturación es casi independiente de la naturaleza del gas o de su presión. Por lo que el desprendimiento de electricidad resinosa de una superficie metálica en un gas enrarecido debe depender sólo de la temperatura y de la naturaleza del metal²²⁾ (149), p. 426).

Richard Abegg (1869-1910; Polonia) realiza estudios sobre la valencia de los átomos, y determina que en la configuración más estable, el número de electrones en el grupo más lejano es de ocho (13), vol. I, p. 24).

Antoine-Henri Becquerel (1852-1908; Francia) es el intermediario a través del cual los artículos de los esposos Curie llegan a la *Académie française des sciences*, de París, Francia; con ello regresa al estudio la radiactividad. Los Curie le prestan preparaciones de radio. Becquerel investiga los efectos sobre las emisiones del radio, causadas por campos magnéticos en varias orientaciones con respecto a la dirección de propagación de la radiación (desviación magnética de los rayos beta de los productos de decaimiento de vida corta en equilibrio con el radio). Desarrolla el estudio basado en observaciones cuantitativas de haces colimados, en los que J. J. Thomson había mostrado (véase 1897) que los rayos catódicos son corpusculares y que consisten en haces de partículas muy veloces cargadas negativamente cuyas masas son probablemente subatómicas. Becquerel

18) *Annalen der Physik*, 69, pp. 788-800.

19) *Philosophical Magazine*, 47.

20) *Philosophical Magazine*, 48.

21) *Eclairage électrique*, 18, pp. 41-48.

22) Publica sus resultados en *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, X, p. 241.

Continúa 1899

duplica esos experimentos para la radiación del radio y muestra que ésta también consiste de iones cargados negativamente, moviéndose a 1.6×10^{10} cm/s con una razón de $m/e = 10^{-7}$ gm/abcoul. Así, los *corpusculos* (electrones) de Thomson constituyen una parte de las emisiones de la radiactividad. En este año publica²¹⁾ los artículos "Influence d'un champ magnétique sur le rayonnement des corps radio-actifs" ("Influencia de un campo magnético sobre la radiación de los cuerpos radiactivos") y "Sur le rayonnement des corps radio-actifs" ("Sobre la radiación de los cuerpos radiactivos"). En estas investigaciones Becquerel reúne la magnetoóptica con una línea de estudios cualitativos de las descargas de electricidad en los gases enrarecidos (J34, vol. I, p. 559).

Ernest Rutherford (1871-1937; Nueva Zelanda-Inglaterra) muestra que la radiación de A.-H. Becquerel (véase 1896) no está constituida por rayos X, que es emitida sin necesidad de proporcionarle energía y que se puede agrupar en dos tipos de rayos, a los que nombra rayos alfa y rayos beta (J16, p. 306).

Johann Philipp Ludwig Julius Elster (1854-1920; Alemania) y F. K. Hans Geitel (1855-1923; Alemania) concluyen, a partir de sus resultados del año anterior, que el efecto radiactivo es una transformación espontánea y natural de un elemento, acompañada de una liberación de energía. Durante los siguientes cuatro años se dedicarían a estudiar el fenómeno de la radiactividad (J34, vol. IV, pp. 355-356).

Pierre Curie (1859-1906; Francia) y Marie Curie (Maria Skłodowska) (1867-1934; Polonia-Francia) logran obtener sustancias radiactivas cien mil veces más activas que el uranio (J34, vol. III, p. 499).

Charles Fabry (1867-1945; Francia) publica *Les piles électriques* (Las pilas eléctricas) (J40, p. 540).

Karl Feussner (1855-1915; Alemania) publica *Hochspannungsbatterien* (Baterías de alta presión) (J40, p. 561).

Karl Feussner (1855-1915; Alemania) publica *Neue formen elektrischer Widerstandssätze* (Nuevas formas de resistencias eléctricas) (J40, p. 561).

William Fletcher Barrett (1844-1925; Jamaica) descubre las propiedades eléctricas y magnéticas de la *stalloy* (usada en la construcción de dinamos y transformadores) (J40, p. 117).

Frederick Louis Odenbach (1857-1933, Estados Unidos) inventa el *ceraunógrafo*, un sismógrafo eléctrico (J40, p. 1274).

En la edición del 4 de febrero del diario *Saturday Evening Post*, de Estados Unidos, aparece el primer anuncio comercial de los bulbos de luz eléctrica de la compañía *General Electric* (J25, p. 174).

Se estima que el número de lámparas eléctricas instaladas en Londres, Inglaterra, supera ya los 2.5 millones. En toda Inglaterra su número es todavía mucho mayor (J18, p. 135).

21) Ambos artículos en *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*.

Charles Francis **Brush** (1849-1929; Estados Unidos) recibe la *Medalla Rumford* de la *American Academy of Arts and Sciences*, por el desarrollo de la iluminación por arco eléctrico ([40], p. 262).

(continúa 1899)

El desarrollo de líneas de transmisión de potencia eléctrica de voltajes más altos (véase 1898) se ve restringido por las limitaciones de los aisladores del tipo conector ([3], vol. 18, p. 494).

Nikola **Tesla** (1856-1943; Croacia-Estados Unidos) rechaza la comunicación inalámbrica porque sus sistemas transmiten grandes cantidades de potencia, y propone un sistema de conducción real de la electricidad por medios naturales. Trabajando en Colorado Springs, Estados Unidos, demuestra que la Tierra es un conductor ([34], vol. XIII, p. 286).

Se inaugura una línea de transmisión de potencia eléctrica de 40 kV, entre las ciudades de Colgate y Sacramento, California, Estados Unidos, distantes unos 112 km ([3], vol. 18, p. 494).

Michael Idvorsky **Pupin** (1858-1935; Banat-Estados Unidos), basado en los descubrimientos teóricos de **Heaviside** de 1886 y de sus propios estudios sobre la analogía eléctrica de una cuerda vibratoria cargada a intervalos regulares, demuestra que con la inserción periódica de bobinas de inducción de núcleo de hierro en las líneas telefónicas se puede triplicar la distancia máxima de la transmisión, dado que se reduce la atenuación y la distorsión -por algún tiempo, a estas líneas se les llamaría *pupinizadas*. Además, dicha técnica le permite calcular el tamaño óptimo de las bobinas, así como su espaciamiento. Con este método funda la teoría de transmisión de línea. Presenta los resultados ante el *American Institute of Electrical Engineers*. Solicita además una patente por su sistema ([16], p. 80; [25], p. 174; [34], vol. XI, p. 213).

En Estados Unidos se escribe la primera información sobre la construcción de los equipos de sistemas inalámbricos²⁴⁾ ([25], p. 174).

Aleksandr Stepanovich **Popov** (1859-1906; Rusia) logra una distancia de transmisión inalámbrica de 50 km (véase 1898) ([3], vol. 9, p. 608).

Guglielmo **Marconi** (1874-1937; Italia) establece el primer enlace de ondas de radio entre Francia e Inglaterra. A petición del gobierno francés, **Marconi** trata de comunicar South Foreland, Inglaterra, con Boulogne, Francia, distantes unos 51 km. Utiliza el sistema de sintonía de Lodge y una bobina de 25 cm con una abertura de 1.9 cm ([25], p. 174).

Karl Ferdinand **Braun** (1850-1918; Alemania) resuelve el problema de incrementar la distancia de transmisión inalámbrica de señales más allá de 15 km. Cree que este rango puede aumentarse fácilmente, incrementando la potencia del transmisor; sin embargo, sus estudios de los osciladores de **Hertz** indican que, al incrementar la longitud de la abertura de descarga, eventualmente se alcanza un límite para la potencia de salida, por encima del cual la chispa provoca un decremento de la salida. **Braun** encuentra que la solución es un circuito-antena sin descarga. La potencia del transmisor se acopla magnéticamente al circuito-antena mediante un efecto transformador, en lugar de

²⁴⁾ *American Electrician*, julio 1899

conectar directamente la antena al circuito de potencia. Desarrolla también una antena que dirige la transmisión de ondas eléctricas a una dirección determinada (134), vol. II, p. 127).

(Continúa 1899)

Reginald Aubrey Fessenden (1866-1932; Canadá) demuestra la recepción direccional de las ondas de radio mediante una antena de rizo. Se considera que este hecho constituye el inicio en el área de las herramientas de auxilio para la navegación (125), p. 174).

El buque fero *East Goodwin*, de Inglaterra, es embestido por el *R. F. Mathews*, cerca de las costas de Dover. Se envía la primera llamada inalámbrica de auxilio del mundo al buque fero *South Foreland*, que está a una distancia de unos 25 km. Esta es la primera vez que se utiliza la telegrafía inalámbrica para fines de salvamento marítimo (125), p. 174).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) incorpora la *Marconi Wireless Telegraph Co.*; es la primera empresa en sistemas inalámbricos en Estados Unidos. Se autorizan dos millones de acciones a 5.00 dólares cada una (125), p. 174).

Guglielmo Marconi (1874-1937; Italia) publica "Wireless Telegraphy" ("Telegrafía inalámbrica")²⁵⁾ (125), p. 174).

Louis-Rene Auvert (1857-1911) inventa una locomotora de acumulador eléctrico; resulta, no obstante, muy difícil de manejar (140), p. 77).

Entra en operación el servicio de trenes eléctricos entre Milán y Mouze, Italia. La potencia se obtiene de unos acumuladores (125), p. 174).

Karl Ferdinand Braun (1850-1918; Alemania) construye un diodo rectificador basado en el principio por él descrito en 1874 (110), p. 104).

Silvanus Phillips Thompson (1851-1916; Inglaterra) llega a ser presidente de la *Institution of Electrical Engineers* de Inglaterra (140), p. 1668).

²⁵⁾ *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 28

APÉNDICE

En esta sección se presentan en orden cronológico diversos personajes para cuyas aportaciones citadas no se pudo encontrar la fecha de ocurrencia.

Edward Wright (1561-1615; Inglaterra) desarrolla un dispositivo para corregir la variación de las brújulas; explica el fenómeno de la inclinación magnética ([40], p. 1827).

Johann Heinrich Winckler (o Winkler) (1703-1770; Alemania) publica *Thoughts on the Properties and Effects of Electricity* ([40], p. 1810).

Jean Morin (1705-1764; Francia) investiga la electricidad estática ([40], pp. 1209-10).

Étienne François Dutoit (1711-1784; Francia) investiga y publica sobre el magnetismo y la electricidad ([40], p. 497).

Andreas (o Andrew) Gordon (1712-1751; Escocia) inventa un torniquete eléctrico; un remolino eléctrico; la primera forma de motor de reacción electrostática y un carrillón eléctrico (primera aplicación de la convección eléctrica) ([40], p. 690).

Louis Necker (1730-1804; Suiza) escribe varios artículos sobre electricidad para la enciclopedia de D. Diderot ([6], p. 223).

George Adams (el joven) (1750-1795; Inglaterra) construye diversos aparatos eléctricos ([40], p. 11).

Franz Achard (1753-1821; Alemania) es uno de los primeros en sospechar que la conductividad térmica es proporcional a la conductividad eléctrica ([40], p. 7).

Abraham Nicholas Edelcrantz (1754-1821; Suecia) inventa un telégrafo ([40], p. 429).

Benjamin McGgot Forster (1764-1829; Inglaterra) construye un electroscopio atmosférico ([40], p. 589).

Alexander-Claude-Martin Le Bailly (1764-1831; Francia) construye un nuevo galvanómetro y diversas celdas secas ([40], p. 1013).

Paul Erman (1764-1851; Alemania) investiga la conducción de la electricidad a distancia y el estado eléctrico de la atmósfera. Descubre la caída de

voltaje en los circuitos exteriores de una *columna de Volta* (preparatorio al descubrimiento de la *ley de Ohm*), el principio de mecanismos de conducción como ocurrencias simultáneas en ambos polos. Demuestra la relación entre fricción, electricidad y corrientes galvánicas. Es el primero en observar la unilateralidad de las partículas cargadas (*/40/*, p. 529).

Johann Gottlieb Von Bohnenberger (1765-1831; Alemania) inventa un electrómetro (*/40/*, p. 1730).

Charles De Haldat du Lys (1770-1852; Francia) publica *Histoire du magnétisme* (*/40/*, p. 432).

Mathew Flinders (1774-1814; Inglaterra) es uno de los primeros en darse cuenta de, y corregir, los errores en las brújulas causados por el hierro de los barcos (*/40/*, p. 580).

Giuseppe Zamboni (1776-1846; Italia) inventa un reloj eléctrico (*/40/*, p. 1841).

Charles E. Delezenne (1776-1866; Francia) inventa un aro magnético para medir las corrientes primarias (*/40/*, p. 438).

Giambattista Pianciani (1784-1862; Italia) realiza investigaciones sobre electricidad y magnetismo (*/40/*, p. 1344).

Henri Prudence Camley (1787-1847; Francia) descubre la atenuación de la declinación de una aguja de imán por una placa de cobre (*/40/*, p. 291).

Robert Were Fox (1789-1877; Inglaterra) estudia los fenómenos magnéticos, en particular el magnetismo terrestre (*/40/*, p. 595).

William Snow Harris (1791-1867; Inglaterra) perfecciona los pararrayos y una brújula. Es el primero en diseñar el electrómetro de disco (*/40/*, p. 759).

Johann Christian Poggendorf (1796-1877; Alemania) inventa un circuito compensador para determinar la fuerza electromotiva en circuitos constantes y variables; realiza investigaciones sobre la inducción; experimenta con la máquina eléctrica de influencia de W. Holtz (transmisión de potencia eléctrica); determina las series electromotivas en ácido sulfúrico diluido y en cianuro de potasio; construye un voltímetro de plata, un rheocordio (para medir resistencias); mejora el galvanómetro seno y la termopila (*/34/*, p. 50, vol. XI).

Jean Baptiste François Soleil (1798-1878; Francia) inventa un microscopio fotoeléctrico (*/40/*, p. 1577).

John Thomas Towson (1804-1881; Inglaterra) publica *Practical Information on the Deviation of the Compass for the Use of Masters and Mates of Iron Ships* (*/40/*, p. 1684).

Benoit-Henri Daronileau (1805-1869; Francia) es el primero en Francia en desarrollar diversos métodos para poder usar las brújulas en los barcos de hierro. Realiza investigaciones sobre el magnetismo terrestre (*/40/*, p. 410).

Jean Thiebaut Silbermann (1806-1865; Francia) muestra, antes que **Jacobi**, la posibilidad de aplicar la galvanoplastia a la reproducción de medallas. Estudia la velocidad de la luz y de la electricidad (*/40/*, p. 1547).

Alfred Lewis Vail (1807-1859; Estados Unidos) inventa una palanca horizontal, así como un rodillo con zurco y balanza automática, para el telégrafo (*/40/*, p. 1704).

David Alter (1807-1881; Estados Unidos) inventa un reloj eléctrico y un modelo de locomotora eléctrica (*/40/*, p. 15).

Luigi Palmieri (1807-1896; Italia) inventa un electrómetro (*/40/*, p. 1303).

William Fardely (1810-1869; Inglaterra-Alemania) es uno de los pioneros de la telegrafía eléctrica. Es el primero de la Europa continental en emplear el retorno por tierra. Trabaja en el desarrollo de la retransmisión y en el perfeccionamiento de los elementos galvánicos (*/40/*, p. 546).

Jean-Mothée Gaugain (1810-1880; Francia) perfecciona el electrodinamómetro. Inventa una brújula magnética tangente y un electrómetro, el cual permite la comparación de la capacidad de los condensadores mediante la desaceleración de la carga y una descarga brusca (*/40/*, p. 636).

Jérémie-Joseph-Benoit Ahria (1811-1892; Francia) realiza investigaciones en electricidad y óptica. Demuestra que la intensidad de una corriente eléctrica inducida es proporcional a la de la corriente del inductor (*/40/*, p. 6).

Paul Quentin Desains (1812-1885; Francia) realiza investigaciones sobre magnetismo terrestre (*/40/*, p. 447).

Pierre Antoine Favre (1813-1880; Francia) mide los cambios térmicos en la magnetización; la inducción en diferentes situaciones (confirmando la conservación de energía); la fuerza electromotriz de soluciones de sales de metales alcalinos. Encuentra que el trabajo químico y el eléctrico son diferentes y que la reacción en cuestión es la que determina cuál de estos trabajos es mayor (*/40/*, p. 550).

William Thomas Henley (ca. 1813-1882; Inglaterra) desarrolla diversos aparatos para producir luz eléctrica y diseña un cable submarino (*/40/*, p. 785).

Anthony Andrews (1813-1885; Irlanda) investiga la conductividad eléctrica de las flamas y del aire caliente (*/40/*, p. 52).

Samuel Colt (1814-1862; Estados Unidos) introduce la electricidad como agente para encender pólvora (*/40/*, p. 359).

Louis Henri Frédéric Nelsens (1814-1886; Francia) inventa un pararrayos de conexión múltiple a tierra (*/40/*, p. 1245).

Joseph Baxchdell (1815-1887; Inglaterra) investiga y publica sobre meteorología y magnetismo terrestre. Es uno de los pioneros en detectar la relación entre la física terrestre y la solar (*/40/*, p. 132).

Daniel Gooch (1816-1889; Inglaterra) es director de la *Telegraph Construction and Maintenance Company*, de Inglaterra (*/40/*, p. 676).

John Allan Brown (1817-1879; Escocia) es uno de los fundadores del estudio del magnetismo terrestre. Sus estudios son importantes en el establecimiento de las leyes de esta rama. Descubre que la Tierra gana o pierde intensidad magnética como un todo. Muestra que el período magnético terrestre es de 26 días (debido a la rotación del Sol). Define el período anual para la intensidad magnética (*/40/*, p. 251).

Pierre Augustine Bertin (1818-1884; Francia) realiza investigaciones sobre la polarización magnética en rotación (*/40/*, p. 166).

Jules-Célestin Jamin (1818-1886; Francia) publica *Constitutions des aimants* (memorias). Construye un modelo de imán artificial (*/40/*, p. 872).

Jonathan Homer Lane (1819-1880; Estados Unidos) trabaja en una máquina calculadora de raíces reales de ecuaciones de alto grado, empleando corrientes eléctricas en un conjunto de pequeñas bobinas de inducción. Diseña un gobernador electromecánico, un telégrafo óptico, una bomba de aire y experimenta sobre la refrigeración mecánica (*/3/*, vol. 7, p. 141; */40/*, p. 994).

Erik Edlund (1819-1888, Suecia) investiga sobre electricidad atmosférica, inducción, polarización, telegrafía, supercorrientes y relación entre el efecto Peltier y la energía eléctrica (*/40/*, p. 508).

Edmé Hippolyte Marié-Davy (1820-1893; Francia) estudia el magnetismo terrestre. Inventa una celda eléctrica que emplea bisulfato de mercurio (*/40/*, p. 1111).

Théodore Achille Louis Du Moncel (1821-1884; Francia) inventa un anemógrafo (dispositivo para registrar eléctricamente el sonido) (*/40/*, p. 491).

Elliot Perry Gleason (1821-1901; Estados Unidos) es uno de los pioneros de la iluminación eléctrica. Es presidente y principal dueño de *E. P. Gleason Manufacturing Company*, en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, que fabrica aparatos para iluminación a gas y eléctrica (*/40/*, p. 662).

Friedrich Wilhelm Hubert Von Becz (1822-1886; Alemania) perfecciona el puente de Wheatstone (*/40/*, p. 1729).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra), Forde y Taylor supervisan la manufactura y el tendido de más de 150,000 km de cable submarino en varias partes del mundo (*f40*, p. 340).

Josiah Latimer Clark (1822-1898; Inglaterra) inventa una banda doble aislante para los cables telegráficos (*f40*, p. 340).

Albert Holmgren (1824-1905; Suecia) investiga la influencia de la temperatura sobre los fenómenos magnéticos (*f40*, p. 820).

Conrad Conradty (1827-1901; Alemania) funda una fábrica, en Nüremberg, Alemania, para la manufactura de barras de carbón para las lámparas de arco y para la producción de electrodos. Estudia los efectos eléctricos en el carbón (*f40*, p. 364).

Cronwell Fleetwood Varley (1828-1883; Inglaterra) propone que los rayos catódicos son partículas materiales rechazadas por la electricidad. Inventa un relé polarizado; un sistema de traducción para usarse en los cables de las líneas telegráficas de los Países Bajos; un sistema para localizar fallas en los cables submarinos; construye un dispositivo para simular las condiciones de los cables submarinos (*f40*, p. 1713).

Joseph William Swan (1828-1914; Inglaterra) inventa una lámpara de seguridad para los mineros y un recubrimiento superficial celular de plomo para los acumuladores (*f40*, p. 1637).

Charles Bourseul (1829-1912; Bélgica-Francia) perfecciona el telégrafo Morse para ser usado en Francia. comienza a realizar las investigaciones para la transmisión eléctrica de palabras (véase 1851, 1854) (*f40*, p. 220).

Carl Ludwig Frischen (1830-1890; Alemania), independientemente de E. W. Siemens, inventa un interruptor para poder enviar señales telegráficas en ambas direcciones simultáneamente por el mismo alambre. Apoya a Siemens en sus primeros experimentos con los teléfonos de Bell, en Alemania. Sus actividades en la instalación de cables telegráficos en Alemania son fundamentales (*f40*, p. 612).

Rudolf Eickemeyer (1831-1895; Alemania-Estados Unidos) patenta la primera armadura simétrica de tambor (*iron clad dynamo*). Eickemeyer recibiría más de 150 patentes (*f40*, p. 514).

Ivan Alekseevich Vyshnegradski (1831-1895; Rusia) desarrolla la teoría de la regulación automática (*f40*, p. 1742).

Odgen Nicholas Road (1831-1902, Estados Unidos) mide la duración de una chispa eléctrica en una botella de Leiden y la alta resistencia de los dieléctricos (*f34*, vol. XI, p. 531; *f40*, p. 1442).

Johannes **Bosscha** (1831-1911; Países Bajos) desarrolla los *corolarios de Bosscha*, proposiciones que simplifican las aplicaciones de la *ley de Ohm*. Investiga la causa de la polarización galvánica (*f40*, p. 215).

Charles Tilston **Bright** (1832-1888; Inglaterra) y Josiah Latimer **Clark** (1822-1898; Inglaterra) perfeccionan un método para recubrir con asfalto los cables submarinos (*f40*, p. 241).

James **Wimshurst** (1832-1903; Inglaterra) perfecciona la bomba de vacío y los métodos para comunicar los buques con la playa (*f40*, p. 1809).

Henry Charles Fleeming **Jenkin** (1833-1885; Inglaterra) trabaja con W. **Thomson** sobre el aislamiento y la resistencia de los cables telegráficos submarinos. Investiga la resistencia de la gutapercha (*f40*, p. 873).

Jakob Eduard **Hagen-Bischoff** (1833-1910; Suiza) investiga la chispa eléctrica entre un punto y una placa (*f40*, p. 731).

Hippolyte **Fontaine** (1833-1917; Francia) descubre la reversibilidad del dinamo y construye una máquina eléctrica que utiliza este principio. Funda la revista *Revue industrielle* (*f40*, p. 585).

Henry **Wilde** (1833-1919; Inglaterra) inventa el *magnetarium*, para simular el magnetismo terrestre (*f40*, p. 1798).

William Arnold **Anthony** (1835-1908, Estados Unidos) diseña y construye dinamos más sofisticados, incluyendo el que se usa para el primer sistema de distribución de energía eléctrica en el metro y para el primer sistema de iluminación callejera. También contribuye al desarrollo de la lámpara eléctrica de gas (*f3*, vol. 1, p. 445; *f38*, vol. 2, p. 18).

George Frederick **Barker** (1835-1910, Estados Unidos) es el primero en Estados Unidos en demostrar la presencia de radio en los cuerpos radioactivos (*f40*, p. 111).

Ernest **Mercadier** (1836-1911; Francia) inventa el termáfono y un diapasón registrador eléctrico de longitud variable para el estudio de los tonos sonoros (*f40*, p. 1162).

Wilhelm **Holtz** (1836-1913; Alemania) publica *El peligro del rayo y sus causas* (en alemán) (*f40*, pp. 821-822).

William Grylls **Adams** (1836-1915; Inglaterra) publica sobre las perturbaciones magnéticas simultáneas, curvas y superficies equipotenciales, máquinas de corriente alterna y dinamos (*f40*, p. 13).

Arthur Williams **Wright** (1836-1915; Estados Unidos) es el primero en observar la sombra eléctrica en el aire; aplica la descarga catódica en vacío para formar películas metálicas para los espejos (*f40*, p. 1826).

Georges **Leclanché** (1839-1882; Francia) construye algunos contactos eléctricos de mercurio (*/40/*, p. 1014).

Alfred **Potier** (1840-1905; Francia) aplica la teoría de J. C. **Maxwell** a los fenómenos electromagnéticos (*/40/*, p. 1367).

George **Beall** (1840-1918; Inglaterra) publica *Handbook to Deviascope, with short treatise on magnetism*, en el cual describe el deviascopio, empleado en trabajos magnéticos (*/40/*, p. 135).

Thomas Corwin **Mendenhall** (1841-1924; Estados Unidos) publica *A century of Electricity*. Realiza estudios sobre la electricidad y la electricidad atmosférica (*/40/*, p. 1161).

Moses Greely **Parker** (1842-1917; Estados Unidos) realiza un estudio especial de la electricidad; es el primero en fotografiar una corriente eléctrica y mostrar que toma forma de espirales (*/40/*, pp. 1308-09).

Emil Arnold **Budde** (1842-1921; Alemania) es uno de los pioneros en la construcción de filamentos metálicos prácticos de las lámparas eléctricas (*/40/*, p. 267).

Gisbert **Kapp** (1842-1922; Austria) diseña diversos métodos de pruebas eléctricas. En su honor se denomina *línea de Kapp* a una unidad de fuerza magnética. Aplica las matemáticas a la ingeniería eléctrica (*/40/*, p. 906).

Valentin-Joseph **Boussinesq** (1842-1929; Francia) realiza descubrimientos electromagnéticos que, junto con los de **Helmholtz**, son la base de la rudimentaria teoría del electrón de Lorentz (*/40/*, p. 220).

George Otto **Schneller** (1843-1895; Alemania-Estados Unidos) participa activamente en la construcción del sistema de tranvías eléctricos entre las ciudades de Derby, Ansonia y Shelton, en Connecticut, Estados Unidos (*/40/*, p. 1498).

Marcel **Deprez** (1843-1918; Francia) es uno de los primeros promotores del empleo de la potencia eléctrica en la industria. Trabaja con A. d'**Arsenal** y J. **Carpentier** en el diseño y manufactura de una gran variedad de instrumentos de medición de corriente directa. Adapta pequeños motores para uso doméstico y de manufactura. Inventa el electrodinamómetro absoluto; un wattímetro y un ámmetro. Investiga sobre la regulación de motores eléctricos; el papel que juega el núcleo de hierro en las armaduras; perfecciona el uso del entrehierro y del diapason para registrar los fenómenos balísticos (*/40/*, p. 445).

Henry Smith **Carhart** (1844-1920; Estados Unidos) diseña la *celda Carhart-Clark* (*/40/*, p. 298).

William Fletcher **Barrett** (1844-1925, British West Indies) investiga la contracción del níquel debida a la magnetización (*/40/*, p. 117).

Emil Baudot (1845-1903, Francia) inventa un telégrafo múltiple (*[35]*, vol. 2, p. 189).

Friedrich Franz von Hefner-Alteneck (1845-1904, Alemania) perfecciona el telégrafo de Hughes; diseña el dinamómetro Hefner-Alteneck (*[40]*, p. 1736). Inventa un método de telemedición eléctrica de información remota del nivel del agua; un servomecanismo eléctrico para el telégrafo de los barcos; y un método para bloquear las señalizaciones de los ferrocarriles.

Hermann Aron (1845-1913, Prusia-Alemania) es uno de los pioneros de las comunicaciones por radio. Realiza investigaciones sobre las corrientes eléctricas (*[40]*, p. 66).

Theodore Newton Vail (1845-1920, Estados Unidos) perfecciona de diversas maneras la tecnología telefónica; tableros, aparatos de señales y dispositivos de cierre de circuitos (*[40]*, p. 1704).

Patrick Bernard Delany (1845-1924, Irlanda) recibe 150 patentes, incluyendo una para cables anti-inducción y otra para un telégrafo multiplex sincrónico. Desarrolla sistemas automáticos para los cables oceánicos, así como la telegrafía de máquina rápida (*rapid machine telegraphy*) para cables terrestres. Perfecciona los sistemas automáticos de telegrafía para transmitir y registrar 3.000 palabras por minuto en un solo cable (*[40]*, p. 436).

Rookes Evelyn Bell Crompton (1845-1940, Reino Unido) es uno de los pioneros de la iluminación eléctrica en Inglaterra. Con Emil Burgin construye un generador, una lámpara de arco, un dinamo a tensión constante, un dinamo de corriente directa a 60 V y 5.000 A para hornos eléctricos. Utiliza esmalte como aislante. Con J. A. Fleming construye instrumentos de medición y un autobús impulsado por acumuladores (*[40]*, p. 389).

Johann Siegmund Shuckert (1846-1893, Alemania) construye un dinamo, una lámpara de arco de corriente eléctrica directa basada en la patente de Krizlik (*[40]*, p. 1503).

George Westinghouse (1846-1914, Estados Unidos) aplica la electricidad a dispositivos neumáticos para conmutadores (*switching*) y señalización (*signaling*). Construye dinamos para caminos elevados y subterráneos en Nueva York, Estados Unidos, y para el tren metropolitano de Londres, Inglaterra (*[40]*, p. 1784).

Paul Yablojkov (1847-1894, Rusia) inventa varios dispositivos para el estudio de la electricidad (*[40]*, p. 864).

Después de 1891, William Edward Ayrton (1847-1908, Inglaterra) estudia el magnetismo terrestre, la polarización electrolítica y la electricidad por contacto. Realiza pruebas sobre telegrafía; investiga los acumuladores y las celdas de Clark. Construye un galvanómetro, lámparas de brillo, resistencias no inductivas, dinamos de corriente alterna, balanzas de Ampère y transformadores.

(/40/, p. 80). Publica gran número de libros y artículos sobre ingeniería eléctrica, tales como *Practical Engineering* (/35/, vol. 1, p. 1239).

Francis Eugene Nipher (1847-1927; Estados Unidos) realiza extensos estudios sobre la descarga eléctrica; muestra que el potencial eléctrico de la Tierra está sujeto constantemente a grandes variaciones locales; describe las causas de las perturbaciones magnéticas del campo terrestre; produce perturbaciones similares en el campo de un imán de barra envuelto por aire electrificado; muestra que el vapor de agua se puede descomponer con una corriente eléctrica; demuestra experimentalmente que la atracción gravitacional se puede reducir mediante la electrificación de masas de materia; convierte la atracción gravitacional entre dos cuerpos en repulsión cuando las masas están completamente faradizadas con metal una de la otra (/40/, p. 1259).

Thomas H. Blakesley (1847-1929; Inglaterra) descubre un meteorito de hierro de gran masa mediante el efecto local de la deslinación magnética. Realiza investigaciones de las corrientes alternas y de problemas relacionados de los cables telegráficos y de la transmisión de potencia eléctrica. Inventa diversos métodos mecánicos para resolver ecuaciones cúbicas (/40/, p. 186).

Frederick J. Jervis-Smith (1848-1911; Inglaterra) inventa diversos tipos de dinómetros e integradores. Es uno de los pioneros de la telegrafía inalámbrica (supervisa la primera instalación en Oxford, Inglaterra) (/40/, p. 881).

Donato Tommasi (1848-1944; Italia) investiga sobre electroquímica, termoquímica y electricidad (baterías, acumuladores, iluminación eléctrica, telegrafía). Su trabajo principal se relaciona con la acción química de las baterías, constantes térmicas, el estado naciente de los cuerpos. Descubre diversas constantes térmicas y expresa sus leyes generales (/40/, p. 1680).

John Hopkinson (1849-1898; Inglaterra) investiga los principios de las ocurrencias sincromotrices electromagnéticas en los dinamos; las propiedades de los dieléctricos que involucren el magnetismo. Establece el principio de interferencia, básico en la teoría de los dieléctricos. Patenta más de 40 inventos (/40/, p. 826).

Franz Serafin Exner (1849-1926; Austria) es el fundador de la investigación teórica moderna de la electricidad atmosférica. Demuestra que el cuadrado de la velocidad de las partículas en el movimiento browniano es aproximadamente proporcional a la temperatura (/40/, p. 538).

René-Prospér Blondlot (1849-1930; Francia) determina la velocidad de los rayos X y muestra que son ondas electromagnéticas; determina la velocidad de transmisión en un alambre metálico periódicamente sujeto a corrientes bruscas (/40/, p. 193).

George Forbes (1849-1936; Inglaterra) inventa una escobeta de carbón para los dinamos y motores eléctricos y un medidor adecuado para las corrientes eléctricas alternas (/40/, p. 586).

John Ambrose **Fleming** (1849-1945; Inglaterra) y E. **Dewar** trabajan sobre la resistencia eléctrica a bajas temperaturas (*/40/*, p. 578).

Lucien **Gaulard** (1850-1888; Francia) instala un sistema de iluminación eléctrica en el metro de Londres (*/40/*, p. 636).

Thomas **Gray** (1850-1908; Escocia), representante de W. **Thomson** y H. C. **F. Jenkin** en la manufactura y tendido del sistema **Mackay-Bennet** del cable transatlántico, escribe algunos artículos sobre telefonía y telegrafía para la *Enciclopedia Británica*. Prepara las *Tablas Smithonianas*. Es miembro experto del departamento de electricidad del *Century Dictionary* (*/40/*, pp. 694-695).

Joseph-Solange-Henri **Pellat** (1850-1909; Francia) inventa un electrodinamómetro; muestra que la energía de una caloría transformada en corriente eléctrica en una celda podría producir tonos audibles en un teléfono durante miles de años (*/40/*, p. 1325).

James Harris **Rogers** (1850-1929; Estados Unidos) es poseedor de diversas patentes sobre telegrafía multiplex y de impresión rápida, luz eléctrica, telefonía, radiotelegrafía. Descubre el teléfono secreto, la radiocomunicación subterránea y subacuática (permitiendo así al gobierno estadounidense tener comunicación ininterrumpida durante la Primera Guerra Mundial con los gobierno aliados, con los submarinos sumergidos, con barcos y aviones) (*/40/*, p. 1438).

Antoine **Bréguet** (1851-1882; Francia) publica *Telephone à ficelles machine Gramme*. Estudia todas las ramas de la electricidad teórica y aplicada (*/40/*, p. 236).

Adolfo **Bartoli** (1851-1896, Italia) propone la hipótesis **Clausius-Bartoli** de que un electrólito contiene moléculas disociadas, tanto parcial como totalmente (*/40/*, p. 121).

Jules Adrien Marie Louise **Carpentier** (1851-1921; Francia) perfecciona el reloj eléctrico (*/40/*, p. 303).

Carl Ernst Bessel **Hagen** (1851-1923; Alemania) y Heinrich **Rubens** (1865-1922; Alemania) conducen experimentos clásicos para confirmar la teoría óptica de J. C. **Maxwell**, por lo que es posible la determinación de la conductividad eléctrica en los metales mediante mediciones de la radiación (*/40/*, p. 731).

Ernest Howard **Griffiths** (1851-1932; Inglaterra) desarrolla un método eléctrico para determinar el equivalente mecánico del calor. Construye termómetros de resistencia de platino (*/40/*, p. 704).

Arthur **Schuster** (1851-1934; Alemania) explica la interferencia, la absorción y el efecto **Zeeman**, en términos de los electrones (*/40/*, p. 1506).

George James **Burch** (1852-1914; Inglaterra) investiga, entre otras cosas, la electricidad. Inventa métodos perfeccionados para usar el electrómetro capilar

para registrar y medir cambios bruscos de la fuerza electromotriz; fotografía corrientes producidas al hablar en un teléfono (*/40/*, p. 272).

Eilhard Ernst Gustav **Wiedemann** (1852-1928; Alemania), hijo de Gustav Heinrich **Wiedemann**, investiga sobre magnetismo y electricidad (*/40/*, p. 1795).

Wilhelm Eugen **Hartmann** (1853-1915; Alemania) es uno de los fundadores de la Asociación Electrotécnica de Frankfurt/Main (*/40/*, p. 762).

Wilhelm Eugen **Hartmann** (1853-1915; Alemania) y Wunibald **Braun** (Alemania) perfeccionan el voltímetro de P. **Cardew**, de 1883, para crear el ámmetro de alambre caliente (*/23/*, p. 152). Fundan la *Hartmann und Braun* en Frankfurt/Main, Alemania, para fabricar instrumentos de medición eléctricos, galvanómetros de espejo de escala telescópica (*/40/*, p. 762).

Hiram Stevens **Maxim** (1853-1927; Estados Unidos) patenta diversas invenciones eléctricas, tales como lámparas incandescentes y máquinas de corriente autorregulada (*/40/*, p. 1133).

Elihu **Thomson** (1853-1937; Inglaterra-Estados Unidos) inventa un estereoscopio de Röntgen (*/40/*, p. 1669).

Johann Philipp Ludwig Julius **Elster** (1854-1920; Alemania) y F. K. H. **Geitel** (1855-1923; Alemania) demuestran que las sustancias radioactivas en la atmósfera, responsables de la conductividad atmosférica, se descomponen fácilmente en elementos inestables. Construyen el primer fotómetro fotoeléctrico y el primer transformador de Tesla (*/40/*, p. 521).

Sarah Hertha Marks **Ayrton** (1854-1923; Inglaterra) descubre la conexión entre la presión del arco eléctrico y la intensidad de la corriente (*/40/*, p. 80).

Karl **Feussner** (1855-1915; Alemania) y S. **Lindeck** crean nuevas aleaciones de resistencia *manganin* y *konstantan*. Desarrolla el compensador de **Poggendorf** en un instrumento de gran precisión para mediciones de voltaje (*/40/*, p. 561).

Oskar von **Miller** (1855-1934; Alemania) contribuye enormemente al desarrollo de la electrónica (*/6/*, p. 223).

Edwin Herbert **Hall** (1855-1938; Estados Unidos) contribuye a la teoría de la conducción térmica y termoelectrica en los metales y de los efectos termomagnéticos y termoelectricos del hierro dulce (*/40/*, p. 737).

Ernst **Lecher** (1856-1926; Austria) mide diversas constantes dieléctricas; estudia las ondas electromagnéticas en un circuito que contiene un condensador y alambres paralelos dentro de un tubo de vidrio con gas enrarecido; determina las ondas electromagnéticas estacionarias a lo largo de alambres y muestra la posición del máximo cambio cuando se introduce un dieléctrico al sistema (*/40/*, p. 1014).

James Wood (1856-1928; Irlanda) inventa la bobina cerrada, la corriente constante de alta tensión, un dinamo de arco en serie autorregulado, y la dinacorrente de arco en serie autorregulada. Obtiene 240 patentes que cubren dispositivos mecánicos y eléctricos, tales como el dinamo para los proyectores (empleados por primera vez en la Estatua de la Libertad, Nueva York, Estados Unidos) (*J40*, p. 1820).

Louis-Rene Auvert (1857-1911) es asistente en la instalación de la línea de corriente directa entre Fayet y Chamonix, Francia (*J40*, p. 77).

Charles Leonard Armand Maurice Lehtanc (1857-1923; Francia) desarrolla la teoría del motor conmutador. Es el primero en mostrar las corrientes de frecuencia ajustable usando motores acumuladores a partir de motores asíncronos; construye un condensador con bombas para sacar el aire e inyectar agua para los generadores turboeléctricos (*J40*, p. 1013).

Frank Julian Sprague (1857-1934; Estados Unidos) inventa un horno de inducción de corriente alterna para fundición; elevadores eléctricos automáticos para uso doméstico y de alta velocidad. Inventa un sistema de regeneración usado en los trenes eléctrico montañosos y en elevadores de alta velocidad. Es promotor de los sistemas de trenes eléctricos de corriente directa de alta tensión (*J40*, p. 1589).

Johann Friedrich August Max Eschenthagen (1858-1901; Alemania) investiga sobre el magnetismo terrestre, tormentas magnéticas. Construye un nuevo y rápido instrumento para registrar el magnetismo terrestre, algunos de los cuales servirían para demostrar la existencia de las ondas magnéticas elementales (*J40*, p. 530).

Williant Stanley (1858-1916; Estados Unidos) inventa diversos motores bifásicos; generadores; un medidor de wathora de corriente alterna con partes móviles, suspendidas magnéticamente. Experimenta con acumuladores y lámparas incandescentes. Construye sistemas de transmisión de potencia eléctrica a largas distancias (*J40*, p. 1595).

William Joseph Hammer (1858-1934; Estados Unidos) inventa las preparaciones luminosas de radio usadas en los instrumentos de los relojes, aeroplanos y automóviles. Es el primero en sugerir el uso del radio en el tratamiento del cáncer y de los tumores. Inventa las señales eléctricas intermitentes operadas por un motor (*motor-driven flashing electric sign*) (*J40*, p. 745).

George John Murdock (1858-1942; Estados Unidos) recibe diversas patentes que en el área electromagnética incluyen una válvula de superficie eléctrica, un soporte de taladro magnético (*magnetic drill holder*) y un indicador de señales para trenes eléctricos (*J40*, p. 1228).

Ernst Carl Adolf Gumlich (1859-1930; Alemania) investiga y publica sobre los materiales magnéticos bajo magnetización alternante; aleaciones de hierro-silicón; propiedades magnéticas y eléctricas del hierro puro, aceros de carbón (*coal steels*) y ferroaleaciones de silicón, aluminio y manganeso, métodos de medición para determinar las propiedades magnéticas; perfecciona el *proceso*

Epstein y el método *Joch-Isthmus*; estudia la localización y los cambios en el tiempo de las propiedades ferromagnéticas y muestra el paralelismo con la capacidad de conducción eléctrica (*f40*, p. 720).

Gottlieb Adler (1860-1893; Bohemia) realiza investigaciones sobre las interpretaciones mecánicas de la electricidad (*f40*, p. 15).

Elihu Ambrose Sperry (1860-1930; Estados Unidos) inventa una maquinaria para fabricar alambres de fusibles. Diseña un automóvil eléctrico. Funda la *Sperry Railroad Company*, en Cleveland, Ohio, para manufacturar vagones de trenes (*f40*, pp. 1585-86).

Angus Smith Hibbard (1860-1945; Estados Unidos) inventa y patenta diversos dispositivos perfeccionados para usarse con los teléfonos. Diseña el signo *Blue Bell* de la *American Telephone and Telegraph Company* (*f40*, p. 797).

Hermann Ebert (1861-1913; Alemania) investiga y desarrolla la física atómica y electrónica; la espectroscopía y las descargas eléctricas en gases. Es uno de los pioneros en el estudio de los fenómenos atmosféricos eléctricos, especialmente sobre el contenido iónico. Investiga el campo eléctrico terrestre y las emanaciones radioactivas de la Tierra (*f40*, p. 504).

Edward Bennett Rosa (1861-1921; Estados Unidos) inventa el curvígrafo (trazador de curvas) para usarse en corrientes alternas (dispositivo que lleva su nombre). Es uno de los pioneros en la determinación del valor absoluto del amperio. Establece las leyes de corrosión electrolítica. Desarrolla diversos instrumentos, tales como detectores de naves espaciales por radiofrecuencia (*f40*, p. 1442).

Robert August Bosch (1861-1942), en Alemania, inventa diversos electroimanes, bujías, lámparas, hornos (*f40*, p. 214).

Louis Duncan (1862-1916; Estados Unidos) investiga la tracción eléctrica. Supervisa la electrificación de sistemas de transporte terrestre y subterráneo en las ciudades de Nueva York y Washington, Estados Unidos (*f40*, p. 492).

Theodor Des Coudres (1862-1926; Alemania) mide la velocidad y la carga específica de los rayos alfa (*f40*, p. 449).

John Daniel (1862-1950; Estados Unidos) diseña e instala en la Universidad de Vanderbilt, Nashville, Estados Unidos, el primer dinamo eléctrico (antes del advenimiento de la iluminación comercial) (*f40*, p. 406).

Paul Louis Toussaint Héroult (1863-1914; Francia) inventa un horno eléctrico (llamado de Héroult) para la producción de acero eléctrico (*f40*, p. 789).

Henri Du Bois (1863-1918; Bélgica) investiga sobre la óptica; la balanza magnética; el electroimán de medio anillo y sobre el galvanómetro acorazado (*J40*, p. 485).

William Suddards Franklin (1863-1930; Estados Unidos) es coautor de *Elements of Alternating Currents*; *Dynamo Laboratory Manual*; *Elements of Electricity and Magnetism* y *Electric Waves* (*J40*, p. 600).

Aimé-Charles-Louis Houllevigue (1863-1944; Francia) investiga las influencias nerviosas y las emanaciones catódicas, la electricidad industrial y los fenómenos magnéticos (*J40*, p. 832).

Louis Bell (1864-1923; Estados Unidos) diseña e instala las primeras plantas polifásicas en Estados Unidos (*J40*, p. 147).

Sebastian Ziani De Ferranti (1864-1930; Inglaterra) perfecciona el cable para corriente alterna de alta frecuencia. Desarrolla un método de protección diferencial contra errores en el aislamiento. Realiza transmisiones de larga distancia de corriente eléctrica de alta potencia (*J40*, pp. 430-431).

Hermann Walther Nernst (1864-1941; Prusia) inventa un piano eléctrico (*J40*, p. 1246).

Heinrich Rubens (1865-1922; Alemania) construye un galvanómetro y un dinamo bolométrico. Estudia las ondas estacionarias en los conductores (*J40*, p. 1454).

Charles Fery (1865-1935; Francia) desarrolla la teoría de la acumulación de plomo. Inventa una pila eléctrica de cloruro de amonio, con electrodos de cinc y carbón y en la cual el aire juega un papel polarizado (*J40*, p. 560).

Dugald Caleb Jackson (1865-1951; Estados Unidos) obtiene diversas patentes en las áreas de maquinaria y transformadores eléctricos rotatorios, motores eléctricos, equipo telefónico, iluminación de trenes y dispositivos para el encendido de motores eléctricos (*J40*, p. 865).

Dragonir Hurmuzescu (1865-1954; Rumania) construye un electroscopio, que lleva su nombre, con dielectrina como aislante (*J40*, p. 847).

Olaf Kristian Birkeland (1867-1917; Noruega) y Samuel Eyde (1866-1940; Noruega) inventan un horno (que lleva el nombre de los dos) para la fijación del nitrógeno atmosférico: unos electroimanes hacen que el arco que salta entre los electrodos refrigerados por agua adquiera forma circular (*J35*, vol. 2, p. 359). Usado en la fabricación de fertilizantes (*J40*, p. 539).

Thaddeus Cahill (1867-1934; Estados Unidos) inventa una máquina de escribir eléctrica; un proceso eléctrico de producción de música, conocido como telarmonía. Es uno de los pioneros en Estados Unidos en distribuir música eléctricamente desde una estación central a los teléfonos receptores de los

suscriptores. Desarrolla dispositivos de telefonía y telegrafía inalámbrica (*[40]*, p. 288).

Thomas Mather (?-1937; Reino Unido) investiga sobre la construcción de instrumentos eléctricos, particularmente galvanómetros. Determina las unidades eléctricas fundamentales. Perfecciona diversos instrumentos industriales de medición eléctrica (*[40]*, p. 1126).

André Blondel (1868-1938; Francia) inventa un oscilógrafo electromagnético; desarrolla la teoría de acoplamiento de los generadores de corriente alterna, la teoría de los motores de inducción. Investiga sobre la telegrafía inalámbrica. Es uno de los primeros en construir máquinas eléctricas (*[40]*, p. 193).

Georg Bredig (1868-1944; Polonia) desarrolla un método para la preparación de coloides mediante la desintegración eléctrica (*método de Bredig*) (*[40]*, p. 235).

Hiram Percy Maxim (1869-1936; Estados Unidos) es presidente de la *American Radio Relay League* y de la *International Amateur Radio Union* (*[40]*, p. 1133).

Georg Wilhelm Alexander Hans Von Arco (1869-1940; Alemania) investiga los radiotransmisores de alta frecuencia así como el papel de la ionósfera en las radiocomunicaciones. Inicia las radiotransmisiones en Alemania al alcance de todos. Contribuye al establecimiento de las comunicaciones telefónicas inalámbricas y de los servicios telefotográficos transoceánicos (*[40]*, p. 1728).

Paul Boucherot (1869-1943; Francia) investiga y publica sobre las vibraciones de los motores de corriente alterna; la influencia de la resistencia de inducción sobre su atenuación; sobre descargas del retraso en la fase e concibe la idea de la potencia sin watts (*wattless*) (*[40]*, p. 217).

Georges Claude (1870-1960; Francia) inventa la medida de onda electromagnética (*electromagnetic wave measurement*) (*[40]*, p. 342).

Ernst Julius Berg (1871-1941; Suecia) investiga sobre los convertidores giratorios (para transformar corriente alterna en directa); sobre las perturbaciones de línea de transformación de potencia; y sobre la radiación electromagnética (*[40]*, p. 157).

Gustaf Waldemar Elmen (1876-1957; Suecia) investiga y publica sobre las propiedades magnéticas de algunas aleaciones. Inventa algunos materiales magnéticos utilizados en las comunicaciones eléctricas (*[40]*, p. 521).

CONCLUSIONES

Varios investigadores¹⁾ han analizado la evolución económica de la humanidad y han señalado la existencia de ciclos económicos de larga duración (de alrededor de 45-55 años), cada uno constituido por cuatro etapas: reactivación o recuperación, prosperidad, recesión y depresión. Por el momento, el primer ciclo que se ha propuesto se inicia alrededor del año 1460; actualmente estamos viviendo la última etapa del 11º ciclo o la primera parte del 12º. Algunos de estos autores, además, han propuesto que el desarrollo económico futuro también podría comportarse de acuerdo con dichos ciclos. En la TABLA I se presenta una síntesis de los ciclos que se han propuesto

CICLOS ECONÓMICOS LARGOS				
	Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1º ciclo	1459 - 1470	1471 - 1482	1483 - 1494	1495 - 1508
2º ciclo	1509 - 1518	1519 - 1528	1529 - 1533	1534 - 1539
3º ciclo	1540 - 1548	1549 - 1559	1560 - 1568	1569 - 1574
4º ciclo	1575 - 1582	1583 - 1594	1595 - 1608	1609 - 1620
5º ciclo	1621 - 1636	1637 - 1649	1650 - 1670	1671 - 1685
6º ciclo	1686 - 1694	1695 - 1719	1720 - 1727	1728 - 1735
7º ciclo	1736 - 1745	1746 - 1758	1759 - 1771	1772 - 1786
Ciclos de Kondratiev	8º ciclo	1787 - 1800	1801 - 1813	1814 - 1827
	9º ciclo	1843 - 1857	1858 - 1869	1870 - 1885
	10º ciclo	1898 - 1911	1912 - 1924	1925 - 1933
	11º ciclo	1940 - 1951	1952 - 1972	1973 - 1983
	12º ciclo	1994 - 2004	2005 - 2019	2020 - 2033

TABLA I

Los años señalados no representan necesariamente los puntos de quiebre con exactitud, ya que algunos de los autores han tomado en cuenta el Producto Interno Bruto, otros lo han hecho con base en los índices de precios de diversos productos básicos, otros más se han basado sólo en la economía de alguno de los países más industrializados, etc. Por ejemplo, Mensch aclara que «las fechas para el primero y segundo ciclos de Kondratiev se establecen a partir de una discusión para Gran Bretaña; las del tercer ciclo de una discusión para Estados Unidos. La fechas específicas para los tres países [Reino Unido, Estados Unidos y Alemania] son presumiblemente algo diferentes, pero las diferencias son seguramente menores. También debe notarse que el Profesor Schumpeter considera que el primer ciclo de Kondratiev no se muestra claramente en Alemania...» ([68], p. 39).

Varios autores han propuesto diversas teorías económicas basadas en la existencia de ciclos de larga duración. Por ejemplo, N. K. Kondratiev -el pionero más conocido en el estudio de los ciclos económicos largos- enfatiza la

¹⁾ Véanse, por ejemplo: *Bolshe Tsikly Konunktury (Grandes Ciclos Económicos)* de Nikolai Dmitrievich Kondratiev (1892-?, Rusia) escrito en 1928; *Business Cycles (Ciclos en los Negocios)*, escrito por Joseph Alois Schumpeter (1883-1950; Austria-Hungría) en 1939; *Essai d'une théorie des crises générales et périodiques (Ensayo de una teoría de las crisis generales y periódicas)*, escrito por Albert Aftalion (1874-1956; Bulgaria) en 1909. Véanse también las referencias citadas en la bibliografía.

discontinuidad en la producción y duración del capital fijo a largo plazo como la más poderosa fuerza detrás del ciclo largo.

La teoría de J. A. Schumpeter, por otro lado, podría resumirse como sigue: el desarrollo económico se da en forma de innovaciones; éstas ocurren en ciclos; el empresario es un innovador mientras que el administrador no lo es; el punto de quiebre superior de un ciclo es causado por la desaparición de las ganancias (el corrimiento del monopolio hacia la competencia pura); el punto inferior se da después de una destrucción creativa de una depresión. La solución fundamental surge cuando aparecen nuevos productos para los consumidores y nuevos métodos de producción y transporte, cuando se crean nuevos mercados y cuando ocurren rupturas en las formas de organización industrial.

G. Mensch actualiza la teoría de Schumpeter y le da un fundamento empírico. Mensch establece que a lo largo de la historia han existido fechas de acumulación de innovaciones básicas, las cuales han generado la aparición de sectores de actividad totalmente nuevos. Nuevos mercados masivos permiten a estos sectores crecer rápidamente y mejorar los productos y los procesos de producción. En determinado momento, la capacidad de crecimiento llega a ser demasiado para el mercado doméstico y, así, los mercados de exportación se vuelven vitales. Dado que los demás países industrializados han pasado por el mismo proceso, la competencia crece entre un número menor de grandes empresas del mercado mundial. Conscientes de la creciente saturación, estas empresas invierten menos dinero en los sectores industriales y más en los mercados internacionales financieros y de capital. Durante la siguiente etapa, los monopolios tratan de vender sus excedentes a los países menos industrializados con la ayuda de créditos masivos. Finalmente, dichos países alcanzan sus límites de crédito y se completa la saturación de la demanda. A lo largo de este período, que se inicia con la recesión y dura hasta el final de la depresión, la economía no cuenta con soluciones fundamentales excepto la creación de innovaciones básicas y nuevos sectores. Este período, en el que la sociedad se ve forzada a innovar, es llamado por Mensch como *el estancamiento tecnológico*. Mensch hace una distinción entre varios tipos de innovaciones. Las *innovaciones básicas* cambian la dirección del desarrollo económico y crean nuevos sectores líderes, los cuales formarán la base de la etapa de prosperidad del siguiente ciclo. Ocurren sólo bajo la presión de la saturación de la demanda de los sectores líderes existentes cuando los empresarios están buscando nuevas oportunidades de inversión rentable. Una vez que los empresarios han invertido en los nuevos sectores (de alto riesgo), se inicia un desarrollo tecnológico acelerado y turbulento en la misma dirección: estas son las *innovaciones de perfeccionamiento* de los productos y procesos de producción. Cuando ocurre la etapa de madurez de la nueva industria y de la creciente saturación de la demanda, los monopolios tratan de proteger sus ganancias mediante *pseudo-innovaciones*, que provocan un alza en los precios. Una característica importante del estancamiento tecnológico, es que las pseudo-innovaciones llegan a ser más importantes que las innovaciones de perfeccionamiento.

J. W. Forrester desarrolla un método completamente nuevo para analizar la dinámica del crecimiento económico en el que el sector de bienes de capital juega un papel crucial. Su teoría se basa en dos pilares importantes que crean las fluctuaciones endógenas. El primero es un mecanismo acelerador multiplicador que transmite las fluctuaciones en las inversiones al resto de la economía y trabaja a largo plazo, el segundo es un comportamiento racional de ajuste del capital social, lo que provoca fases alternantes de «hambre de capital» y «saturación de capital». C. Freeman, entre otros, toma en cuenta la carencia o

abundancia de la mano de obra. J. J. Van Duijn construye una síntesis al combinar la teoría de la innovación de Schumpeter y Mensch, la hipótesis sobre la vida de los ciclos en la industria (que se da a lo largo de una curva logística o curva S) y el mecanismo acelerador multiplicador de inversión de Forrester, que intensifica el crecimiento y la saturación de las innovaciones básicas. Freeman y Duijn distinguen entre innovaciones en los procesos e innovaciones en los productos.

R. U. Ayres propone (/62/), por otro parte, una nueva perspectiva para estudiar los mecanismos responsables de las innovaciones tecnológicas bajo el punto de vista de la teoría económica. Ayres conjunta el modelo económico de Schumpeter con el papel que juegan las barreras tecnológicas percibidas y las oportunidades creadas por una ruptura cuando alguno de estos obstáculos es superado. Las grandes invenciones no ocurren al azar; así como el progreso acelerado en campos particulares en momentos particulares tampoco es accidental. Ayres argumenta que «El modelo predice una acumulación de innovaciones como consecuencia y relacionadas a cualquier ruptura tecnológica importante.» Por otro lado, los problemas a resolver son entendidos en teoría mucho antes de poder solucionarlos.

La información histórica presentada en los capítulos anteriores puede analizarse desde el punto de vista de los ciclos económicos largos y de la identificación de las barreras que se han tenido que vencer, no sólo tecnológicas, sino también científicas. En la TABLA 2 se muestran los acontecimientos más relevantes en el área de la electricidad y el magnetismo clasificados según su período de ocurrencia. El texto sombreado se refiere precisamente a las rupturas científicas y tecnológicas.

El primer acontecimiento de trascendencia para la evolución del electromagnetismo es la investigación magnética de P. Peregrinus en 1269, cuyos resultados los describe en su *Epístola de Magnete*. Peregrinus escribe su obra 200 años antes del inicio del primer ciclo económico de larga duración, ocurrido cerca de 1460. Sancto Amando y Santo Tomás Aquino son contemporáneos de Peregrinus; ambos estudian el magnetismo. En 1450, Cusa sugiere la ley del inverso de los cuadrados para la atracción entre los dos polos magnéticos. Durante los siguientes 70 años no hay aportaciones importantes registradas, salvo en el caso de algunos observadores que mencionan los fenómenos de la declinación magnética.

Durante el primer ciclo económico de larga duración (1459 a 1508) no existe ningún acontecimiento de relevancia fundamental para el desarrollo del electromagnetismo.

Durante el segundo ciclo económico (1509 a 1539) las únicas investigaciones importantes son las que realiza Cardano en el período de RECEPCIÓN (1529-1533), sobre el magnetismo terrestre y señala la diferencia entre los dos tipos de atracciones: magnética y eléctrica.

Durante los siguientes 20 años no hay acontecimientos registrados. En el período de PROSPERIDAD (1549 a 1559) del tercer ciclo (1540 a 1574), Cardano y della Porta señalan experimentalmente las diferencias entre la atracción

eléctrica y la magnética: por su parte della Porta sugiere, por primera vez, un telégrafo

Vuelve a pasar un lapso de 25 años, hasta que Norman, durante el período de REACTIVACIÓN (1575 a 1582) del cuarto ciclo (1575 a 1620), presenta algunos resultados experimentales sobre el magnetismo terrestre, en particular, sobre la declinación magnética. En 1600, durante el período de RECESIÓN (1595 a 1608) de dicho ciclo, Gilbert publica su libro *De Magnete*, siguiente parteaguas en la evolución electromagnética. Durante los siguientes 50 años, algunos investigadores y filósofos discuten las teorías magnéticas propuestas por Gilbert. Algunos de ellos, incluso, proponen sus propias teorías eléctricas y magnéticas, basadas en *effluvios* materiales.

Por ejemplo, Descartes postula su teoría de los vórtices, durante el período de PROSPERIDAD (1637 a 1649) del quinto ciclo (1621 a 1685). En 1663, a la mitad de la etapa de RECESIÓN (1650 a 1670), Guericke inventa el primer generador electrostático, con lo que abre una nueva era para la investigación eléctrica. Asimismo, durante este período se fundan varias academias científicas y filosóficas, algunas de las cuales han perdurado hasta la actualidad. Al cuarto ciclo económico se le podría denominar el *CICLO DEL MAGNETISMO*, mientras que al quinto ciclo se le denominaría el *CICLO DEL GENERADOR ELECTROSTÁTICO*.

Transcurren unos 45 años sin que haya aportaciones importantes dentro del área del electromagnetismo. A principios del siglo 18, entre 1703 y 1712 -durante el período de PROSPERIDAD (1695 a 1719) del sexto ciclo (1686 a 1735)-, Hauksbee realiza sus estudios sobre electricidad friccional e intenta describir la ley que gobierna la atracción magnética. Casi 20 años después, durante el período de DEPRESIÓN (1728 a 1735), S. Gray, descubre la forma de conducir la electricidad a través de ciertos materiales y llega a la distinción cualitativa fundamental entre conductores y aislantes. Du Fay, entre 1730 y 1734, identifica dos tipos de electricidad (*vítrea* y *resinosa*) y desarrolla su teoría de dos fluidos eléctricos. Canton desarrolla uno de los primeros instrumentos de medición de la electricidad. A este ciclo se le podría clasificar como el *CICLO DE LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA*.

Las investigaciones electromagnéticas del séptimo ciclo (1736 a 1786) están basadas en el estudio de la conducción de la corriente eléctrica, por lo que a éste se le podría denominar el *CICLO DE LA ELECTRICIDAD DINÁMICA*. Durante el período de REACTIVACIÓN (1736 a 1745) de dicho ciclo se perfecciona la máquina eléctrica de Guericke; Nollet propone su teoría de materia *emanante* y *afuyente* de los cuerpos electrificados; y Knight inventa los imanes artificiales. En el siguiente lapso, PROSPERIDAD (1746 a 1758), se desarrolla el siguiente hito en la evolución electromagnética: se inventa el primer condensador eléctrico, al cual se le nombra *botella de Leyden*. Con este dispositivo, los investigadores cuentan ya con una herramienta que les permite estudiar la electricidad con un mayor control. Así, Watson inventa el circuito eléctrico y se propone por primera vez un telégrafo eléctrico. Franklin realiza sus famosos experimentos con papalotes para comprobar la naturaleza eléctrica de los rayos. Franklin desarrolla además su teoría de un único fluido eléctrico, basada en el exceso o deficiencia de la materia eléctrica y propone el concepto de *atmósferas eléctricas*.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

Tabla 2.

PRIMER CICLO ECONÓMICO LARGO			
Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1459 - 1470	1471 - 1482	1483 - 1494	1495 - 1504
SEGUNDO CICLO ECONÓMICO LARGO			
Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1509 - 1518	1519 - 1528	1529 - 1533	1534 - 1539
		* Cardano estudia el magnetismo terrestre. * Cardano señala la diferencia entre atracción eléctrica y magnética.	
TERCER CICLO ECONÓMICO LARGO			
Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1540 - 1548	1549 - 1559	1560 - 1568	1569 - 1574
	* Cardano y Della Porta realizan sus investigaciones eléctricas y magnéticas. * Se reimprime de la <i>Epistola de Magnete</i> escrita por Peregrinus en 1269. * Della Porta propone telegrafo magnético <i>afin</i>.		
CUARTO CICLO ECONÓMICO LARGO			
Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1575 - 1582	1583 - 1594	1595 - 1608	1609 - 1620
* Norman realiza investigaciones sobre la declinación magnética.	* Della Porta y de Sarpi proponen sus teorías sobre el magnetismo. * Della Porta vuelve a proponer telegrafo magnético <i>afin</i> (véase Prosperidad, 3er ciclo).	* W. Gilbert publica su libro <i>De Magnete</i> .	MAGNETISMO * Kepler y F. Bacon discuten las teorías magnéticas de Gilbert. * Simula propone un telegrafo magnético <i>afin</i>.
QUINTO CICLO ECONÓMICO LARGO			
Reactivación	Prosperidad	Recesión	Depresión
1621 - 1636	1637 - 1649	1650 - 1670	1671 - 1685
* Beekmann y Kircher realizan sus investigaciones sobre el magnetismo. * Cabeu realiza sus investigaciones sobre electricidad y magnetismo.	* Descartes publica su obra <i>Principia Philosophia</i>. * Kircher continúa sus investigaciones magnéticas.	* Guericke construye el primer generador de electricidad artificial. * Se fundan la <i>Accademia Fiorentina de Experimentis</i>, la <i>Académie française des sciences</i>; el <i>Philosophical College</i> pasa a ser la <i>Royal Society of London</i>.	GENERADOR ELECTROSTÁTICO

EVOLUCION CRONOLOGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

SEXTO CICLO ECONOMICO LARGO			ELECTRICIDAD ESTÁTICA
Reactivación 1686 - 1694	Prosperidad 1695 - 1719	Recesión 1720 - 1727	Depresión 1728 - 1735
	* Hauksbee realiza sus investigaciones sobre electroluminiscencia. * Hauksbee inventa un electroscoop rudimentario		* S. Gray describe la conducción de la electricidad * Du Fay establece importantes conclusiones sobre la electricidad. * Du Fay propone su teoría de los dos fluidos eléctricos * Canton inventa el electrificado de pelotas de madera.

SÉPTIMO CICLO ECONÓMICO LARGO			ELECTRICIDAD DINÁMICA
Reactivación 1736 - 1745	Prosperidad 1746 - 1758	Recesión 1759 - 1771	Depresión 1772 - 1786
* Beese introduce el estudio de la electricidad a Alemania * Nollet propone su teoría eléctrica sobre emanaciones y influencias de materia. * Se funda la <i>American Philosophical Society</i> * Se realizan diversas innovaciones a la máquina eléctrica de <i>Cavendish</i>. * Knight inventa los imanes artificiales. * Se comienza a usar la electricidad con fines terapéuticos.	* Se invierte la <i>botella de Leyden</i>, primer condensador eléctrico. * Watson inventa el circuito eléctrico. * Franklin propone su teoría de un único fluido eléctrico. * Franklin realiza sus famosos experimentos con papalotes y con élite, demostrando contundentemente la naturaleza eléctrica de los rayos. * Se propone por primera vez la construcción de un telégrafo eléctrico * Se inventa el condensador de placas paralelas	* Aepinus propone sus teorías instrumentalistas de la electricidad y del magnetismo. * Symmer propone su teoría dualista de la electricidad * Becqueria propone su teoría de las electricidades reivindicadas * Volta sugiere un estado de saturación en las atracciones entre las partículas del fluido eléctrico * Varios autores sugieren que el magnetismo y la electricidad se rigen por la ley del inverso de los cuadrados * Se inician los estudios sistemáticos sobre la piroelectricidad * Comienza a surgir el concepto de corriente eléctrica * Biotot obtiene la primera patente concedida en el campo de la electricidad y el magnetismo (por su sistema de brújulas). * Se construyen diversos modelos perfeccionados de las máquinas eléctricas. * Se perfeccionan los circuitos eléctricos * Se instalan pararrayos en la Catedral de San Pablo, Londres, Inglaterra	* Se sospecha ya que la electricidad y el magnetismo están relacionados. * Cavendish realiza sus investigaciones eléctricas * Volta presenta su teoría eléctrica basada en el concepto de <i>pila eléctrica</i> * Brugnot (o Brugnot) descubre el diamagnetismo. * Levege realiza el primer sistema serio para construir un telégrafo eléctrico * Cavallo construye el primer electroscopio realmente práctico y útil * Volta inventa el <i>elemento</i> * Galvani realiza los experimentos sobre las contracciones eléctricas de las áreas de las larvas

OCTAVO CICLO ECONÓMICO LARGO		ELECTRICIDAD VOLTAICA	
Reactivación 1787 - 1800	Prosperidad 1801 - 1813	Recesión 1814 - 1827	Depresión 1828 - 1842
* Comenius establece la ley de la fuerza eléctrica y la ley de la fuerza magnética. * Comenius postula sus teorías eléctricas y magnéticas. * Se suscita la controversia entre Galvani y Alvani por un lado y Volta por el otro, sobre la electricidad animal y la electricidad por contacto. * Savà y Comptón construye un telégrafo electrostático que funciona entre dos ciudades que distan unos 40 km. * Volta construye la primera batería eléctrica. * Nicholson y Carlisle demuestran la electrólisis del agua. * Ritter descubre la radiación ultravioleta.	* Grothius presenta su teoría electrolítica. * Davy propone sus concepciones sobre la electroquímica. * Biot y Poisson llevan la teoría electrostática a un estado de madurez matemática. * Varios científicos afirman la existencia de la relación entre la electricidad y el magnetismo. * Davy, Berzelius, Pepys, Avogadro y otros realizan investigaciones electroquímicas. * Pepys, Deluc, Wollaston y Zamboni, entre otros perfeccionan la pila voltaica. * Ritter inventa el acumulador eléctrico. * Se descubre la generación de luz por arco eléctrico entre dos barras de carbono. * Se descubre el proceso de la galvanoplastia. * Se perfecciona el electroscoipo. * Schilling y Schilling construyen el primer sistema telegráfico de corriente eléctrica.	* Berzelius presenta su teoría dualista electroquímica. * Oersted descubre la relación entre electricidad y el magnetismo. * Ampere desarrolla la electrodinámica. * Biot y Savart deducen la ley de Biot-Savart. * Ohm propone la ley general que relaciona la corriente en un conductor y el voltaje aplicado. * Seebeck descubre la termoelectricidad. * Varios científicos descubren que la rotación de una placa metálica produce efectos magnéticos (<i>rotación de Arago</i>). * Faraday y Barlow inventan, de forma independiente, el motor eléctrico. * Sturgeon inventa el electromán. * Schilling inventa el telégrafo electromagnético. * Se inventa el galvanómetro.	* G. Green aplica el análisis matemático a las teorías de la electricidad y el magnetismo. * Nobili sugiere la existencia de una fuerza eléctrica en las pilas voltaicas. * Faraday desarrolla su teoría eléctrica basada en el concepto de un estado de tensión (o <i>electrotensión</i>) entre las partículas de los conductores; demuestra además contundentemente la identidad de las diferentes manifestaciones de la electricidad: la común, la galvánica y la de algunos animales y postula las leyes de la electrolisis. * Faraday postula las leyes de la electrolisis. * <i>Las ne Lenz</i>. * A.-E. Becquerel descubre el efecto fotoeléctrico. * <i>Ejército Petter</i>. * Henry y Faraday descubren, independientemente, el principio de la inducción electromagnética. * Dal Negro inventa el motor eléctrico. * Faraday inventa el transformador. * Hamel, Grove, Smeat, Buntzen y otros perfeccionan la batería voltaica. * Pisa, Jacobi, Davenport, Davidson y otros perfeccionan los motores eléctricos. * Se realizan los primeros estudios sobre la iluminación incandescente eléctrica.

EVOLUCION CRONOLOGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

NOVENO CICLO ECONÓMICO LARGO			ELECTROMAGNETISMO
Reactivación 1843 - 1857	Prosperidad 1858 - 1869	Recesión 1870 - 1885	Depresión 1886 - 1897
* Joule establece el equivalente mecánico del calor. * Faraday establece su teoría basada en el concepto de campo electromagnético y líneas de fuerza. * F. E. Neumann propone su teoría matemática sobre las corrientes eléctricas inducidas. * Weber postula la ley de la fuerza eléctrica basada en la idea de una sola corriente formada por dos flujos de partículas (positivas y negativas) sujetas a una fuerza cuya dirección es a lo largo de la línea que las une y cuya magnitud depende de su velocidad y aceleración relativas. * Lord Kelvin desarrolla su teoría matemática del magnetismo. * Kirchhoff formula las leyes que gobiernan la distribución de tensión e intensidad de corriente en las redes de conductores lineales. * Hittorf estudia la migración de los iones durante la electrólisis. * Faraday descubre la rotación del plano de polarización de la luz debida a un campo magnético. * Faraday descubre el diamagnetismo. * Varios investigadores inician el estudio de las descargas eléctricas en gases enrarecidos. * Röntgen inventa una botina de inducción de alta tensión. * El recién inventado proceso de electroplatación crea una importante demanda para fuentes de corriente directa de voltajes más altos que lo que las baterías químicas pueden proveer. La aplicación potencial de la electricidad que parece más prometedora para la evolución de los generadores de electricidad es la iluminación. F. Nollet inicia la construcción de los grandes dinamos. * Cooke y Wheatstone, Morse y otros desarrollan la telegrafía electromagnética a la etapa comercial. * Se realizan las primeras investigaciones sobre la telegrafía subacuática. * Bain inventa el faxsimil.	* Kirchhoff propone su teoría sobre el movimiento de la electricidad en los conductores. * Maxwell postula su teoría electromagnética de la luz. * Holmes construye potentes generadores para producir luz por arco eléctrico. * Pacinotti, Wilde, W. Siemens, S. A. Varley. Farmer y otros descubren el principio de la autoexcitación de los dinamos. * Leclanché perfecciona la pila voltaica. * Se crean diversas compañías telegráficas. * Se instalan sistemas telegráficos en diferentes partes del mundo. * Se instala el primer sistema telegráfico transatlántico. * Se sugiere el establecimiento de unidades eléctricas estándares.	* Maxwell publica su <i>Treatise</i> en donde, entre otros asuntos, produce la existencia de las ondas electromagnéticas. * Los hermanos Curie descubren y estudian el efecto piezoeléctrico. * Ewing y Warburg, independientemente, descubren el fenómeno de la histeresis. * Edison descubre la variación en la resistencia y conductividad eléctrica del carbon de acuerdo con la presión ejercida sobre éste. * W. Smith descubre la fotoconductividad del selenio. * Efectos Kerr y Hall. * Gramme descubre que un dinamo puede actuar como motor eléctrico, con ello, se abre una nueva era en la ingeniería eléctrica al lograr que la corriente eléctrica rebalse el estado experimental y esté disponible a escala práctica y comercial. * J. L. Clark perfecciona la pila voltaica. * Crookes inventa el tubo de rayos catódicos. * A. G. Bell y E. Gray inventan, de manera independiente, el teléfono. * La iluminación eléctrica pasa al estado comercial. * Se fundan las primeras compañías relacionadas con los sistemas de iluminación eléctrica. * Se inicia la generación hidroeléctrica de potencia eléctrica. * Se inician los servicios de distribución de potencia eléctrica. * Se inicia la aplicación de la potencia eléctrica a la tracción de vehículos (trenes, tranvías, automóviles, submarinos). * Se realizan las primeras investigaciones sobre la telegrafía inalámbrica. * Se inician las investigaciones sobre la televisión. * Se inician cursos de Ingeniería Eléctrica a nivel universitario. * Se adoptan oficialmente los estándares para las unidades electromagnéticas básicas.	* Hertz demuestra experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas. * Arrhenius postula su teoría de la disociación electrolítica. * Röntgen descubre los rayos X. * A. H. Becquerel descubre la radiactividad. * J. J. Thomson descubre el electrón. * Michelson y Morley demuestran la independencia de la velocidad de la luz respecto al éter. * Se descubre el efecto fotoeléctrico. * Efecto Hallbach. * Efecto Zeeman. * Formula de Rydberg. * Tesla inventa el motor eléctrico de corriente alterna. * La tracción eléctrica pasa ya en su estado comercial. * Se inician las investigaciones experimentales sobre la grabación magnética. * En Estados Unidos se realizan diversas transmisiones y fusiones entre compañías eléctricas. Como resultado, quedan solo dos grandes empresas. * Se adapta el sistema de corriente alterna para los generadores hidroeléctricos. * La radiotelegrafía llega a la etapa práctica.

CONCLUSIONES

DÉCIMO CICLO ECONÓMICO LARGO			MECÁNICA CUÁNTICA
Reactivación 1898 - 1911	Prosperidad 1912 - 1925	Recesión 1926 - 1933	Depresión 1934 - 1939
• Los esposos Curie realizan sus investigaciones sobre la radiactividad. • Se comprueba definitivamente la existencia del electrón.			

Sin embargo, ninguna teoría propuesta puede explicar satisfactoriamente el fenómeno de la repulsión eléctrica. Se inventa además el condensador de placas paralelas. La siguiente etapa del ciclo económico, la de RECEPCIÓN (1759 a 1771), está dominada por un auge en el desarrollo de teorías eléctricas y magnéticas. **Aepinus** propone una teoría instrumentalista en la que postula tres tipos de interacción entre partículas eléctricas y partículas de materia común: repulsión entre partículas del mismo tipo y atracción entre partículas de diferente naturaleza. Su teoría incluye por primera vez símbolos matemáticos para indicar deficiencia o exceso del fluido eléctrico. Por el contrario, **Symmer** propone la existencia de dos tipos de materia eléctrica de naturaleza contraria; en su teoría dualista, **Symmer** sugiere que el estado positivo de los cuerpos electrificados es el exceso de uno de los dos tipos de materia eléctrica, mientras que el estado negativo es resultado del exceso del otro tipo de materia. **Volta**, por su parte, piensa en un estado de saturación para cada cuerpo, en el cual las atracciones integradas de sus partículas para el fluido eléctrico, están precisamente satisfechas, aun cuando se da cuenta de que una sola fuerza atractiva no es suficiente para explicar determinados fenómenos simples. Varios autores proponen que las atracciones y repulsiones magnéticas y eléctricas se rigen por la ley del inverso de los cuadrados. **Cavendish**, por ejemplo, deduce, mas no publica, la ley exacta de la atracción y repulsión entre partículas eléctricas. A partir del hecho de que algunos conductores llegan a fundirse por el paso de la electricidad, comienza a surgir el concepto de *corriente eléctrica*. A nivel tecnológico, **Knight** recibe la primera patente en el área del magnetismo, por un sistema de brújulas independiente del movimiento de los barcos. Se perfecciona el electrómetro. Se construyen diversos modelos mejorados de las máquinas eléctricas. Se instalan, por primera vez, pararrayos para proteger un edificio de la acción de los rayos. Durante el último período del séptimo ciclo económico, el de DEPRESIÓN (1772 a 1786), se observan pocos desarrollos teóricos, sobresaliendo las conceptualizaciones de **Cavendish**, **Volta** y **Swinden**. Sin embargo, en el área experimental se dan importantes progresos. El propio **Cavendish** realiza diversos experimentos principalmente con conductores. Se demuestra la naturaleza eléctrica de los efectos de algunos animales, por ejemplo, el pez torpedo y la anguila eléctrica. Diversos fisiólogos estudian los efectos de la electricidad en nervios y músculos, investigaciones que culminan con el famoso experimento de **Galvani** sobre la contracción de las ancas de rana, realizado en 1786. Comienzan a estudiarse las descargas eléctricas en los gases. **Coulomb** y **Swinden**, utilizando la torsión de hilos de seda, estudian la forma de medir fuerzas extremadamente pequeñas; dichos experimentos llevan a **Coulomb** a la invención de la balanza de torsión. **Brugman (Brugans)** descubre el diamagnetismo. Por otra parte, en el campo de las invenciones e innovaciones, **Volta** inventa el electróforo y **Cavallo** construye el primer electrómetro realmente práctico y útil, innovación que se convertiría en el instrumento de medición universal para cargas eléctricas por muchos años. Hacia finales del ciclo económico, se construye el generador electrostático más grande de la época. **Lesage** inventa un telégrafo eléctrico con el cual logra transmitir algunas señales inteligibles a corta distancia.

Durante la etapa de REACTIVACIÓN (1787 a 1800) del octavo ciclo (1787 a 1842), la investigación teórica sigue dos líneas de desarrollo. Por una parte, se presenta la controversia suscitada por los resultados de los experimentos de **Galvani** y su sobrino **Aldini**, quienes postulan la existencia de una *electricidad animal* y la posición conceptual de **Volta**, quien argumenta que los efectos eléctricos surgen del contacto de dos metales diferentes y un conductor húmedo. La segunda línea de desarrollo se basa en los resultados teóricos de **Coulomb**, quien establece que la fuerza eléctrica es proporcional al producto de la magnitud de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa; análogamente, comprueba que la fuerza magnética sigue el mismo patrón

de comportamiento, es proporcional al producto de la magnitud de los polos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. **Coulomb** postula además su teoría magnética basada en la idea de que cada partícula magnetizada es, de hecho, una molécula imantada polarizada. Por otro lado, los estudios de **Coulomb** sobre la distribución de la carga eléctrica en los conductores sientan las bases del análisis que **Poisson** presentaría en 1827 sobre la electrostática. En el ámbito de las telecomunicaciones, **Salvá y Campillo** construye el primer telégrafo (totalmente electrostático) que funciona entre Madrid y Aranjuez, distantes unos 40 km. Por otro lado, a raíz de la disputa en torno a la electricidad animal, **Volta** realiza una serie de análisis teóricos y experimentales que lo llevan a la invención de la batería eléctrica (conocida después como *pila voltaica*). Dicho dispositivo representa la siguiente ruptura en la evolución del electromagnetismo, con él se puede disponer ya de una fuente constante de electricidad. Varios científicos —entre ellos van **Troostwijk**, **Delman**, van **Marum**, **Cuthbertson** y **Pearson**— inician el estudio de la descomposición electroquímica del agua, experimentos que culminan con la demostración por parte de **Nicholson** y **Carlisle** de la electrólisis del agua. Los únicos desarrollos teóricos que surgen en el transcurso de la etapa de PROSPERIDAD (1801 a 1813) son, por un lado, las teorías electroquímicas de **Davy** y **Grotthuss**, y por el otro, el avance matemático de la teoría electrostática logrado por **Biot** y **Poisson**. Algunos científicos afirman que la electricidad y el magnetismo están relacionados de alguna manera; por ejemplo, **Romagnosi** demuestra experimentalmente tal relación, aun cuando sus resultados son ignorados por la comunidad científica, mientras que **Oersted** postula, a partir de consideraciones filosóficas, el vínculo electromagnético. En el área de la investigación experimental, **Davy**, **Berzelius**, **Pepys**, **Avogadro**, entre otros, realizan diversos experimentos electroquímicos. Por su parte, **Pepys**, **Deluc**, **Wollaston**, **Zanloni** y otros perfeccionan la pila voltaica. **Ritter** inventa el acumulador eléctrico. En este periodo se descubre la generación de luz por arco eléctrico; sin embargo, todavía no se concibe la idea de su uso para la iluminación artificial. **Suemmerring** y **Schilling** construyen el primer sistema telegráfico que emplea corriente eléctrica. En la siguiente etapa del ciclo, la de RECESIÓN (1814 a 1827), **Oersted** descubre por fin la buscada relación electromagnética; con este hecho, se abre una nueva era para la evolución del electromagnetismo, cuyas consecuencias harían posible el surgimiento del desarrollo científico y tecnológico tal y como lo conocemos en la actualidad. **Ampère**, entre 1821 y 1826, establece los cimientos de la nueva ciencia de la electrodinámica. **Biot** y **Savart** establecen una fórmula para la intensidad del campo magnético producido por el paso de una corriente a lo largo de un alambre. **Ohm** propone la ley general que relaciona la corriente en un conductor y el voltaje aplicado; i.e. identifica la fuerza electromotriz (de una pila cerrada) con la fuerza electroscópica (de una pila abierta). Se descubre la termoelectricidad y que la rotación de una placa metálica provoca efectos magnéticos (fenómeno llamado *rotación de Arago*). En el plano tecnológico, **Faraday** y **Barlow**, independientemente, inventan el primer motor eléctrico. **Sturgeon** inventa el electroimán. **Schilling** inventa el telégrafo electromagnético. Varios investigadores, de manera independiente, inventan el galvanómetro —dispositivo compuesto por una bobina de alambre por la que circula una corriente eléctrica y una aguja magnética colocada sobre un pivote. Durante la última etapa del octavo ciclo económico, DEPRESTÓN (1828 a 1842), **Green** aplica el análisis matemático a las teorías de la electricidad y el magnetismo, basado en los trabajos de **Poisson**. **Nobili** postula la existencia de una fuerza en la pila voltaica. Varios científicos creen que existe una relación entre la electricidad, el calor y la luz. **Faraday** desarrolla su teoría eléctrica basada en el concepto de un estado de tensión (o *electroiónico*) entre las partículas de los conductores; demuestra la identidad de las diferentes manifestaciones de la electricidad: la

común, la galvánica y la de algunos animales. **Faraday** postula además las leyes de la electrólisis. **Lenz** descubre que la dirección de la corriente inducida en una bobina, como resultado del movimiento en un campo magnético, siempre se opone al movimiento que la produce, resultado conocido como la *ley de Lenz*. En el área experimental, **Henry** y **Faraday**, independientemente –el primero en Estados Unidos y el segundo en Inglaterra–, descubren el principio de la inducción electromagnética, el cual establece que puede producirse una corriente eléctrica en un conductor mediante un campo magnético *variable*. De esta forma nace el concepto de *dinamo* eléctrico. Casi de inmediato se empiezan a construir tales dispositivos; sin embargo, durante este periodo económico, los dinamos son muy ineficientes debido a que los principios fundamentales no se entienden claramente en términos cuantitativos y geométricos. Durante sus primeros quince años de desarrollo, los generadores eléctricos no pueden competir incluso con las baterías voltaicas, mismas han sido perfeccionadas por A.-C. **Becquerel**, **Daniell**, **Grove**, **Smee** y **Bunsen**. Por otro lado, **Peltier** descubre que cuando una corriente fluye a través de la juntura de dos metales, la temperatura de la unión varía dependiendo de la dirección de la corriente (*efecto Peltier*). A.-E. **Becquerel** descubre el efecto fotovoltaico. Se inician los estudios experimentales de la iluminación incandescente eléctrica. Finalmente, los desarrollos de **Cooke** y **Wheatstone** en Inglaterra, y **Morse** y **Vail** en Estados Unidos, llevan a la telegrafía electromagnética a un nivel práctico listo para su comercialización masiva. Dado que los desarrollos científicos y tecnológicos están basados en la corriente proporcionada por las baterías eléctricas, a este ciclo se le podría denominar *CICLO DE LA ELECTRICIDAD VOLTAICA*.

A continuación se citan los acontecimientos más relevantes ocurridos en el noveno ciclo económico de larga duración (1843 a 1897). Durante su fase de REACTIVACIÓN (1843 a 1857), **Joule** establece el equivalente mecánico del calor. **Faraday** establece su teoría basada en el concepto de campo electromagnético y líneas de fuerza. F. E. **Neumann** propone su teoría matemática sobre las corrientes eléctricas inducidas. **Weber** postula la ley de la fuerza eléctrica basada en la idea de una sola corriente formada por dos flujos de partículas (positivas y negativas) sujetas a una fuerza cuya dirección es a lo largo de la línea que las une y cuya magnitud depende de su velocidad y aceleración relativas. Lord **Kelvin** desarrolla su teoría matemática del magnetismo. **Kirchhoff** formula las leyes que gobiernan la distribución de tensión e intensidad de corriente en las redes de conductores lineales. Dichos estudios sientan los fundamentos de las teorías electromagnéticas que culminarían con las investigaciones teóricas de **Maxwell**. **Hittorf** estudia la migración de los iones durante la electrólisis. **Faraday** descubre la rotación del plano de polarización de la luz debida a un campo magnético y (re)descubre el diamagnetismo. Por su parte, varios investigadores inician el estudio de las descargas eléctricas en gases enrarecidos. **Rüchmkorff** inventa una bobina de inducción de alta tensión. El recién inventado proceso de electroplastia crea una importante demanda para fuentes de corriente directa de voltajes más altos que lo que las baterías químicas pueden proveer. Así, F. **Nollet** es el iniciador del desarrollo de los grandes generadores electromagnéticos; sus investigaciones van dirigidas a la obtención de electricidad para la iluminación artificial. La telegrafía pasa de una etapa experimental práctica al desarrollo comercial, de esta manera, se fundan las primeras compañías que ofrecen diversos servicios telegráficos. En el periodo de PROSPERIDAD (1858 a 1869) los únicos desarrollos teóricos importantes son, por un lado, la teoría sobre el movimiento de la electricidad en los conductores propuesta por **Kirchhoff**, y, por el otro, las teorías electromagnéticas de la luz, propuestas independientemente por **Maxwell** y L. V. **Lorentz**. El trabajo de **Maxwell** contribuye de manera sustancial al entendimiento del campo magnético y al consecuente desarrollo de

reglas prácticas para el diseño de generadores eficientes con un mínimo de pérdidas. A nivel tecnológico hay dos grandes acontecimientos. **Holmes** establece «prácticamente la conveniencia y suficiencia de la luz magnetoelectrónica para propósitos de iluminación en los faros»¹⁾. Para ello, **Holmes** desarrolla potentes generadores eléctricos, con lo que logra un avance sustantivo en el campo de los dinamos. Sin embargo, la primera ruptura tecnológica en el diseño de los generadores se da con el descubrimiento del concepto de la autoexcitación, realizado independientemente por varios investigadores entre 1860 y 1867. En el ámbito de las telecomunicaciones, se instala el primer cable telegráfico transatlántico. Durante la tercera parte del ciclo económico, RECESIÓN (1870 a 1885), **Gramme** realiza la segunda ruptura tecnológica en el diseño de los dinamos al establecer que éstos pueden actuar como motores eléctricos si son operados por un dinamo más grande. Se crea así la posibilidad de combinar motores con dinamos, lo que representa la base de la industria de la tracción eléctrica y, posteriormente, de la sustitución de motores eléctricos en lugar de los motores de vapor en las fábricas. **Edison** y **Swan**, independientemente, llevan la iluminación incandescente a la etapa comercial; casi al mismo tiempo, **Brush**, **E. Thomson** y **Houston** desarrollan sus sistemas comerciales de iluminación por arco eléctrico. En el campo de las telecomunicaciones, el gran desarrollo ocurre cuando **A. G. Bell** y **E. Gray**, de manera individual, inventan el teléfono. En la etapa de DEPRESIÓN (1886 a 1897) del noveno ciclo económico, **J. J. Thomson** establece experimentalmente la existencia del electrón. **Röntgen** descubre los rayos X y **Becquerel** descubre la radiactividad. **Hertz** demuestra la existencia de las ondas electromagnéticas, predichas por la teoría de **Maxwell**. Con esto último se abre un nuevo período en el área de las telecomunicaciones, cuando varios investigadores se dedican al estudio teórico y experimental de la telegrafía inalámbrica y la transmisión por microondas. Dentro del campo de los dinamos, **Tesla** inventa el motor de corriente directa. El descubrimiento del vínculo entre la electricidad y el magnetismo es el detonador de las investigaciones que caracterizan a este ciclo económico, por lo que se le podría llamar el *CICLO DEL ELECTROMAGNETISMO*.

En los siguientes párrafos se presentan dos pequeños análisis de la información descrita en los párrafos anteriores. El primero de ellos se refiere a los avances tecnológicos en área electrotécnica, mientras que en el segundo se intentan identificar las rupturas en las teorías científicas electromagnéticas.

Mensch distingue, como ya se mencionó, entre varios tipos de innovaciones tecnológicas:

- a) Innovaciones básicas;
- b) Innovaciones de perfeccionamiento; y
- c) Pseudo-innovaciones.

Duijn, por otra parte, distingue cuatro tipos de innovación tecnológica:

- a) Grandes innovaciones en los productos que crean nuevas industrias;
- b) Grandes innovaciones en los productos en las industrias existentes;
- c) Innovaciones en los procesos en las industrias existentes; y
- d) Innovaciones en los procesos en los sectores productivos básicos.

Mensch establece que las rupturas tecnológicas ocurren en los períodos de RECESIÓN y DEPRESIÓN de los ciclos económicos (/68/). **Duijn** sugiere que, por el

¹⁾ Palabras de **Faraday** en su informe sobre el acontecimiento.

contrario, las grandes innovaciones en los productos ocurren en tiempos de REACTIVACIÓN económica; argumenta que los innovadores necesitan estar convencidos de estar explotando nuevos mercados en crecimiento y que esto es más fácil que suceda durante la etapa de recuperación de la economía (162, p. 30).

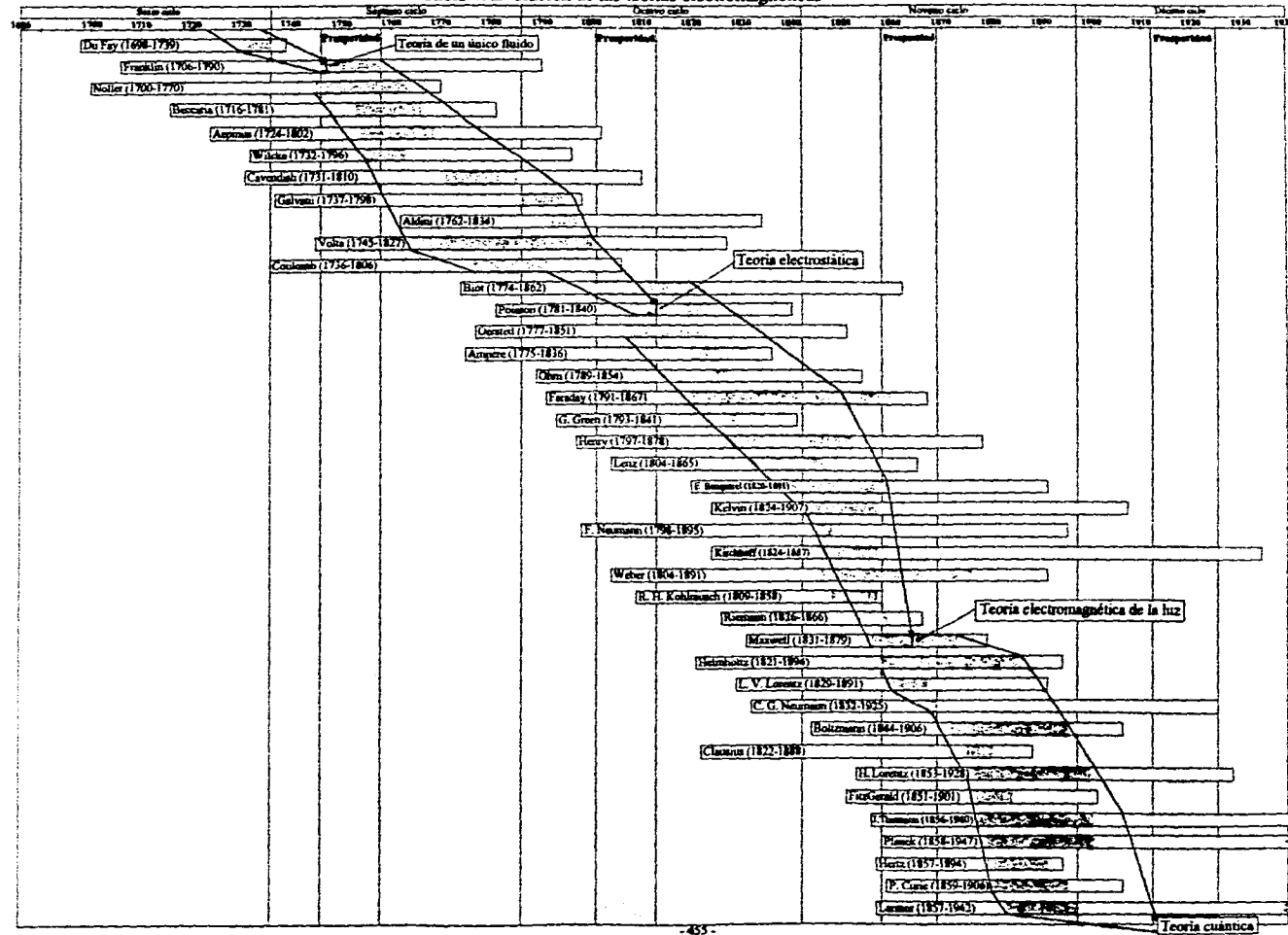
Al analizar, por ejemplo, la información presentada en los capítulos anteriores para algunas de las actuales industrias eléctricas y electrónicas que se formaron en el siglo pasado, clasificadas de acuerdo con el número de empleados que tienen (pequeñas, medianas y grandes), se observa que las innovaciones básicas o grandes innovaciones en los productos que crean nuevas industrias surgieron principalmente durante los periodos de RECEPCIÓN y DEPRESIÓN (véase la TABLA 3).

Período	Inventor	Año	Industria (a nivel mundial)		
			Pequeña (1 a 10,000 empleados)	Mediana (10,000 a 100,000 empleados)	Grande (más de 100,000 empleados)
Depresión	Faraday	1831			Generación de electricidad
			Transformadores		
	Cooke et al	1837	Relés		
	Davenport			Motores eléctricos	
Depresión	Dancer	1839	Microfilmación		
			Celdas de combustible		
	Hahn	1843	Reproducción facsimilar		
		1857	Lámparas de arco de mercurio		
	Planté	1860	Acumuladores		
		1868	Baterías secas		
	Fitzgerald	1876	Condensadores de papel		
					Teléfono
		1877	Microfonos de carbón		
			Altavoces		
	Edison, Swan et al	1878			Lámparas eléctricas
		1885		Resistencias de composición de carbón	
	Berliner	1887		Gramófonos	
		1895		Rayos X	
		1896			Radio
		1897		Oscillografos de rayos catódicos	

TABLA 3. Origen de diversas industrias eléctricas y electrónicas.

Estos resultados podrían interpretarse, en primera instancia, como evidencia de la teoría de Mensch, sin embargo, fahan por analizar todavía diversas cuestiones. Por ejemplo, habría que analizar, por un lado, el comportamiento que presenta el tiempo transcurrido entre el surgimiento de una innovación básica, su penetración en el mercado, el momento de saturación de su demanda y su sustitución por un nuevo producto y, por el otro lado, la comparación entre diversas innovaciones dentro de un mismo sector industrial y la comparación entre varios sectores productivos.

Tabla 4. Evolución de las teorías electromagnéticas



Como ejemplo de un estudio económico más detallado del desarrollo histórico, en la TABLA 4 se presenta un resumen de la evolución de las *teorías electromagnéticas*.

Entre 1700 y 1900 se aprecian tres rupturas clave: la teoría de un único fluido eléctrico propuesta por **Franklin** en 1747; el desarrollo de la teoría electrostática, realizado por **Poisson** entre 1812 y 1813; y la teoría electromagnética de la luz, que **Maxwell** estableciera en 1864. En la gráfica se muestran las aportaciones teóricas más importantes previas a cada rompimiento.

Las teorías eléctricas y magnéticas propuestas con anterioridad a las conclusiones de **Franklin** son principalmente animalistas o basadas en la teoría de los vórtices de **Descartes**. Por ejemplo, **Du Fay** cree en la existencia de dos fluidos eléctricos diferentes. **Franklin** postula que la electricidad está constituida por un solo fluido material, cuyas partículas difieren de la materia *normal*, y cuyo exceso o deficiencia determinan el estado eléctrico de los cuerpos. Durante los siguientes 60 años se proponen diversas concepciones sobre la naturaleza de la electricidad, entre las que destacan las proposiciones de **Nollet**, **Beccaria**, **Aepinus**, **Wilcke**, y **Symmer**. Hacia finales del siglo 18 existen dos vertientes principales de desarrollo conceptual electromagnético. Por un lado, **Galvani**, **Aldini** y **Volta** encabezan la controversia sobre la existencia de una supuesta *electricidad animal*, cuyo resultado directo es la invención del electróforo y de la batería eléctrica por parte de **Volta**. Por otra parte, **Coulomb** establece las leyes exactas de las fuerzas eléctrica y magnética, resultados que influyen de manera crucial para que **Biot** y **Poisson** desarrollen la teoría matemática de la electrostática.

A partir del descubrimiento de **Oersted** de la relación entre la electricidad y el magnetismo (vínculo en el que **Oersted** creía, bajo fundamentos filosóficos, desde tiempo atrás), **Ampère** propone que el magnetismo es el resultado de las corrientes eléctricas moleculares circulares y, con base en esta suposición, inicia el desarrollo de la teoría electrodinámica. **Faraday** descubre el primer efecto magnetoóptico –la rotación del plano de polarización de la luz causada por la presencia de un campo magnético–, con lo que se vuelve a tomar la vieja idea de que el calor, la luz y la electricidad están relacionados. El propio **Faraday** postula su teoría electromagnética basada en la idea de un *estado electrolítico*, o estado de tensión, entre las partículas de los cuerpos establecido o interrumpido por el paso de una corriente eléctrica. Concibe la idea del *campo* electromagnético y líneas de fuerza eléctricas y magnéticas. **Ohm**, **Green**, **Lenz**, **Lord Kelvin**, **Kirchhoff**, entre otros, realizan desarrollos matemáticos importantes, mientras que **F. Neumann**, **Weber** y **Riemann** postulan nuevas teorías magnéticas; por ejemplo, **Weber** establece que la electricidad está formada por un flujo de dos grupos iguales de partículas (positivas y negativas), uno al lado del otro, moviéndose en direcciones opuestas por canales situados entre las moléculas de los cuerpos, y que las partículas están sujetas a una fuerza cuya dirección está siempre a lo largo de la línea que une a dos de ellas y cuya magnitud depende de su velocidad y aceleración relativas a lo largo de esa línea. **Lord Kelvin**, como continuación de la idea de campo electromagnético de **Faraday**, concibe la teoría del medio eléctrico. Finalmente, **Maxwell** integra las ideas existentes sobre la electricidad y el magnetismo en una concepción mecánica del campo electromagnético. El concepto revolucionario de *corriente de desplazamiento* que **Maxwell** introduce –que describe un campo magnético que rodea a un flujo eléctrico variable en cualquier región del espacio– es el que distingue con mayor profundidad su teoría de otros intentos contemporáneos de

establecer una síntesis del electromagnetismo. De su teoría, **Maxwell** deduce que los efectos electromagnéticos, uno de cuyos fenómenos es la luz, viajan a velocidad finita y se propagan en un medio mecánico, el *éter*.

La idea del *éter* luminífero tiene profundas consecuencias filosóficas. Algunos pensadores creen que éste juega el papel del espacio absoluto de **Newton** y aseguran que no solamente las leyes del electromagnetismo, sino las leyes de la mecánica, deben, en principio, estar expresadas con relación a él. Durante el lapso comprendido entre 1865 y 1887, se diseñan numerosos experimentos para intentar detectar alguna evidencia del movimiento de la Tierra a través del *éter*, en busca del sistema absoluto de referencia. Los resultados negativos de uno de estos experimentos, el de **Michelson y Morley** de 1887, representan el inicio del fracaso de dicha búsqueda. Poco a poco se van descubriendo diversos problemas complejos —relacionados con la descripción de los fenómenos electromagnéticos vistos desde marcos de referencia que se mueven con diferentes velocidades uno con respecto al otro— que no pueden ser resueltos con ninguna de las teorías electromagnéticas existentes.

Desde que **Faraday** estableciera las leyes de la electrólisis, en 1834, varios científicos —**Hittorf**, **Kohlrausch** y **Arrhenius**, entre otros— han estudiado la conductividad eléctrica de las soluciones químicas y han propuesto diversas teorías electrolíticas. Por otra parte, en 1858 **Plücker** descubre que en las paredes de un tubo de vidrio parcialmente al vacío aparece una fluorescencia verdosa cerca del cátodo y que, al aplicar un campo magnético, el brillo del cátodo se desvía siguiendo las líneas de fuerza del campo; con ello se inicia la investigación de las descargas eléctricas en gases enrarecidos. A comienzos de la década de 1880-1889 se cree que ambos tipos de conductividad, la electrolítica y la gaseosa, son procesos semejantes, es decir, por ruptura de enlaces químicos; sin embargo, mientras la ionización electrolítica siempre tiene lugar en moléculas compuestas, la ionización en gases enrarecidos se observa aun en gases puros. Algunos científicos ven en este hecho la primera evidencia directa de que un átomo es una estructura compleja y que en su formación entran cargas eléctricas. Con esta idea en mente y basándose en el trabajo de diversos investigadores así como en sus propios experimentos, **J. J. Thomson** se aventura a proclamar, en 1897, la existencia del electrón.

Los desarrollos teóricos de la primera década del siglo 20 en el área electromagnética —que quedan fuera del alcance de este trabajo de tesis— están dominados por las concepciones de la cuantización de la energía, establecida por **Planck** en 1900 y de la teoría del efecto fotoeléctrico y de la relatividad especial, propuestas por **Einstein** en 1905. En 1913, **Bohr**, quien creció en un ambiente familiar propicio para aceptar una concepción dialéctica de la naturaleza, rompe con las tesis clásicas y establece la teoría cuántica de la radiación electromagnética.

Las cuatro rupturas mencionadas se realizan durante los períodos de PROSPERIDAD de los ciclos económicos. Podríamos suponer que en las demás ciencias se observa un fenómeno similar —suposición que debe confirmarse con investigaciones posteriores. Una explicación económica de que las rupturas en el desarrollo teórico de las ciencias se den precisamente en los períodos de prosperidad podría ser que durante dichos períodos de auge hay suficiente apoyo económico y financiero como para invertir parte del capital en aspectos cuyas utilidades no se recuperen en el corto plazo.

Los resultados presentados confirman la hipótesis de trabajo de esta tesis: es decir, se ha identificado que por lo menos para el período de 1700 a 1900, los grandes avances o rupturas científicas y tecnológicas en el área de la electricidad y el magnetismo, no ocurren al azar en el tiempo, sino que están íntimamente relacionados con la evolución económica de la sociedad.

La identificación de los períodos económicos en los que se han realizado las revoluciones mencionadas representa una herramienta muy útil para la comprensión del momento histórico que vivimos en la actualidad; asimismo, nos ayuda a tratar de imaginar cuándo podrían suceder nuevas rupturas y estar así preparados para afrontar los retos y oportunidades que nos depara el futuro.

Como se planteó en la introducción, este trabajo es una propuesta para una nueva forma de análisis prospectivo. Quedan todavía varios aspectos por investigar. El principal de ellos es la recolección de la información correspondiente a este siglo y su análisis detallado. Otro de los aspectos es el estudio de las características de la esfera de influencia de los personajes involucrados. Se contemplarían aquí las relaciones maestro-alumno, patrón-empleado, padre-hijo, etc; así como la pertenencia de los actores a determinadas escuelas de pensamiento. Un tercer aspecto es la investigación de la historia cronológica de las empresas y compañías: su creación o formación, su fusión y consolidaciones, su decadencia, etc. Además, sería conveniente realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos mediante análisis similares a este de las demás áreas de actividad del ser humano.

Desde el punto de vista técnico, la información recopilada puede analizarse utilizando varios métodos. Se propone en primer lugar la creación de un banco de datos de cómputo, o base de datos, formado por cada aportación particular (idea, invento, innovación, proposición, descubrimiento, sugerencia, observación, publicación, empresa, teoría, medición, etc) de los actores que se mencionan en la cronología, clasificadas de cierta manera. Para el caso particular de esta cronología, podrían obtenerse así, por ejemplo, todos los artículos publicados sobre los rayos X, todas las proposiciones realizadas respecto a los sistemas de unidades estándar, los descubrimientos relacionados con la magnetohidrodinámica, el número anual de innovaciones en el área de los motores eléctricos, el desarrollo educativo de la Ingeniería Eléctrica, etc. Un segundo método de análisis es mediante los sistemas de cómputo llamados HIPERTEXTO. Con ellos, se señala en la pantalla de la computadora una palabra, frase o dibujo de interés con el fin de obtener más información relevante. Por ejemplo, nuevamente en el caso de esta cronología, se podría señalar en el texto la palabra «Volta» en el año 1799 y se presentaría una fotografía de A. Volta cuando tenía 54 años de edad junto con una pequeña biografía; al señalar las palabras «bobina de inducción», podría presentarse un dibujo tridimensional de dicho dispositivo; al señalarse la oración «se funda la compañía *Siemens und Halske*», podría presentarse la historia de dicha compañía, etc. Los ejemplos que se mencionan para ambos métodos de estudio son algunos de una larga serie de posibles desarrollos.

BIBLIOGRAFÍA

- [01] **Grun, Bernard.** *Times Tables of History*, 1ª. ed. Touchstone, Simon and Schuster, Inc., Nueva York, 1982.
- [02] **Crombie, A. C.** *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo*, 2 volúmenes, trad. José Bernia, Alianza Universal, Madrid, 1974.
- [03] *The New Encyclopaedia Britannica*, ed. Philip W. Goetz, 15ª ed., Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago, 1989.
- [04] **Hull, L. W. H.** *Historia y filosofía de la ciencia*, trad. de la 2ª ed. en inglés de 1959, por M. Sacristán, (Zetain), Ediciones Ariel, Barcelona, 1961.
- [05] **Reitz, John R. et. al.**, *Fundamentos de la teoría electromagnética*, trad. de la 3ª ed. en inglés de 1979, por C. G. Martínez, Fondo Educativo Interamericano, México, D. F., 1984.
- [06] **Díaz Ruiz, Ignacio y María Trigueros**, *Cien personajes en el mundo de las ciencias exactas*, en Enciclopedia Biográfica Universal, ed. Dianne Downey, vol. 3, Promociones Editoriales Mexicanas, México, D. F., 1982.
- [07] **Arons, Arnold B.**, *Evolución de los conceptos de la física*, trad. de la 2ª ed. en inglés de 1965, por L. R. Morales, Trillas, México, D. F., 1970.
- [08] **Duran, Will y Duran, Ariel**, *The Story of Civilization*, 11 volúmenes, Simon and Schuster, Inc., Nueva York, 1961.
- [09] **Reid-Green, Keith S.**, "The History of Census Tabulation", *Scientific American*, febrero, 1989, pp. 78-83.
- [10] **Altshuler, José**, *Excursión a la electrónica*, Editorial Científico-técnica, La Habana, 1984.
- [11] **Wildes, Karl L. y Lindegren, N.**, *A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 1882-1982*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1985.
- [12] **Engels, Federico**, *Dialéctica de la naturaleza*, 1ª ed. en español, trad. W. Roces, Grijalbo, México, D. F., 1961.
- [13] **Watson, William**, "An Account of Mr. Benjamin Franklin's Treatise, lately published, intituled Experiments and Observations on Electricity, made at Philadelphia in America", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 47, pp. 202-211, 1751-1752.
- [14] **Dana, James F.**, "On a new form of the electrical battery", *American Journal of Science*, vol. 1, pp. 292-294, 1819.
- [15] **Kompfner, Rudolf**, "Electron devices in science and technology", *IEEE Spectrum*, vol. 4, pp. 47-49, sept. 1967.

EVOLUCION CRONOLOGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- [16] Sydenham, P. H. *Measuring Instruments: Tools of knowledge and control*, (History of Technology, series 1), Peter Peregrinus, Ltd., Stevenage, Reino Unido, 1979.
- [17] *A History of Technology*, ed. Charles Singer, et al., Reimpr. de 1958, Oxford University Press, Oxford, Inglaterra, 1980.
- [18] Dunsheath, Percy, *A History of Electrical Power Engineering*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1962.
- [19] Mauchly, John W., "Mauchly on the trials of building ENIAC", *IEEE Spectrum*, pp 70-76, abril, 1975.
- [20] Brainerd, J. G. y Sharpless, T. K., "The ENIAC", *Electrical Engineering*, vol. 67, pp. 163-172, febrero, 1948.
- [21] "Transnational Corporations in the International Semiconductor Industry", en *United Nations Centre on Transnational Corporations*, United Nations, Nueva York, 1986.
- [22] *Diagnóstico de la informática en México 1980*, Secretaría de Programación y Presupuesto, México D. F., 1980.
- [23] Herrera, Norma, "La televisión mexicana", *ICYT*, vol. 11, no. 157, pp. 28-37, octubre, 1989.
- [24] Süsskind, Charles, "American Contributions to Electronics: Coming of Age and Some More", *Proceedings of the IEEE*, vol. 64, no. 9, pp. 1300-1305, septiembre, 1976.
- [25] Davis, Henry, *Electrical and Electronic Technology: A Chronology of Events and Inventions to 1900*, The Scarecrow Press, Inc., Nueva Jersey, 1981.
- [26] Trotter, Donald M., Jr., "Capacitors", *Scientific American*, vol. 259, no. 1, pp. 58-63, julio, 1988.
- [27] Platón, *Diálogos*, 8ª ed. corregida y aumentada de la 1ª ed. de 1962. (Sepan Cuantos...), editorial Porrúa, S. A., México, D. F., 1969.
- [28] Bowen, George, "Magnetic Effects produced by Dr. Hare's Calorimotor", *American Journal of Science*, vol. V, pp. 357-360, 1822.
- [29] Henry, Joseph y Ten Eyck, Philip, "An Account of a Large Electromagnet, made for the Laboratory of Yale College", *American Journal of Science*, vol. XX, pp. 201-203, 1831.
- [30] Morse, Samuel F. B., "Experiments made with one hundred pairs of Grove's Battery, passing through one hundred and sixty miles of insulated wire", *American Journal of Science*, vol. XLV (julio-septiembre), pp. 390-392, 1843.
- [31] Draper, John W., "On the law of the conducting power of wires", *American Journal of Science*, vol. XLV (julio-septiembre), pp. 392-394, 1843.
- [32] Hare, Robert, "Remarks made by Dr. Hare, at a late meeting of the American Philosophical Society, on a recent speculation by Faraday on electric conduction and the nature of matter", *American Journal of Science*, vol. XLVIII, pp. 247-252, 1845.
- [33] Trabulse, Elias, *Historia de la Ciencia en México*, 1ª ed., 4 volúmenes, Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 1983.

- [34] *Dictionary of Scientific Biography*, ed. Charles Coulston Gillispie, Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1971.
- [35] *Diccionario enciclopédico U.T.E.H.A.*, México, D. F., 1950.
- [36] Williams, L. Pearce, "André-Marie Ampère", *Scientific American*, pp. 72-79, enero, 1989.
- [37] Drake, Stillman, "Galileo and the First Computing Device", *Scientific American*, vol. 234, no. 4, pp. 104-113, abril, 1976.
- [38] *Enciclopedia Americana*.
- [39] Mackintosh, Allan R., "Dr. Atanasoff's Computer", *Scientific American*, vol. 259, no. 2, pp. 72-78, agosto, 1988.
- [40] *World Who's who in Science*, ed. Allen G. Debies, 1ª ed. Marquis Who's-who, 1968.
- [41] Matthews, Dennis L. y Mordecari D. Rosen, "X-Ray Lasers", *Scientific American*, vol. 259, no. 6, pp. 60-65, diciembre, 1988.
- [42] Hughes Aircraft Company, "Science/Scope", *Scientific American*, vol. 253, no. 2, p. 22, agosto, 1985.
- [43] Hazen, Robert M. "Perovskites", *Scientific American*, vol. 258, no. 6, pp. 52-61, junio, 1988.
- [44] Sección "100 Years Ago", *Scientific American*, vol. 259, no. 6, diciembre, 1988.
- [45] Singer, Charles, *A Short History of Scientific Ideas to 1900*, Reimp. de 1977 de la edición de 1962, Oxford University Press, Inglaterra, 1959.
- [46] Moulton, Forest Ray y Schifferes, Justus J., *Autobiografía de la ciencia*, trad. de la 1ª ed. en inglés de 1945, por Francisco A. Delplaine, Fondo de Cultura Económica, México, 1947.
- [47] Farmer, Moses Gerrish, "On the Cost of Electric Light", *American Journal of Science*, 2ª ser., vol. XLV, pp. 112-115, 1868.
- [48] Field, Cyrus W., "The Atlantic Cable", *American Journal of Science*, 2ª ser. vol. XXVI (septiembre), pp. 285-288, 1858.
- [49] Whittaker, Edmund, *A History of the Theories of Aether & Electricity*, Dover Publications, Inc. Nueva York, 1989 (reimpresión de la edición original de Thomas Nelson and Sons, Ltd, Londres, 1951-1953).
- [50] Davis, Henry, *Electrical and Electronic Technologies: A Chronology of Events and Inventors from 1900 to 1940*, The Scarecrow Press, Inc., Nueva Jersey, 1983.
- [51] Bowers, Brian, *A History of Electric Light & Power*, History of Technology, Series 3, Peter Peregrinus Ltd, Exeter 1982.
- [52] Dummer, G. W. A., *Electronic Inventions and Discoveries*, Pergamon Press Ltd, Oxford, 1978.
- [53] Clark, James A., *Chronological History of the Petroleum and Natural Gas Industries*, Clark Book Company, Houston, Texas, Estados Unidos, 1963.
- [54] Yam, Philip, "Current Events", *Scientific American*, vol. 269, no. 6, pp. 84-93, diciembre 1993.

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

- [55] Derry, T. K. y Williams, Trevor I. *Historia de la Tecnología*. Siglo Veintiuno Editores, México, 1990.
- [56] Hospitalier, E., *Les principales Applications De L'Electricité*, G. Masson Editeur, París, 1884.
- [57] Trager, Tanes, *The peoples Chronology*. Henry Holt and Company, Nueva York, 1992.
- [58] Alonso Concheiro, Antonio y Rodríguez Viqueira, Luis, *Alternativas Energéticas*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Fondo de Cultura Económica, México, 1985.
- [59] Schurman, Paul F., *Historia de la física*, 2ª ed., Editorial Nova, Buenos Aires, 1945.
- [60] Figuier, Louis, *Les Merveilles de la science* (4 tomos), Jouvet et Cie. edituers, París, 1869.
- [61] Bright Jr., Arthur, *The Electric-Lamp Industry: Technological Change and Economic Development from 1800 to 1947*, Arno Press, Nueva York, 1972.
- [62] Ayres, Robert R., "The Barrier-Breakthrough Model of Innovation and the Life Cycle Model of Industrial Evolution as Applied to the U.S. Electrical Industry", en *Knowledge and Industrial Organization*, Ake E. Anderson, David F. Batter y Charlie Karlsson (editores), Springer Verlag, 1989, pp. 115-132.
- [63] Hamakawa, Yoshito, "Photovoltaic Power", *Scientific American*, vol. 256, no. 4, pp. 76-82, abril, 1987.
- [64] Butti, Ken y Perlin, John, *A Golden Thread*, Van Nostrand Reinhold Co, Nueva York, 1980.
- [65] Goldschmidt, Bertrand, *The Atomic Complex*, American Nuclear Society, Illinois, 1982.
- [66] Cádiz Deleito, J. C., *La Energía eólica: Tecnología e Historia*, Hermann Blume, Madrid, 1984.
- [67] Collazo, Javier L., *Encyclopedic Dictionary of Technical Terms. English-Spanish, Spanish,-English*, McGraw-Hill Book Company, Estados Unidos, 1980.
- [68] Mensch, *Statement in Technology, Innovations Overcome the Depression*, edición en lengua inglesa por Ballinger Publishing Company, 1979.
- [69] Freeman, Christopher, *Long Waves in the World Economy*, Frances Pinter (Publishers) Ltd., Londres, 1984.

INDICE

El superíndice que sigue a cada apellido representa la referencia bibliográfica de la cual se obtuvo la información. Los números que se listan después de cada nombre se refieren a los años en que aparece el personaje; los de tipo **negrita** representan referencias directas, mientras que los de tipo *cursiva* representan referencias indirectas.

- A -

Abbe³⁴, Ernst (n. Eisenach, Alemania, 1840; m. Jena, Alemania, 1905), **1872**

Ahegg⁴⁰, Richard (n. Dautzig, Polonia, 1869; m. Koszalin, Polonia, 1910), **1899**

Abel⁴⁰, Frederick August (n. Woolwich, Inglaterra, 1827; m. Londres, Inglaterra, 1902), **1857**, **1861**

Abria⁴⁰, Jérémie-Joseph-Benoit (n. Limoges, Francia, 1811; m. Bordeaux, Francia, 1892), *apéndice*

Achard⁴⁰, Franz Karl (n. Berlin, Alemania, 1753; m. Kunern, Silesia, 1821), *apéndice*

Acheson⁴⁰, Edward Goodrich (n. Washington, Filadelfia, Estados Unidos, 1856; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1931), **1881-84**, **1884**

Acosta³⁴, José de (n. Medina del Campo, España, 1539; m. Salamanca, España, 1600), **1590**

Adams⁴⁰, George (el joven) (n. Inglaterra, 1750; m. Southampton, Inglaterra, 1793), **1784**, *apéndice*

Adams⁴⁰, William Crylls (n. Laneast, Inglaterra, 1836; m. 1915), **1876**, **1877**, *apéndice*

Ader⁴⁰, Clément (n. Muret, Francia, 1841; m. Muret, 1923), **1876**, **1878**

Adler⁴⁰, Gottlieb (n. Steken, Bohemia [ahora Checoslovaquia], 1860; m. Vienna, Austria, 1893), **1885**, *apéndice*

Aepinus³⁴, Franz Ulrich Theodosius (n. Rostock, Alemania, 1724; m. Dorpat, Rusia [ahora Tartu, Estonia], 1802), *121^o*, **1751-52**, **1754**, **1756(2)**, **1757**, **1759**, **1759**, **1760**, **1762**, **1766**, **1766**, **1768**, **1787**, **1790**, **1791**, **1853**, **1876**

Agustín³⁴, San (o Aurelius Augustinus) (n. Tagaste, Numidia, 354; m. Hipona, Africa del norte, 430), **428**, **1533**

Argand, Aimé (n. Ginebra, Suiza, 1750; m. 1803), **1776**

Airy³⁴, George Biddell (n. Alnwick, Northumberland, Inglaterra, 1801; m. Greenwich, Inglaterra, 1892), *1833*, **1838**, **1857**, **1870**

Alberto³⁴, Duque de Prusia, *1544*

Alembert³⁴, Jean Le Rond d' (n. Paris, Francia, 1717; m. Paris, 1783), *1889*, *1892*

Aldini³⁴, Giovanni (n. Boloña, Italia, 1762; m. Milán, Italia, 1834), *1792*, *1793*, *1794(2)*, *1794*, *1797*, **1802**, **1803**, **1803-1804**

Alexander²⁴, William, **1837**

Allamand⁴⁰, Jean Nicolas Sébastien (n. Lausana, Suiza, 1713; m. Leiden, Países Bajos, 1787), **1745**, **1746**, *1746(2)*

Allan⁵¹, Thomas, **1852**

Allen⁴⁰, John (n. Inglaterra, 1829; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1900), **1882**

Alluan⁶¹, F. (Inglaterra), **1848**

Alter⁴⁰, David (n. Westmoreland County, Pensilvania, Estados Unidos, 1807; m. 1881), **1836**, *apéndice*

Ampère³⁴, André-Marie (n. Lyons, Francia, 1775; m. Marsella, Francia, 1836), *1785*, *1791*, **1820**, **1821**, *1821(3)*, **1822**, *1822(2)*, **1823-26**, **1824**, *1824(2)*, *1825*, **1826**, *1826*, *ca. 1827*, *1828(2)*, *1830*, **1831**, *1832(2)*, *1833*, *1834*, *1840*, *1845*, *1845-55*, *1846(2)*, *1848*, *1852*, *1856*, *1865*, *1874*, *ca. 1875*, *1880*, *apéndice*

Amsler³⁴ (después Amsler-Laffon), Jakob (n. Sialden bei Drugg, Suiza, 1823; m. Schaffhausen, Suiza, 1912), **1847**, **1848**

Amstutz²⁴, Noah Steiner, **1898**

Anaxágoras¹⁴ (n. Clazomenae, Lidia, 500[?] a.C.; m. Lampsacus, Misia, 428[?] a.C.), *ca. 450 a.C.*

Andrews³⁴, Thomas (n. Belfast, Irlanda, 1813; m. Belfast, 1885), **1855**, *apéndice*

Angström⁴⁰, Knut Johan (n. Uppsala, Suecia, 1857; m. Uppsala, 1910), **1893**, **1895**

Angström³⁴, Anders Jonas (n. Lögölo, Medelpad, Suecia, 1814; m. Uppsala, Suecia, 1874), *ca. 1850*, **1853**, *1885*

Anthony³, William Arnold (n. Conventry, Rhode Island, Estados Unidos, 1835; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1908), **1883**, *apéndice*

Appes²³, A., **1876**

- Aquino³¹, Santo Tomás (*n.* Roccasecca, cerca de Monte Cassino, Italia, ca. 1225; *m.* Fossanuova, cerca de Maenza, Italia, 1274), ca. 1270
- Aragón³¹, Dominique François Jean (*n.* Estagel, Francia, 1786; *m.* París, Francia, 1853), 1820, 1820(2), 1821(2), ca. 1822, 1822, 1823, 1824, 1824, 1825, 1825(3), 1828, 1831, 1834, 1838, 1842-44, 1879
- Arco, Georg Wilhelm Alexander Hans von (cousin Georg Wilhelm Alexander Hans von Arco)
- Archereau³¹, Henri A. (*n.* Francia, 1819; *m.* 1890), 1848, 1849(2)
- Aristoteles³¹ (*n.* Estagira, Calcedonia, 384 a.C.; *m.* Calcedonia, ca. 322 a.C.), ca. 570 a.C., ca. 340 a.C., ca. 300 a.C., ca. 177
- Armstrong³², 1848
- Armstrong³², William George (*n.* Newcastle Tyne, Inglaterra, 1816; *m.* Rothbury, Inglaterra, 1909), 1840, 1842, 1843, 1843
- Arno³², Hermann (*n.* Kempen, Prusia, 1845; *m.* Homburg von der Höhe, Alemania, 1913), apéndice
- Arum³², Leon (*n.* Berlin, Alemania, 1869; *m.* 1919), 1891, 1892
- Arrhenius³¹, Svante August (*n.* Vik, Suecia, 1859; *m.* Estocolmo, Suecia, 1927), 1883, 1884, 1886, 1887(2), 1888
- Arighetti³², Nicolo (*n.* Florencia, Italia, 1709; *m.* 1767), 1750
- Arsonval³⁴, Arsène d' (*n.* Chateau de la Horie, St. Germain-les-Belles, La Porcherie, Francia, 1851; *m.* Chateau de la Horie, 1930), 1872, 1879, 1881, 1882(2), 1887, 1888, 1889, 1890(2), 1892, 1894, 1897, apéndice
- Auvert³², Louis-René (*n.* 1857; *m.* 1930), 1899, apéndice
- Averruces³⁴, Ibn Rushd, Abū'l-Walid Muḥammad ibn al-ḥmad ibn muḥammad, Ḥamad (*n.* Córdoba, España, 1126; *m.* Marrakech, Marruecos, 1198), ca. 1150
- Avogadro³⁴, Amadeo (*n.* Turin, Italia, 1776; *m.* Turin, 1856), 1806, 1809, 1822
- Ayrton³², Sarah Hertha Marks (*n.* Portsea, Inglaterra, 1854; *m.* 1923), apéndice
- Ayrton³², William Edward (*n.* Londres, Inglaterra, 1847; *m.* Hyde Park, Inglaterra, 1908), 1879(2), 1880, 1882, ca. 1885(4), 1887, 1891, 1893, apéndice
- B -
- Bader³⁵, Joseph, 1722^m
- Babbage³⁴, Charles (*n.* Teignmouth, Inglaterra, 1792; *m.* Londres, Inglaterra, 1871), 1824(2), 1825, 1826, ca. 1830
- Babcock³², George Hennan (*n.* Unadilla Forks, Nueva York, Estados Unidos, 1832; *m.* Plainfield, 1893), 1890
- Bache³⁴, Alexander Dallas (*n.* Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1806; *m.* Newport, Rhode Island, Estados Unidos, 1867), ca. 1830, 1839
- Bacon³⁴, Francis (*n.* Londres, Inglaterra, 1561; *m.* Londres, 1626), 1620, 1623
- Bacon³⁴, Roger (*n.* Inglaterra, ca. 1219; *m.* ca. 1292), ca. 1258, 1267-68
- Bailly³⁴, Jean-Sylvain, 1784
- Bailly³², Walter, 1879
- Bain³², Alexander (*n.* Watten, Cathness-Shire, Escocia, 1812; *m.* 1877), 1784, 1837, 1843, 1846, 1850
- Bakewell³⁵, Frederick Collier, 1847
- Ball³², Henry Price (*n.* Filadelfia, Estados Unidos, 1868; *m.* 1941), 1888-93, 1893-1900
- Balmer³¹, Johann Jakob (*n.* Lausen, Basel-Land, Suiza, 1825; *m.* Basilea, Suiza, 1898), 1885
- Banks³¹, Joseph (*n.* Londres, Inglaterra, 1743; *m.* Islesworth, Inglaterra, 1826), 1800, 1806
- Barhouse³², 1870
- Barker³², George Frederick (*n.* Charlestown, Massachusetts, Estados Unidos, 1835; *m.* 1910), 1880, apéndice
- Barlow³⁴, Peter (*n.* Norwich, Inglaterra, 1776; *m.* 1862), 1819, 1820, 1821, 1821, 1823, 1825, 1825, 1826
- Barlow³² (o Barlow), William (*n.* Pembrokeshire, Inglaterra, *m.* 1625), 1618, 1843
- Barnett³², Samuel Jackson (*n.* Woodson County, Kansas, Estados Unidos, 1873), 1873^m
- Barrett³², William Fletcher (*n.* Jamaica, British West Indies, 1844; *m.* 1925), 1899, apéndice
- Barthélemy³², Jean Jacques (*n.* Cassis, Francia, 1716; *m.* París, Francia, 1795), 1788
- Bartoli³², Adolfo (*n.* Florencia, Italia, 1851; *m.* Pavia, Italia, 1896), 1876, 1878, 1882, 1883, apéndice
- Barton³⁵, Enos, 1869, 1872
- Barus³², Carl (*n.* Cincinnati, Estados Unidos, 1856; *m.* Providence, Estados Unidos, 1915), 1885
- Batcher³², Charles, 1876
- Bathamatin³² (Conde de Africa), 428
- Baudot³², Émile (*n.* Haute-Marne, Francia, 1845; *m.* 1903), 1874, 1877, ca. 1885, apéndice
- Bauer³², Max (*n.* Gnadenthal, Alemania, 1844; *m.* Marburg, Alemania, 1917), 1874
- Baxendell³², Joseph (*n.* Manchester, Inglaterra, 1815; *m.* Birkdale, Inglaterra, 1887), apéndice
- Bayluk³⁴ (o Bailak), Al-Qibjaqi (*fl.* ca. 1250; El Cairo, Egipto), ca. 1150, 1282
- Bazin³², Gilles Augustin (*n.* Paris, Francia, 1681; *m.* Estrasburgo, 1754), 1753
- Beall³², George (*n.* Inglaterra, 1849; *m.* 1918), apéndice
- Beaumont³², Henry, 1843
- Beccaria³⁴, Giambattista (*n.* Mondovì, Italia, 1716; *m.* Turin, Italia, 1781), 1752, 1753, 1753, 1758, 1760-61, 1761, 1764, 1765, 1765, ca. 1767, 1769, 1769, 1772, 1775, 1775(2), 1777, 1785
- Beck³², A. van, 1830
- Becker³⁴, Christopher, 1835
- Becquerel³⁴, 1870
- Becquerel³⁴, Alexandre-Edmond (*n.* París, Francia, 1820; *m.* París, 1891), 1840, 1843, 1844, 1845-55, 1855(2), 1855, 1855-56, 1859, 1862, 1865

Bequerel³¹, Antoine-Cesar (*n.* Châtillon-sur-Loire, Loiret, Francia, 1788; *m.* París, Francia, 1878). 1819, 1821, 1823, 1824, 1825, 1826, 1827, 1829, 1834-70, 1836, 1842, 1842, 1842-44, 1845, 1845-55, 1855, 1855-56, 1858

Bequerel³², Antoine-Henri (*n.* París, Francia, 1852; *m.* Le Croisic, Bretaña, Francia, 1908). 1875-82, 1883, 1886-98, 1896, 1898(2), 1899, 1899

Beda³³ (s) Venerable (*n.* Northumbria, Inglaterra, 673; *m.* Jarrow-on-Tyne, Inglaterra, 735). *ca.* 734

Beldi³⁴, 1895

Beeckman³⁵, Isaac (*n.* Middelburg, Zeeland, Países Bajos, 1588; *m.* Dordrecht, Países Bajos, 1637). 1627

Behrens³⁶, *ca.* 1805

Bell³⁷, 1848

Bell³⁸, Alexander Graham (*n.* Edimburgo, Escocia, 1847; *m.* Baddeck, Nueva Escocia, Estados Unidos, 1922). 1870, 1871, 1873, 1874, *ca.* 1875, 1875, 1876(2), 1876(2), 1877(2), 1877, 1878, 1879, 1880, 1882, 1887(2), 1895, *apéndice*

Bell³⁹, Louis (*n.* Chester, New Hampshire, Estados Unidos, 1864; *m.* 1923). 1892, 1896, 1897, *apéndice*

Bellis⁴⁰, 1891

Beltrami⁴¹, Eugenio (*n.* Cremona, Italia, 1835; *m.* Roma, Italia, 1899). 1889

Bendurff⁴², Hans (*n.* Zurich, Suiza, 1870; *m.* Graz, Austria, 1953). 1899

Benne⁴³, Abraham (*n.* Inglaterra, 1750; *m.* 1799). 1786-87, 1787, 1787-99, 1802, 1805

Bennet⁴⁴, Alfred Rosling (*n.* Londres, Inglaterra, 1850; *m.* 1928). 1880, 1881, 1882, 1891, 1895

Benoit⁴⁵, Justin-Mirande René (*n.* Montpellier, Francia, 1844; *m.* Dijon, Francia, 1922). 1873, 1884(2)

Benx⁴⁶, Karl Friedrich (*n.* Karlsruhe, Alemania, 1844; *m.* Ladenburg, cerca de Mannheim, Alemania, 1929). 1893

Berg⁴⁷, Ernst Julius (*n.* Suecia, 1871; *m.* 1941). 1897, *apéndice*

Bergman⁴⁸, Torbern Olof (*n.* Katrineberg, Suecia, 1735; *m.* Medevi, Suecia, 1784). 1764, 1766, 1783

Berliner⁴⁹, Enile (*n.* Hanover, Alemania, 1851; *m.* Washington, Filadelfia, Estados Unidos, 1929). 1877, 1878, 1887, 1888, 1891, 1895

Bernoulli⁵⁰, Daniel (*n.* Groningen, Países Bajos, 1700; *m.* Basilea, Suiza, 1782). 1743, 1746, 1746, 1757, 1817

Bernoulli⁵¹, Jakob (o Jacques) I (*n.* Basilea, Suiza, 1654; *m.* Basilea, 1703). 1817

Bernoulli⁵², Johann (o Jean) I (*n.* Basilea, Suiza, 1667; *m.* Basilea, 1748). 1701, 1719

Bernoulli⁵³, Johann (o Jean) II (*n.* Basilea, Suiza, 1710; *m.* Basilea, 1790). 1746, 1746

Bernstein⁵⁴, 1868

Bertholm⁵⁵, Pierre (*n.* Lyons, Francia, 1741; *m.* Lyons, 1800). *ca.* 1765, 1780, 1783

Bertin⁵⁶, Pierre, Augustine (*n.* Besancon, Francia, 1818; *m.* 1884). *apéndice*

Bertrand⁵⁷, Joseph Louis François (*n.* París, Francia, 1822; *m.* París, 1900). 1890

Bertzelius⁵⁸, Jons Jacob (*n.* Väversunda, Östergötland, Suecia, 1779; *m.* Estocolmo, Suecia, 1848). 1800, 1804, 1814, 1817, 1819, 1873

Bessel⁵⁹, Friedrich Wilhelm (*n.* Minden, Alemania, 1784; *m.* Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1846). 1817

Bevis⁶⁰ (o Bevans), John (*n.* Tenby, Inglaterra, 1693; *m.* 1771). 1746, 1746

Berold, William von (véase William von Herold)

Bianco⁶¹, Andrea, 1436

Bichat⁶², Ernest Adolphe (*n.* Lunéville, Francia, 1845; *m.* Nancy, Francia, 1905). 1885(2)

Bidwell⁶³, Sheilford (*n.* Thetford, Inglaterra, 1848; *m.* 1909). 1880, 1881, 1882, 1886

Bigelow⁶⁴, Frank Hagar (*n.* Concord, Massachusetts, Estados Unidos, 1851). 1889

Blot⁶⁵, Jean-Baptiste (*n.* París, Francia, 1774; *m.* París, 1862). 1791, 1801, 1891, 1804(2), 1816, 1820, 1822, 1826, 1858

Birkeland⁶⁶, Olaf Kristian (*n.* Oslo, Noruega, 1867; *m.* Tokio, Japón, 1917). 1896, *apéndice*

Bischof⁶⁷, 1802

Bjerknes⁶⁸, Carl Anton (*n.* Christiania [después Kristiania, ahora Oslo], Noruega, 1825; *m.* Kristiana, 1903). 1875, 1875-80, 1882

Bjerknes⁶⁹, Vilhelm Frimann Koren (*n.* Christiania [después Kristiania, ahora Oslo], Noruega, 1862; *m.* Oslo, 1951). 1875-80, 1889-91, 1891, 1895

Blake⁷⁰, Francis (*n.* Needham, Massachusetts, Estados Unidos, 1850; *m.* 1913). 1878, 1879

Blakesley⁷¹, Thomas H. (*n.* Inglaterra, 1847; *m.* 1929). 1899, *apéndice*

Blathy⁷², Otto Titus (Hungría), 1885

Blondel⁷³, André Eugène (*n.* Dijon, Francia, 1863; *m.* París, Francia, 1938). 1892, *apéndice*

Blondlat⁷⁴, René-Prospér (*n.* Nancy, Francia, 1849; *m.* Nancy, 1930). 1881, 1885, 1889, *apéndice*

Boerhaave⁷⁵, Hermann (*n.* Vornhout, Países Bajos, 1668; *m.* Leiden, Países Bajos, 1738). 1737-38, 1740, 1752, 1758

Bohr⁷⁶, Niels Henrik David (*n.* Copenhague, Dinamarca, 1885; *m.* Copenhague, 1962). 1883⁶⁰

Dalton⁷⁷, Francis John (*n.* Inglaterra, 1831; *m.* 1887). 1883-86

Boltzmann⁷⁸, Ludwig (*n.* Viena, Austria, 1844; *m.* Duino, cerca de Trieste, Italia, 1906). 1872, 1875, 1883, 1891-93, 1895, 1897, 1898

Bonaparte⁷⁹, Napoleon (*n.* Ajaccio, Córcega, 1769; *m.* St. Helena, Francia, 1821). 1795, 1801, 1891, 1803

Bordo⁸⁰, Louis (*n.* Lyons, Francia, 1700; *m.* Lyons, 1741). *apéndice*

Borel⁸¹, 1879

Bornaghi⁸², William (Inglaterra). 1580, 1622, 1629

Bosch⁸³, Robert August (*n.* 1861; *m.* Stuttgart, Alemania, 1942). *apéndice*

Bose⁸⁴, Georg Mathias (*n.* Leipzig, Alemania, 1710; *m.* Magdeburg, Alemania, 1761). *ca.* 1727, 1738, 1742, 1742, 1744, 1745, 1745(2), 1746(2)

Bose³², Jagadis Chunder (*n.* Mymensingh, Bengala, India [ahora Pakistán oriental], 1858, *m.* Girdih, Bengala, India, 1937), 1895

Boskovic³³, Rudjer J. (*n.* Dubrovnik, Yugoslavia, 1711, *m.* Milan, Italia, 1787), 1748, 1764, 1826, 1844

Boschui³⁴, Johannes (*n.* Breda, Países Bajos, 1831; *m.* Heemstede, Holanda, 1911), *apéndice*

Bostock³⁵, John (*n.* Liverpool, Inglaterra, 1773, *m.* Londres, Inglaterra, 1846), 1818

Boucherot³⁶, Paul (*n.* París, Francia, 1869, *m.* 1943), 1876, *apéndice*

Bouliguier³⁷, 1876

Bourseul³⁸, Charles (*n.* Bruselas, Bélgica, 1829, *m.* St-Céré, Francia, 1912), 1851, 1854, *apéndice*

Bousinesq³⁹, Valentin-Joseph (*n.* St-André-de-Sangonis, Francia, 1842, *m.* París, Francia, 1929), *apéndice*

Bouty⁴⁰, Edmond (*n.* Nant, Francia, 1846, *m.* París, Francia, 1922), 1884-88, 1891, *ca.* 1896

Bowen⁴¹, George T. (*n.* Providence, Rhode Island, Estados Unidos, 1803, *m.* 1828), 1822

Boyle⁴², Robert (*n.* Lismore, Irlanda, 1627, *m.* Londres, Inglaterra, 1691), 1650, 1661, 1667, 1675, *ca.* 1680, 1796, 1799

Bradius⁴³, Joseph, 1767

Brackett⁴⁴, 1885ⁿ

Brage⁴⁵, William Henry (*n.* Westward, Cumberland, Inglaterra, 1862, *m.* Londres, Inglaterra, 1942), 1886-1904

Bradley⁴⁶, Charles Schenck (*n.* Victor, Nueva York, Estados Unidos, 1853; *m.* 1929), 1885

Bramah⁴⁷, Joseph (*n.* Stainborough, Inglaterra, 1748, *m.* 1814), *apéndice*

Brandt⁴⁸, Georg (*n.* Riddarhyttan, Suecia, 1694, *m.* Estocolmo, Suecia, 1768), 1735, 1748

Branly⁴⁹, Edouard (*n.* Amiens, Francia, 1844, *m.* París, Francia, 1940), 1890, 1891, 1894, 1895, 1896

Braun⁵⁰, Karl Ferdinand (*n.* Fulda, Alemania, 1850; *m.* Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos, 1918), 1874, 1897, 1898(2), 1899(2)

Braun⁵¹, Wunihald *apéndice*

Bredig⁵², Georg (*n.* Glogau, Polonia, 1868; *m.* Nueva York, Estados Unidos, 1944), *apéndice*

Bréguet⁵³, Antoine (*n.* París, Francia, 1851; *m.* 1882), 1878, *apéndice*

Bréguet⁵⁴, Louis-François-Clement (*n.* París, Francia, 1804, *m.* París, 1883), 1838-45, 1841, 1846, *ca.* 1849

Bremer⁵⁵, 1889, 1898

Brett⁵⁶, Jacob (Inglaterra), 1845, 1850, 1851, 1856

Brett⁵⁷, John Watkins (*n.* Bristol, Inglaterra, 1805, *m.* 1863), 1845, 1850, 1851, 1858

Brewster⁵⁸, David (*n.* Jedburgh, Escocia, 1781; *m.* Allery, Melrose, Escocia, 1868), *ca.* 1841, 1841

Bright⁵⁹, Charles Tilston (*n.* Londres, Inglaterra, 1832, *m.* Kent, Inglaterra, 1888), 1853, 1855, 1858, 1861, 1861-74, *apéndice*

Brinckerhoff⁶⁰, Henry Marton (*n.* Fishkill-on-Hudson, Nueva York, Estados Unidos, 1868, *m.* 1949), 1894

Brooks⁶¹, David, 1887

Brooks⁶², Morgan (*n.* Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1861; *m.* 1947), 1896

Brongniart⁶³, Alexandre (*n.* París, Francia, 1770, *m.* París, 1847), 1819

Brown⁶⁴, John Allan (*n.* Dumfries, Escocia, 1817; *m.* 1879), 1857, 1873, *apéndice*

Browne⁶⁵, Thomas (*n.* Londres, Inglaterra, 1605; *m.* Norwich, Inglaterra, 1682), 1646

Brugman⁶⁶ (o Bruggans), Schald, 1778

Brugnotell⁶⁷, Luigi Cinsparo, 1805

Brush⁶⁸, Charles Francis (*n.* Euclid, Ohio, Estados Unidos, 1849, *m.* Cleveland, Estados Unidos, 1929), *ca.* 1875, 1875, 1876, 1877, 1878(2), 1879(4), 1880(2), 1884, 1885, 1889(2), 1892, 1899

Buddle⁶⁹, Emil Arnold (*n.* Geldern, Alemania, 1842, *m.* Feldafing, Alemania, 1921), 1880, 1889, *apéndice*

Buff⁷⁰, Heinrich Ludwig (*n.* Rödellheim, Alemania, 1805; *m.* Giessen, Alemania, 1878), *ca.* 1857, 1857

Buffin⁷¹, Georges-Louis Leclerc, Comte de (*n.* Monthard, Francia, 1707; *m.* París, Francia, 1788), 1751, 1752

Bunsen⁷², Robert Wilhelm Eberhard (*n.* Göttingen, Alemania, 1811; *m.* Heidelberg, Alemania, 1899), 1840(2), 1842, 1843, 1852

Burch⁷³, George James (*n.* Inglaterra, 1852; *m.* 1914), *apéndice*

Burgin⁷⁴, Emil, *apéndice*

- C -

C. M.⁵², 1753

Cabeo⁷⁵, Niccolò (*n.* Ferrara, Italia, 1586; *m.* Génova, Italia, 1650), *siglo 17*, 1629, 1667, 1796(2), 1745, 1758

Cabol⁷⁶, Sebastian (*n.* Bristol, Inglaterra, *ca.* 1476; *m.* Londres, Inglaterra, 1557), 1497

Cahill⁷⁷, Thaddeus (*n.* Mount Zion, Iowa, Estados Unidos, 1867; *m.* Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1934), *apéndice*

Caldillo⁷⁸ (*fl.* siglo 4), *ca.* 370 aC.ⁿ, *siglo 4*

Caldani⁷⁹, Leopoldo Marcantonio (*n.* Bolonia, Italia, 1725, *m.* Padua, Italia, 1813), 1775

Callan⁸⁰, Nicholas (*n.* cerca de Dundalk, Irlanda, 1799; *m.* Maynooth, Irlanda, 1864), 1832, 1836, 1838, 1866

Callahan⁸¹, E. A., 1869

Callender⁸², W. D., 1881

Camby⁸³, Henri Prudence (*n.* Troyes, Francia, 1787, *m.* 1847), *apéndice*

Canton⁸⁴, John (*n.* Stroud, Gloucestershire, Inglaterra, 1718; *m.* Londres, Inglaterra, 1772), 1735, 1747, 1748, 1750, 1751, 1752, 1753, 1754, 1754, 1755(2), 1759, 1759, 1762, 1766, 1775

Caraffa⁸⁵, Giovanni (*n.* 1715, *m.* 1768), 1758

- Cardano**³⁴, Girolamo (n. Pavia, Italia, 1501; m. Roma, Italia, 1576), 1533, 1544, ca. 1550, 1550, 1551, 1576
- Cardew**³¹, Philip (n. 1851, Inglaterra; m. 1910), 1883, 1894, 1898, *apéndice*
- Carey**²³, George R., 1875, 1880
- Carhart**⁴⁰, Henry Smith (n. Coeymans, Nueva York, Estados Unidos, 1844; m. 1920), 1895, *apéndice*
- Carlisle**³¹, Anthony (n. Stillington, Durham, Inglaterra, 1768; m. Londres, Inglaterra, 1840), 1800, 1800
- Carnot**³⁴, Nicolas Léonard Sadi (n. París, Francia, 1796; m. París, 1832), 1838, 1876, 1877
- Carpentier**⁴⁰, Jules Adrien Marie Louise (n. París, Francia, 1851; m. 1921), 1881(2), *apéndice*, *apéndice*
- Carpue**⁴⁰, Joseph Constantine (n. Londres, Inglaterra, 1764; m. 1846), 1803
- Cart**⁴⁰, John J. (n. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1861; m. 1932), 1881, 1883-90, 1886, 1899
- Casselli**²³, Giovanni (Italia), 1862
- Castner**⁴⁰, Hamilton Young (n. Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos, 1859; m. 1899), 1807
- Caton**⁴⁰, Richard (n. Inglaterra, 1842; m. 1926), 1875
- Cauchy**³⁴, Augustin-Louis (París, Francia, 1789; m. Sceaux [cerca de París], Francia, 1857), 1880
- Cavallo**³⁴, Tiberius (n. Nápoles, Italia, 1749; m. Londres, Inglaterra, 1809), 1775, 1777, 1780, 1782, 1786, 1786-95, 1787, 1787, 1788, 1793
- Cave**³¹, E., 1751
- Cavendish**³⁴, Henry (n. Niza, Francia, 1731; m. Londres, Inglaterra, 1810), 1771, ca. 1772, 1772, 1774, ca. 1775, 1775, 1776, 1778, 1781, 1783, 1784, 1785, 1787, 1800, 1835, 1837, 1874-79, 1876-79, 1877
- Cazin**⁴⁰, Achille Auguste (n. Perpignan, Francia, 1832; m. París, Francia, 1877), 1877, 1881
- Celstus**³⁴, Anders (n. Uppsala, Suecia, 1701; m. Uppsala, 1744), 1733
- Cesáro**³⁴, Ernesto (n. Nápoles, Italia, 1859; m. Torre Annunziata, Italia, 1906), ca. 1890
- Cigna**⁴⁰, Giovanni Francesco (n. Mondovì, Italia, 1734; m. Turín, Italia, 1790), 1757, 1760-61, 1765, ca. 1767, 1769, 1769
- Clamond**³⁶, 1874, 1879
- Clapeyron**³⁴, Benoit-Pierre-Émile (n. París, Francia, 1799; m. París, 1864), 1877
- Clark**³⁴, Josiah Latimer (n. Great Marlow, Buckinghamshire, Inglaterra, 1822; m. Londres, Inglaterra, 1898), 1858, 1853, 1857, 1861, 1862, 1863, 1868, 1871, 1873, 1885, 1891(2), 1891, 1893(2), *apéndice*(3), *apéndice*
- Clarke**³², C. L., 1884
- Clarke**³², Edward M., 1834, 1835, 1836, 1836, 1842
- Clarke**³¹, Uriah (Inglaterra), 1840
- Clausius**⁴⁰, Rudolf Julius Emanuel (n. Köslin, Prusia [ahora Koszalin, Polonia], 1822; m. Bonn, Alemania, 1888), 1846, 1857, 1859, 1875, 1876, 1877, 1880, 1880(2), 1895, *apéndice*
- Cohn**⁴⁰, Emil (n. Neustrelitz, Alemania, 1854; m. Ringgenberg, Suiza, 1944), 1888-92
- Collier**³⁴, 1752
- Collinson**³¹, Peter (n. Londres, Inglaterra, ca. 1693; m. Mill Hill, Middlesex, Inglaterra, 1768), 1747, 1750, 1751, 1751, 1752(2), 1756
- Colin**³⁴, Cristobal (n. Génova[?], Italia, 1451[?]; m. Valladolid, España, 1506), 1492, 1493
- Colt**⁴⁰, Samuel (n. Hartford, Connecticut, Estados Unidos, 1814; m. Hartford, 1862), 1843, *apéndice*
- Colton**⁴⁰, Gardner Quincy (n. Georgia, Vermont, Estados Unidos, 1814; m. Rotterdam, Holanda, 1898), 1847
- Conrad**⁴⁰, Conrad (n. Münchaurach, Alemania, 1827; m. Nuremberg, Alemania, 1901), *apéndice*
- Cooke**⁴⁰, William Fothergill (n. Ealing, Middlesex, Inglaterra, 1806; m. 1879), 1836, 1836, 1837, 1838, 1838, 1840, ca. 1841, 1842, 1843, 1844, 1844, 1845, 1846
- Cornell**⁴⁰, Ezra (n. Westchester, Nueva York, Estados Unidos, 1807; m. 1874), ca. 1849
- Cornu**⁴⁰, Marie Alfred (n. Orléans, Francia, 1841; m. Romorantin, Francia, 1902), 1872, ca. 1875
- Coudres**, Theodor (véase Theodor Des Coudres)
- Coulomb**³⁴, Charles Augustin (n. Angoulême, Francia, 1736; m. París, Francia, 1806), 1777, 1779, 1784, 1785, 1785-86, 1787, 1787(2), 1787-88, 1788-90, 1789, 1790, 1791, ca. 1800, 1801, 1813, 1824, 1828, 1843, 1843(2), 1848, 1856, 1875
- Cowles**⁶², Alfred, 1885
- Cowles**⁶², Eugene, 1885
- Coxe**²³, J. R., 1816
- Crocker**, Francis H., 1886, 1894
- Crompton**⁴⁰, Rookes Evelyn Hell (n. Reino Unido, 1845; m. Ripon, Inglaterra, 1940), 1878, 1883, 1886, 1888, 1891, *apéndice*
- Crompton**²³, T. R., 1851
- Cronstedt**³⁴, Axel Fredrik (n. Turinge, Suecia, 1722; m. SMer, Suecia, 1765), 1751
- Crookes**³¹, William (n. Londres, Inglaterra, 1832; m. Londres, 1919), 1858⁶, 1873, 1875, 1875, 1879, 1880, 1881, 1886, 1892, 1892(2), 1895, 1896, 1897, 1898, 1898
- Crosby**⁴⁰, Oscar T., 1892
- Cross**⁴⁰, Charles Frederick (n. Brentford, Middlesex, Inglaterra, 1855; m. Hove, Inglaterra, 1935), 1878
- Cross**³⁸, Charles Robert (n. Troy, Nueva York, Estados Unidos, 1848; m. Brookline, Massachusetts, Estados Unidos, 1921), 1871, 1882
- Cruikshank**⁴⁰, William Cumberland (n. Edinburgo, Escocia, 1745; m. 1800), 1800, 1808, 1828
- Cumming**³¹, James (n. Londres, Inglaterra, 1777; m. North Runcion, Norfolk, Inglaterra, 1861), 1820, 1821, 1823, 1827
- Cunaeus**⁴⁰, Andreas (fl. ca. 1745, Leiden, Países Bajos), 1746(2)
- Curie**⁴⁰, Jacques-Paul (n. París, Francia, 1855; m. 1941), 1880, 1880(2), 1881, 1882, 1898

Curie³¹, Marie (Maria Skłodowska) (n. Varsovia, Polonia, 1867; m. Sancellemoz, Francia, 1934), 1894, 1898(2), 1899, 1899, 1899

Curie³¹, Pierre (n. París, Francia, 1859; m. París, 1906), 1880, 1889(2), 1881, 1889(2), 1894, 1895, 1896, 1898, 1898, 1899, 1899

Curted²⁵, 1802

Curtis, Charles Gordon (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1860; m. Central Islip, Nueva York, Estados Unidos, 1953), 1886

Cusa³¹, Nicholas (o Nikolaus von Cusa, Nicolaus Cusanus) (n. Kues, Moselle, Alemania, ca. 1401; m. Todi, Umbria, Italia, 1464), 1450

Cuthbertson⁴⁰, John (1/2ª mitad del siglo 18, Amsterdam, Países Bajos y Londres, Inglaterra), 1769, 1785, 1785, 1789, 1796, 1797

Cuttriss⁴⁰, C., 1869

Cusler³¹, Georges (n. Monbeliard, Württemberg, 1769; m. París, Francia, 1832), 1804

- Ch -

Changy²⁵, 1856

Chappe⁴⁰, Claude (n. Brulon, Francia, 1763; m. París, Francia, 1805), 1790, 1791, 1792, 1794, 1794, 1798, 1800, 1809

Chappe⁴⁰, Ignace (Francia), 1791, 1792

Charles II⁴, rey de Inglaterra (n. Londres, Inglaterra, 1630; m. Londres, 1685), 1660, 1661

Children⁴⁰, John George (n. Tunbridge, Inglaterra, 1777; m. 1852), 1809, 1809-15, 1813, 1815

Chladni³¹, Ernst Lorenz Friedrich (n. Wittenberg, Alemania, 1756; m. Breslau, Alemania, 1827), 1831

Christie³¹, Samuel Hunter (n. Londres, Inglaterra, 1784; m. Twickenham, Londres, 1865), 1821, 1823, 1824, 1824-25, 1826, 1831, 1833, 1843

- D -

Daguerre⁴⁰, Louis Jacques Mande (n. Cormeilles, Francia, 1789; m. Bry-sur-Mme, cerca de París, Francia, 1851), 1839

Dakeyne⁵¹, E., 1840⁶

Dakeyne⁵¹, J., 1840⁶

Dal Negro⁵², Salvatore (Italia), 1830, 1832

Dalbard³¹, Thomas François (n. Crannes, Francia, 1703; m. París, Francia, 1779), 1751, 1752(2), 1752, 1753, 1756

Dalton³¹, John (n. Eaglesfield, Cumberland, Inglaterra, 1766; m. Manchester, Inglaterra, 1844), 1787, 1793, 1802, 1809

Dana³¹, James Freeman (n. New Hampshire, Estados Unidos, 1793; m. 1827), 1819, 1826

Dancer⁵² (Reino Unido), 1839

Daniel⁴⁰, John (n. Perry County, Alabama, Estados Unidos, 1862; m. 1950), 1896, apéndice

Daniell³¹, John Frederic (n. Londres, Inglaterra, 1790; m. Londres, 1845), 1800, 1836, 1838, 1839(2), 1839, 1840, 1850, 1853, 1859, 1864, 1867, 1873

Darondeau⁴⁰, Benoît-Henri (n. París, Francia, 1805; m. París, 1869), apéndice

Davenport⁴⁰, Thomas (n. Williamstown, Vermont, Estados Unidos, 1802; m. Salisbury, Vermont, 1851), 1831, 1832, 1834, 1835, 1836, 1837, 1839

David⁵¹, Rey, ca. 1050 aC.

Davidson³¹, Robert (Escocia), 1837, 1840, 1840, 1841, 1842

Davies²⁵, W. Langdon, 1891, 1897

Davis³¹, C., 1746

Davis⁴⁰, Daniel, 1838

Davis²⁵, Henry Jameson, 1897

Davy⁴⁰, Edward (n. Ottery, Inglaterra, 1806; m. 1885), 1836, 1837, 1838, 1840

Davy³¹, Humphry (n. Penzance, Inglaterra, 1778; m. Ginebra, Suiza, 1829), 1784, 1801, 1802(2), 1803, 1803, 1804, 1804, 1806, 1807, 1808, 1809, 1809, 1810, 1810, 1813, 1815, 1815, 1820, 1821(2), 1822, 1823, 1824, 1825, 1826, 1826, 1832

Davy³¹, John (n. Penzance, Inglaterra, 1790; m. Ambleside, Inglaterra, 1868), 1832

Day⁵⁸, R. E., 1876, 1877

D'Edelcranz⁴⁰, Abraham Nicholas (n. Aabo, Suecia, 1754; m. Estocolmo, Suecia, 1821), 1722¹, apéndice

De Ferranti⁴⁰, Sebastian Ziani (n. Liverpool, Inglaterra, 1864; m. 1930), 1880, 1882, 1883(2), 1884, 1885, 1887, 1887, 1889, 1889, 1891(2), 1896, apéndice

De Fonseca Benavides⁴⁰, Francisco (n. Lisboa, Portugal, 1835; m. 1911), 1868

De Haldat du Lys⁴⁰, Charles (n. Bourmont, Francia, 1779; m. Nancy, Francia, 1852), 1841

Delman⁴⁰, Johann Rudolf (n. Hagen, Ostfriesland, Países Bajos, 1743; m. 1808), 1779, 1789, ca. 1807

Delany⁴⁰, Patrick Bernard (n. Kings County, Irlanda, 1845; m. 1924), apéndice

De la Rive⁴⁰, Lucien (n. Ginebra, Suiza, 1834), 1890, 1893

Defeuill²⁵, Louis J., 1843

Deleuze⁴⁰, Joseph Philippe François (n. Sisteron, Francia, 1753; m. París, Francia, 1835), 1813

Delezenne⁴⁰, Charles E. (n. Lille, Francia, 1776; m. 1866), apéndice

De Lor⁸ (n. 1703; m. 1779), 1752

Deluc³¹, Jean André (n. Ginebra, Suiza, 1727; m. Windsor, Inglaterra, 1817), 1749, 1804, 1809, 1814

De Malran⁴⁰, Jean Baptiste Dortous (n. Béziers, Francia, 1678; m. 1771), 1733

De Meriteis²⁵, 1878, 1881

Demiocrith⁴⁰ (n. Abdera, Tracia, ca. 465 aC.; m. ca. 370 aC.), ca. 420 aC.

Deprez³¹, Marcel (n. Aillant-sur-Milleron, Francia, 1843; m. Vincennes, Francia, 1918), 1861, 1872, 1878, 1881(3), 1882(2), 1883, 1896-1900, apéndice

- Déri⁵², Max (Hungría), 1885(2)
- De Romas¹⁰, Jacques (n. Nérac, Francia, 1713; m. Nérac, 1776), 1750, 1753
- Desaguliers³¹, John Theophilus (n. La Rochelle, Francia, 1683; m. Londres, Inglaterra, 1744), 1733, 1736, 1738, ca. 1742, 1750
- Desains¹⁰, Paul Quentin (n. St. Quentin, Francia, 1812; m. París, Francia, 1885), apéndice
- Descartes³¹, René du Perrot (n. La Haye, Touraine, Francia, 1596; m. Estocolmo, Suecia, 1650), 1644, 1650, 1745
- Des Coudres¹⁰, Theodor (n. Veckerhagen Weser, Alemania, 1862; m. Leipzig, Alemania, 1926), ca. 1898, apéndice
- Deschanel¹¹, A. P., 1891
- Desormes³¹, Charles-Henri (n. Dijon, Côte-d'Or, Francia, 1777; m. Verberie, Oise, Francia, 1862), 1801, 1803, 1804
- Dessaignes⁵², 1815
- Dewar¹⁰, E., apéndice
- Dewar³¹, James (n. Kincardine-on-Forth, Escocia, 1842; m. Londres, Inglaterra, 1923), 1875, 1893, 1895
- Dickson¹⁰, James Douglas (Jamilton In. Glasgow, Escocia, 1849; m. 1931), 1869(3)
- Diderot³¹, Denis (n. Langres, Francia, 1713; m. París, Francia, 1784), 1751, 1753, apéndice
- Dietrich³¹, 1757
- Dillich⁵⁸, E. O., 1884
- Digby³¹, Kenelm (n. Gayhurst, Buckinghamshire, Inglaterra, 1603; m. Londres, Inglaterra, 1665), 1645
- Dillwyn⁵¹, L. W., 1844
- Dobrowolsky¹⁸, 1890
- Dolbear¹⁰, Amos Emerson (n. Norwich, Connecticut, Estados Unidos, 1837; m. 1910), 1853, 1864, 1873, 1876, 1877(2), 1879, 1881, 1882, 1886, 1889, 1893
- Dom Pedro²⁵, 1876
- Donati³⁴, Giovan Battista (n. Pisa, Italia, 1826; m. Florencia, Italia, 1873), 1872
- Dosloft⁵⁵, 1875
- Dove³¹, Heinrich Wilhelm (n. Liegnitz, Prusia [ahora Legnica, Polonia], 1803; m. Berlín, Alemania, 1879), 1837-49
- Draper³⁴, Henry (n. Virginia, Estados Unidos, 1837; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1882), 1878
- Draper³¹, John William (n. St. Helens, Lancashire, Inglaterra, 1811; m. Hastings-on-Hudson, Nueva York, Estados Unidos, 1882), 1843
- Drude³¹, Paul Karl Ludwig (n. Brunswick, Alemania, 1863; m. Berlín, Alemania, 1906), 1875¹⁰, 1887, 1888-92, 1892(2), 1894(2), 1898
- Drummond, Thomas¹⁰ (n. Edimburgo, Escocia, 1797; m. Dublín, Irlanda, 1840), 1826, 1850
- Duane³⁴, William (n. Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1872; m. Devon, Pensilvania, 1935), 1895, 1896-98, 1897
- Du Bois¹⁰, Henri (n. Velz, Bélgica, 1863; m. Utrecht, Holanda, 1918), 1896, apéndice
- Du Bois-Reymond³¹, Emil Heinrich (n. Berlín, Alemania, 1818; m. Berlín, 1896), ca. 1795¹⁰, 1842¹⁰, 1843, 1843-49, 1851, 1857, 1859, 1861, 1868
- Dubosc¹⁰, Jules (n. París, Francia, 1817; m. París, 1886), 1850, 1857(2), 1858
- Duddell¹⁰, William Du Bois (n. Londres, Inglaterra, 1872; m. Londres, 1917), 1897
- Du Fay³⁴ (o Dufay), Charles-François de Cistermai (n. París, Francia, 1698; m. París, 1739), 1723, 1725, 1728, 1730, 1731, 1732, 1733, 1734, 1736, 1738, ca. 1742, 1744, 1745(2), 1752, 1759
- Duhem¹⁰, Pierre (n. París, Francia, 1861; m. 1916), 1886
- Du Maurier²⁵, George, 1879
- Du Moncel³¹, Théodore Achille Louis (n. París, Francia, 1821; m. París, 1884), 1854, 1855, 1857, 1859, 1864, 1878(2), apéndice
- Duncan¹⁰, Louis (n. Washington, D.C., Estados Unidos, 1862; m. Pelham Manor, Nueva York, Estados Unidos, 1916), 1887-98, 1895, apéndice
- Dutour¹⁰, Etienne François (n. Riom, Francia, 1711; m. Riom, 1784), 1746, apéndice
- Dyr²⁵, Harrison Gray, 1826, 1828, 1837, 1848
- F -
- Ebert¹⁰, Hermann (n. Leipzig, Alemania, 1861; m. Munich, Alemania, 1913), 1897, apéndice
- Eddington³¹, Arthur Stanley (n. Kendal, Inglaterra, 1882; m. Cambridge, Inglaterra, 1944), 1883¹⁰
- Edecranz, Abraham Nicholas d' (véase Abraham Nicholas D'Edecranz)
- Edison³¹, Thomas Alva (n. Milan, Ohio, Estados Unidos, 1847; m. West Orange, Nueva Jersey, Estados Unidos, 1931), 1868, 1869(2), 1870, 1871, 1872, 1873¹⁰, 1874, ca. 1875, 1875, ca. 1876, 1876, 1876(2), 1877(3), 1877, 1878(4), 1879, 1880(6), 1880-81, 1881(7), 1881, 1881-84, 1882(4), 1883(2), ca. 1884, 1884(2), 1884, 1885, 1885, 1886, 1887(4), 1887(2), 1888, 1888, 1888¹⁰, 1889, 1889, 1889-93, ca. 1890, 1890, 1890, 1890-98, 1895, 1896, 1896, 1897, 1899
- Edlund¹⁰, Erik (n. Suecia, 1819; m. 1888), 1875, 1878, 1880, 1884, apéndice
- Edmundson²⁵, Thomas, 1834
- Eickenweyer³¹, Rudolf (n. Attenhamberg, Bavaria, 1831; m. Washington, D.C., Estados Unidos, 1895), 1892, apéndice
- Einhof⁵¹, 1802
- Einstein³¹, Albert (n. Ulm, Alemania, 1879; m. Princeton, Nueva Jersey, Estados Unidos, 1955), 1873¹⁰
- Einthoven³¹, Willem (n. Semarang, Java, 1860; m. Leiden, Países Bajos, 1927), 1895, 1896
- Eisenlohr¹⁰, Wilhelm Friedrich (n. Pforzheim, Alemania, 1799; m. Karlsruhe, Alemania, 1872), 1854
- Eldred¹⁵, Horace H., 1884
- Elias⁵², 1842
- Elizabeth I¹, reina de Inglaterra, 1569

Elkington¹¹, George Richard (n. Inglaterra, 1801; m. 1865), 1840, 1843, 1844

Elkington¹², Henry (n. Inglaterra, 1810; m. 1852), 1840, 1843, 1844

Ellicott¹³, John, 1741, 1748, 1749

Elmén¹⁴, Gustaf Waldemar (n. Estocolmo, Suecia, 1876; m. 1957), apéndice

Elster¹⁵, Johann Philipp Ludwig Julius (n. Bad Blankenburg, Alemania, 1854; m. Bad Harzburg, Alemania, 1920), 1879, 1880, 1884, 1885, 1887, 1889, 1890, 1893, 1894, ca. 1895, 1898, 1899(2), 1899, apéndice

Emmet¹⁶, William LeRoy (n. New Rochelle, Nueva York, Estados Unidos, 1859; m. 1941), 1894

Empédocles¹⁷ de Agragas (n. Agragas [ahora Agrigento, Sicilia], ca. 492 aC.; m. ca. 432 aC.); ca. 450 aC.

Engels¹⁸, Friedrich (n. Harmen, Alemania, 1820; m. Londres, Inglaterra, 1895), 1846^a, 1861, 63^a

Eötvös, Roland, Baron von (o Roland, Barón Eötvös de Váratonamény) (n. Budapest, Hungría, 1848; m. Budapest, 1919), 1895, 1896

Epicuro¹⁹ (n. Samos, Grecia, 341 aC.; m. Atenas, 270 aC.); ca. 300 aC.; ca. 97 aC.; ca. 120

Erman²⁰, Georg Adolph (n. Berlín, Alemania, 1806; m. Berlín, 1877), 1874

Erman²¹, Paul (n. Berlín, Alemania, 1764; m. Berlín, 1851), 1881, 1882, 1822, 1827, apéndice

Eschenhagen²², Johann Friedrich August Max (n. Eisleben, Alemania, 1838; m. Potsdam, Alemania, 1901), 1882-83, 1890, apéndice

Esmark²³, 1820

Ettlinghausen, Johannes Andreas Jakob von (véase Johannes Andreas Jakob Von Ettlinghausen)

Enfer²⁴, Leonhard (n. Basilea, Suiza, 1707; m. San Petersburgo, Rusia, 1783), 1746, 1817, 1833

Eurípides²⁵ (n. Atenas, Grecia, 480 aC.; m. Macedonia, 407 aC.); ca. 450 aC.; ca. 370 aC.

Eustacio²⁶ (n. Constantinopla, ca. 1100; m. ca. 1194), ca. 1150

Evans²⁷, Frederick J. O., 1852

Evans²⁸, Mathew, 1874

Ewbank²⁹, Thomas, 1849

Ewing³⁰, James Alfred (n. Dundee, Escocia, 1855; m. Cambridge, Inglaterra, 1935), 1881, 1882, 1891, 1891, 1896

Exner³¹, Franz Serafin (n. Viena, Austria, 1849; m. Viena, 1926), 1888, apéndice

Fyde³², Samuel (n. Arendal, Noruega, 1866; m. 1940), apéndice

- F -

Fabión³³, Alejandro (n. Nueva España), ca. 1665, 1667

Fabroni³⁴, E. P., 1878

Fabroni³⁴ (o erróneamente Fabroni), Giovanni Valentino Matba (n. Florencia, Italia, 1752; m. Florencia, 1822), 1792, 1799, 1801

Fabry³⁵, Charles (n. Marsella, Francia, 1867; m. París, Francia, 1945), 1899

Fahle³⁶, 1773^b

Faraday³⁷, Michael (n. Newington, Surrey [ahora parte de Southwark, Londres], Inglaterra, 1791; m. Hampton Court, Middlesex, Inglaterra, 1867), ca. 1270^a, 1864, 1810, 1813, 1820, 1821, 1821(2), 1822, 1824^a, 1825, 1825-31, 1826, 1828, 1828, 1830, 1831, 1831, 1832, 1832(3), 1833, 1833, 1834, 1835(2), 1835, 1837, 1837, 1838, 1839, 1839, 1840(3), 1843^b, 1844, 1844(2), 1845, 1845(2), 1846, 1846, 1847, 1848, ca. 1849, ca. 1850, 1850(2), 1851(2), 1852, 1853^b, 1854-63, 1855, 1855(2), 1857, 1858, 1858, 1860, 1862, 1862, 1870, 1872, 1873, ca. 1875, 1878, 1879(3), 1881, 1895, 1896^a, 1898, 1899

Fardely³⁸, William (n. Ripon, Inglaterra, 1810; m. Mannheim, Alemania, 1869), ca. 1841, 1842, 1844, 1846-47, 1851, 1856

Farnier³⁹, Moses Gerrish (n. Boscawen, New Hampshire, Estados Unidos, 1820; m. Chicago, Illinois, Estados Unidos, 1893), 1845, 1847(2), 1848, 1851, 1855, 1858-59, 1859, 1866, 1867, 1868, 1875

Faure⁴⁰, Camille A., 1881, 1881

Favre⁴¹, Pierre Antoine (n. Lyons, Francia, 1813; m. Marsella, Francia, 1880), 1857, apéndice

Fechner⁴², Gustav Theodor (n. Gross-Särchen, cerca de Halle, Alemania, 1801; m. Leipzig, Alemania, 1887), 1829, 1830, 1831

Feddervsen⁴³, Berend Wilhelm (n. Schleswig, Alemania, 1832; m. Leipzig, Alemania, 1918), 1857

Feltz⁴⁴, Wilhelm Emil (n. Ludwigsburg, Alemania, 1842; m. Stuttgart, Alemania, 1898), ca. 1867, 1875(2), 1884, 1888, 1892(2), 1895

Ferguson⁴⁵, James (n. Rothiemay, Banffshire, Escocia, 1710; m. Londres, Inglaterra, 1776), 1770

Ferranti, Sebastian Ziani de (véase Sebastian Ziani De Ferranti)

Ferraris⁴⁶, Galileo (n. Livorno, Vercellese, Italia, 1847; m. Turín, Italia, 1897), 1872, 1879, 1885, 1886(2), 1888, 1897

Fery⁴⁷, Charles (n. París, Francia, 1865; m. París, 1935), apéndice

Fessel⁴⁸, 1858

Fessenden⁴⁹, Reginald Aubrey (n. Milton, Quebec, Canadá, 1866; m. Hamilton, Bermudas, 1932), 1899

Feussner⁵⁰, Karl (n. Rinteln-Weser, Alemania, 1855; m. Berlín, Alemania, 1915), 1899(2), apéndice

Felino⁵¹, Marsilio (o Felinus, Marcifeus) (n. Figline, Toscana, 1433; m. Careggi, cerca de Florencia, Italia, 1499), ca. 1475

Felinus, Marcifeus (véase Marsilio Felino)

Feld⁵², Cyrus West (n. Stockbridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1819; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1892), 1854, 1856, 1857, 1858, 1865, 1866

Field⁵³, Stephen Dudley (n. Stockbridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1846; m. 1913), 1874, 1878, 1879

Fiske⁵⁴, Bradley Allen (n. Lyons, Nueva York, Estados Unidos, 1854; m. 1942), 1883, 1889

- Fitzgerald**³², D. G. (Reino Unido), 1876
- FitzGerald**³¹, George Francis (n. Dublin, Irlanda, 1851; m. Dublin, 1901), 1876, 1880, 1883, 1884(2), 1887, 1893, 1893, 1895(2)
- Fizeau**¹⁴, Armand-Hippolyte-Louis (n. París, Francia, 1819; m. Venteuil, cerca de Jouarre, Francia, 1896), 1848, 1849, 1851-54, 1899
- Fleming**³¹, John Ambrose (n. Lancaster, Inglaterra, 1849; m. Sidmouth, Devon, Inglaterra, 1945), 1877, 1884, 1889, 1895, 1896(2), *apéndice*, *apéndice*
- Flinders**³⁰, Mathew (n. Lincolnshire, Inglaterra, 1774; m. Inglaterra, 1814), *apéndice*
- Floyd**¹¹, Thomas, 1758
- Foucaucourt**¹⁴, Sygerus de, 1269
- Fontaine**⁴⁰, Hippolyte (n. Dijon, Francia, 1833; m. París, Francia, 1917), 1860, 1867, 1871, 1873, *apéndice*
- Fontana**³¹, Felice (n. Pomarolo, Italia, 1730; m. Florencia, Italia, 1805), 1775, 1775
- Föppl**⁴⁰, August Otto (n. Gross-Umsadt, Hessa, Alemania, 1854; m. Armerland am Starnberger See, Alemania, 1924), 1894
- Forbes**⁴⁰, George (n. Inglaterra, 1849; m. 1936), 1888
- Forbes**³², P., 1840
- Forde**⁴⁰, *apéndice*
- Forster**⁴⁰, 1852
- Forster**⁴⁰, Benjamin Meggot (n. Wallbrook, Londres, Inglaterra, 1764; m. 1829), *apéndice*
- Foster**³⁴, Henry (n. Wood Plumpton, Inglaterra, 1797; m. Chagres, River, Istmo de Panamá, 1831), 1824-25, 1826(2), 1828-31, 1834
- Fothergill**¹⁰, John (n. Wensleydale, Inglaterra, 1712; m. Londres, Inglaterra, 1780), 1751
- Foucault**³¹, Jean Bernard Léon (n. París, Francia, 1819; m. París, 1868), 1843, 1844, 1844, 1849, 1850, 1855, 1856
- Fourier**³¹, Jean Baptiste Joseph (n. Auxerre, Francia, 1768; m. París, Francia, 1830), 1823, 1827, 1847
- Fourneyron**³⁴, Benoît (n. Saint-Étienne, Loire, Francia, 1802; m. París, Francia, 1867), 1895
- Fowler**⁴⁰, Richard (n. Londres, Inglaterra, 1765; m. Salisbury, Inglaterra, 1863), 1793
- Fox**²⁵, George, 1850
- Fox**⁴⁰, Robert Were (n. Falmouth, Inglaterra, 17889; m. 1877), 1830, 1837, *apéndice*
- Francis**⁴⁰, Samuel Ward (n. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1835; m. Newport, Rhode Island, Estados Unidos, 1886), 1860, 1879
- Frank**³⁴, James (n. Hamburgo, Alemania, 1882; m. Göttingen, Alemania, 1964), 1897³¹
- Franklin**³⁴, Benjamin (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1706; m. Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1790), 1600³¹, 1743, 1743-44, 1744, 1746, 1747, 1747(2), 1748, 1748, 1749, 1749, 1750, 1751(43), 1752(4), 1752, 1753, 1753(5), 1754, ca. 1755, 1756, 1757(2), 1758(3), 1759, 1759(2), 1760, 1761, 1764, 1766, 1766(2), ca. 1767, 1767, 1768, 1769(2), 1771, 1773, 1773, 1775, 1778, 1780(2), 1784, 1784, 1785, 1787, ca. 1795, 1801
- Franklin**⁴⁰, William Suddards (n. Gear City, Kansas, Estados Unidos, 1863; m. Wilmington, Carolina del Norte, Estados Unidos, 1930), 1887-90, 1892-97, *apéndice*
- Frane**³¹, Rudolph, 1853, ca. 1860, 1898
- Frazer**⁴⁰, John Fries (n. Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1812; m. Filadelfia, 1872), ca. 1830
- Freke**⁴⁰, John (n. Londres, Inglaterra, 1688; m. 1756), 1748
- Fresnel**³¹, Augustin-Jean (n. Broglie, Francia, 1788; m. Ville-d'Avray, Francia, 1827), 1814, 1821, 1821, ca. 1826, ca. 1830, 1875, 1880, 1885-87
- Friedel**⁴⁰, Charles (n. Estrasburgo, Francia, 1832; m. Montauban, Francia, 1899), 1882
- Frischen**⁴⁰, Carl Ludwig (n. Bremen, Alemania, 1830; m. Berlin, Alemania, 1890), 1851, 1854, 1865, 1867, 1870, *apéndice*
- Fritts**³⁸, Charles D. (Estados Unidos), 1883, 1889
- Frode**³⁵ (el Sabio), ca. 1108
- Froment**⁴⁰, Paul-Gustave (n. París, Francia, 1815; m. 1865), 1844, 1844-48, 1847, 1883
- Fuller**³⁵, J. C., 1853
- G -
- Gale**³¹, 1832
- Galeno**³¹ (n. Pergamun, 129/130; m. 199/200), 1678
- Galliel**³⁴, Galileo (n. Pisa, Italia, 1564; m. Arcetri, cerca de Florencia, Italia, 1642), 1637
- Galvani**³⁴, Luigi (n. Bolonia, Estados Papales, 1737; m. Bolonia, República Cisalpina, 1798), 1771, 1773³¹, 1775, 1780, 1780, 1786, 1787, 1791, 1792, 1792(2), 1793, 1794, 1794, ca. 1795, 1797, 1799
- Gambey**³⁴, Henri-Prudence (n. Troyes, Francia, 1787; m. París, Francia, 1847), 1824
- Gambrell**³², T. E., 1897
- Gassendi**³⁴ (o Cassend), Pierre (n. Champlicier, Provence, Francia, 1592; m. París, Francia, 1655), 1621, 1650
- Gassiot**³⁴, John Peter (n. Londres, Inglaterra, 1797; m. Isla de Wight, Inglaterra, 1877), 1839, 1840, 1843, 1844, 1858, 1860, 1861, 1863
- Gassner**²⁵, Carl, ca. 1887
- Gauguin**⁴⁰, Jean-Mothée (n. Sulhy, Calvados, Francia, 1810; m. St-Martin-des-Entrées, Francia, 1880), 1855, *apéndice*
- Gaulard**⁴⁰, Lucien (n. París, Francia, 1850; m. 1888), 1881(2), 1882, 1884, 1885, 1886, 1887, *apéndice*
- Gauss**³⁴, Carl Friedrich (n. Brunswick, Alemania, 1777; m. Göttingen, Alemania, 1855), 1811³¹, 1826³¹, 1832, 1833(2), 1834, 1834, 1835, 1836, 1836, 1837, 1838, 1838, 1839, 1840(2), 1840, 1842-44, 1856, 1863³¹
- Gautherot**²⁵, Nicholas, 1801, 1803
- Gay-Lussac**³⁴, Joseph Louis (n. St. Léonard, Francia, 1778; m. París, Francia, 1850), 1804, 1805, 1807
- Gelsler**³⁴, Johann Heinrich Wilhelm (n. Ingelsbach, Turingia, Alemania, 1815; m. Bonn, Alemania, 1879), 1855, 1856, 1858, 1869, 1875, 1876, 1880-1915, 1899

Geitel³⁴, F. K. Hans (n. Brunswick, Alemania, 1855; m. Wolfenbüttel, Alemania, 1923), 1880, 1884, 1885, 1887, 1889, 1890, 1893, 1894, ca. 1895, 1898, 1899(2), 1899, *apéndice*

Gellibrand³⁴ (o Gillibrand), Henry (n. Londres, Inglaterra, 1597; m. Londres, 1636), 1622ⁿ, 1629(2), 1634, 1722

Genaille⁴⁰, *apéndice*

Gerland⁴⁰, Anton Werner Ernst (n. Kasel, Alemania, 1838, m. Clusthal, Alemania, 1910), 1887

George III⁴¹, rey de Inglaterra, ca. 1755

Gibbs⁴², John Dixon (n. Reino Unido), 1881, 1882, 1885, 1886, 1887

Gibbs⁴³, Josiah Willard (n. New Haven, Connecticut, Estados Unidos, 1839; m. New Haven, 1903), 1885, 1885-89, 1886(2), 1889

Gilbert³⁴, William (n. Colchester, Essex, Inglaterra, 1544; m. Londres, Inglaterra, 1603), ca. 370 aC., 1590, siglo 17, 1600, 1602, 1609, 1618, 1620, 1641, 1644, 1650, 1651, 1663, 1706, 1709, 1732, 1831

Giorgi⁴¹, Giovanni (n. Lucca, Italia, 1871; m. Castiglione, Italia, 1950), 1886, 1895

Gisborne²⁵, F., 1856

Glass⁴², R. A., ca. 1866

Glazebrook³⁴, Richard Tetley (n. West Derby, Liverpool, Inglaterra, 1854; m. Lymington Common, Inglaterra, 1935), 1876-79, 1882

Gleason⁴⁰, Elliot Perry (n. Westmoreland, Nueva Hampshire, Estados Unidos, 1821; m. 1901), *apéndice*

Goebel⁴, Heinrich, 1854

Goldstein³⁴, Eugen (n. Gleiwitz, Alta Silesia [ahora Gliwice, Polonia], 1850; m. Berlín, Alemania, 1930), 1876, 1880, 1882, 1886, 1898

Goeth⁴⁰, Daniel (n. Hedlington, Northumberland, Inglaterra, 1816; m. cerca de Windsor, Inglaterra, 1889), 1866

Goodwin, Harry Manley (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1870; m. 1949), 1899

Gordon⁴⁰, Andreas (o Andrew) (n. Gofforach, Forfarshire, Escocia, 1712; m. Erfurt, Sajonia, 1751), 1742, 1744, *apéndice*

Gordon¹⁸, J. E. H. (n. 1852; m. 1893), 1886

Gott⁶, 1880

Gould³⁴, Benjamin Apthorp (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1824; m. Cambridge, Massachusetts, 1896), ca. 1868

Gould³, J., 1874

Gounelle³⁴, E., 1849

Gounod⁴⁴, E., 1888

Grätz⁴⁰, Leo (n. Breslau, Alemania [ahora Wrocław, Polonia], 1856; m. Munich, Alemania, 1941), 1881, 1883

Graham³⁴, George (n. cerca de Rigg, Cumberland, Inglaterra, ca. 1674; m. Londres, Inglaterra, 1751), 1722

Grath²⁵, Daniel, 1746, 1746, 1747

Gramme³⁴, Zénobe-Théophile (n. Jehay-Bodegnée, Bélgica, 1826; m. Bois-Colombes, cerca de París, Francia, 1901),

1860, 1867, 1870, 1871(3), 1872, 1873(2), 1873, 1874, 1875, 1876, 1877, 1886

Grassmann³⁴, Herman Günther (n. Stettin, Alemania [ahora Szczecin, Polonia], 1809; m. Stettin, 1877), ca. 1875

'sGravesande³⁴, Willem Jacob (n. 'sHertogenbosch, Países Bajos, 1688; m. Leiden, Países Bajos, 1742), 1732, 1740

Gray³¹, E. W., 1788

Gray⁴⁰, Eliza (n. Cerca de Barnesville, Ohio, Estados Unidos, 1835; m. Newtonville, Massachusetts, Estados Unidos, 1901), 1867, 1869, 1870-72, 1872, 1873, 1875(2), 1876, 1877(2), 1878, 1888

Gray⁴⁰, Thomas (n. Lochgelly, Escocia, 1850; m. 1908), *apéndice*

Gray³⁴ (o Grey), Stephen (n. Canterbury, Inglaterra, 1666; m. Londres, Inglaterra, 1736), 1699-1701, 1706, 1720, 1729, 1731, 1732, 1733, 1734, 1736, 1738, 1745(2)

Green³⁴, George (n. Nottingham, Inglaterra, 1793; m. Sneinton, Nottingham, 1841), 1828, 1847, 1873

Green⁴¹, George F., 1875

Green³⁴, Jacob (n. Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1790; m. Filadelfia, 1841), 1809, 1827

Gren³⁴, 1797, 1799

Griffiths⁴⁰, Ernest Howard (n. Brecon, Inglaterra, 1851; m. Cambridge, Inglaterra, 1932), *apéndice*

Gross⁴⁰, Johann Friedrich (n. 1732; m. 1795), 1776

Grotian³⁴, Otto, 1874

Grotthuss⁴¹, Theodor Christian Johann Dietrich von (n. Leipzig, Alemania, 1785; m. Cieddutz, cerca de Jelgava, Courland, Rusia [ahora Lituania], 1822), 1805, ca. 1810, 1811, 1815, 1816, 1817

Grave³⁴, William Robert (n. Swansea, Gales, 1811; m. Londres, Inglaterra, 1896), 1838, 1839, 1840, 1840, 1842, 1843, 1843, 1845(2), 1846, 1852, 1858, 1858, 1868(2)

Grunnert⁴⁰, Heinrich Gottfried (n. Alemania, 1719; m. ca. 1776), 1747, 1750ⁿ

Guericke³⁴ (o Gericke), Otto von (n. Magdeburg, Alemania, 1602; m. Hamburgo, Alemania, 1686), 1650, 1654, 1663, 1672, 1706(2), 1733

Guitard²⁵, 1850

Guntlich⁴⁰, Ernst Carl Adolf (n. Ahorn cerca de Coburg, Alemania, 1839; m. Berlín, Alemania, 1930), 1898-1924, *apéndice*

Gunter³⁴, Edmund (n. Hertfordshire, Inglaterra, 1581; m. Londres, Inglaterra, 1626), 1580ⁿ, 1622, 1629(2)

Gurney³⁸, Goldsworthy (n. Treator, cerca de Padstow, Cornwall, Inglaterra, 1798; m. Reeds, cerca de Bude, Cornwall, 1875), 1825

- II -

Haas³⁴, Wander Johannes de (n. Eisse, Países Bajos, 1878; m. Bilthoven, Países Bajos, 1960), 1873ⁿ

Hachette³⁴, Jean Nicolas Pierre (n. Mézières, Ardenas, Francia, 1769; m. París, Francia, 1834), 1803, ca. 1809

Haddow⁵¹, 1884

Hagen⁴⁵, Carl Ernst Bessel (*n.* Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1851; *m.* Solin, cerca de Munich, Alemania, 1923), 1885, apéndice

Hagen-Bischoff⁴⁶, Jakob Eduard (*n.* Basilea, Suiza, 1833; *m.* Basilea, 1910), 1885, apéndice

Hales³¹, Stephen (*n.* Bokesbourne, Kent, Inglaterra, 1677; *m.* Teddington, Middlesex, Inglaterra, 1761), 1733, 1748

Hall¹¹, Charles Martin (*n.* Thompson, Ohio, Estados Unidos, 1863; *m.* Daytona, Florida, Estados Unidos, 1914), 1886, 1893

Hall¹⁴, Edwin Herbert (*n.* Great Falls [ahora North Gosham], Maine, Estados Unidos, 1855; *m.* Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1938), 1879, 1889, *ca.* 1883, 1898, apéndice

Haller³, 1775

Halley³⁴, Edmond (*n.* Edmund) (*n.* Londres, Inglaterra, 1656[?]; *m.* Greenwich, Inglaterra, 1743), 1683, 1692, 1698-1700, 1701, 1716, 1751, 1811

Hallwachs³⁴, Wilhelm Ludwig Franz (*n.* Darmstadt, Alemania, 1859; *m.* Dresden, Alemania, 1922), 1888, 1888, 1890

Halske⁴⁶, Johann Georg (*n.* Hamburgo, Alemania, 1814; *m.* Berlín, Alemania, 1890), 1847, 1879

Hamilton³¹, William Rowan (*n.* Dublin, Irlanda, 1805; *m.* Dunsink Observatory [cerca de Dublin], 1865), 1886, 1889

Hammer⁴⁶, William Joseph (*n.* Cressona, Pensilvania, Estados Unidos, 1858; *m.* 1934), 1881, 1883, 1884(2), 1885, 1887, apéndice

Hanke³⁴, Wilhelm Gottlieb (*n.* Ermsleben, Harz, Alemania, 1814; *m.* Leipzig, Alemania, 1899), 1839, 1850, 1856-83, 1858, 1880, *ca.* 1883, 1889

Hansteen³⁴, Christopher (*n.* Christiania [ahora Oslo], Noruega, 1784; *m.* Christiania, 1873), 1811, 1819, 1826, 1826(2), 1841

Hardy⁵¹, Thomas, 1881

Hare³¹, Robert (*n.* Filadelfia, Pensilvania, Estados Unidos, 1781; *m.* Filadelfia, 1858), 1809, 1819, *ca.* 1820, *ca.* 1820, 1821, 1822, 1844

Harris³¹, A. F., 1897

Harris⁴⁶, William Snow (*n.* Plymouth, Inglaterra, 1791; *m.* 1867), 1820, 1834, 1848, 1850-52, 1855, 1856, 1867, apéndice

Hartmann⁴⁶, Wilhelm Eugen (*n.* Nürtingen, Alemania, 1853; *m.* Munich, Alemania, 1915), 1898, apéndice(2)

Hartmann³⁴, Georg (*n.* Eggolsheim, cerca de Forchheim, Alemania, 1489; *m.* Nuremberg, Alemania, 1564), 1544, 1576(2)

Hartaeker³⁴ (*n.* Hartauecker), Nicolaas (*n.* Gouda, Países Bajos, 1656; *m.* Utrecht, Países Bajos, 1725), *ca.* 1710

Hausen³⁵, C. A., 1738, 1743, 1745

Hawksbee³⁴ (*n.* Hawksbee), Francis (*n.* Colchester[?], Inglaterra, *ca.* 1666; *m.* Londres, Inglaterra, 1713), 1703, 1705, 1706, 1706, 1708, 1709, 1712(2), 1713, 1723, 1729, 1732, 1738, 1743, 1751

Hally³⁴, René-Just (*n.* St-Just-en-Chaussée, Oise, Francia, 1743; *m.* Paris, Francia, 1822), 1759, 1785, 1787, 1741, 1803, 1819

Hazard³⁴, Erskine, 1809

Heaviside²⁵, Arthur West, 1885

Heaviside³⁴, Oliver (*n.* Carnden Town, Londres, Inglaterra, 1850; *m.* Paignton, Devonshire, Inglaterra, 1925), 1873, 1876, 1885-87, *ca.* 1886³, 1886(4), 1889³, 1892, 1893³, 1894, 1895, 1899

Heffner-Alteneck³⁴, Friedrich Franz von (*n.* Aschaffenburg, Alemania, 1845; *m.* Berlín, Alemania, 1904), 1873(2), *ca.* 1877, 1878, 1879, 1881, 1884, apéndice

Heffesen¹⁴, 1887

Heimholtz³⁴, Hermann von (*n.* Potsdam, Alemania, 1821; *m.* Berlín, Alemania, 1894), 1845, 1847, 1847, 1849, 1850, 1853³, 1858, 1865, 1870, 1870, 1871, 1872, 1872³, 1874, *ca.* 1875, 1875, 1875, 1877, 1878(2), 1878(3), 1879, 1886, 1886-1915, 1881, 1882-86, 1884, 1886, 1886(2), 1887, 1893, apéndice

Heimont⁴⁶, Franciscus Mercurius van (*n.* Vilvorden, Países Bajos, 1614; *m.* Cologne-Spree, cerca de Berlín, Alemania, 1699), 1650

Heimont⁴⁶, Johannes (o Juan) Baptista van (*n.* Bruselas, Bélgica, 1579; *m.* Bruselas, 1644), 1621, 1634

Hendenburg²⁵, C. F., 1722³

Hendey⁴⁶, William (*n.* Inglaterra; *m.* *ca.* 1779), 1772

Hendey⁴⁶, William Thomas (*n.* Midhurst, Inglaterra, *ca.* 1813; *m.* 1882), 1846, 1851, 1852, apéndice

Henry³⁴, Joseph (*n.* Albany, Nueva York, Estados Unidos, 1797; *m.* Washington, D.C., Estados Unidos, 1878), 1826, 1827, 1828, 1830, 1831(2), 1832, 1834(2), 1835, 1835(2), 1836, 1837, 1838, 1840, 1842, 1848, 1851, 1893

Hermann³⁴, 1868, 1868

Hérault⁴⁶, Paul Louis Toussaint (*n.* Thury-Harcourt, Francia, 1863; *m.* 1914), 1886, 1886, 1893, apéndice

Herschel³⁴, John Frederick William (*n.* Slough, Inglaterra, 1792; *m.* Hawkhurst, Kent, Inglaterra, 1871), 1824, 1825, *ca.* 1830, 1838(2), 1842-44, 1851

Herschel³⁴, William (*n.* Hannover, Alemania, 1738; *m.* Observatory House, Slough, Buckinghamshire, Inglaterra, 1822), 1800

Hertz³², C., 1882

Hertz⁴⁶, Gustav Ludwig (*n.* Hamburgo, Alemania, 1887; *m.* 1975), 1897³

Hertz³⁴, Heinrich Rudolf (*n.* Hamburgo, Alemania, 1857; *m.* Bonn, Alemania, 1894), 1878, 1878, 1879, 1880, 1880-83, 1883, 1884(2), 1885, 1886, 1886, 1887(2), 1887, 1888, 1888(3), 1889, 1889-91, 1890, 1890(3), 1891, 1891, 1891-93, 1892(4), 1893(2), 1894(2), 1895(2), 1896, 1897(2), 1899(2)

Hibbard⁴⁶, Angus Smith (*n.* Milwaukee, Estados Unidos, 1860; *m.* 1945), apéndice

Higgins⁴⁶, William (*n.* Sligo County, Irlanda, 1763; *m.* 1825), 1814

Highton⁴⁶, Henry (*n.* Leicester, Inglaterra, 1816; *m.* 1874), 1852-72, 1872

Hisinger³⁴, Wilhelm (*n.* Skinnskatteberg, Västmanland, Suecia, 1766; *m.* Skinnskatteberg, 1832), 1804

Hittorf³⁴, Johann Wilhelm (*n.* Bonn, Alemania, 1824; *m.* Münster, Westfalia, Alemania, 1914), 1859, 1869, 1875, 1876, 1899

Hjortner³, 1741

Hjorth³¹, Søren (n. Dinamarca, 1801, m. 1870), 1855, 1863, 1867

Hoadly³², Benjamin, 1756

Huang Di³² (fl. 2637 a.C., China), 2637 a.C.

Holborn³³, Ludwig Christian Friedrich (n. Göttingen, Alemania, 1850, m. Berlín, Alemania, 1920), 1887, 1892

Holmes³², Frederick Hales (Inglaterra), 1853, 1856(2), 1857, 1858, 1862, 1867

Holmes³², J. H. (Reino Unido), 1884, 1887

Holmgren³⁰, Albert (n. Suecia, 1821, m. 1905), apéndice

Holt³⁰, Wilhelm (n. Saatel, Alemania, 1836, m. Girschwald, Alemania, 1910), 1865, 1878, apéndice, apéndice

Homero³² (n. siglo 9 a.C., Grecia), siglo 9 a.C.

Hond³⁰, John (n. Moyle, Donegal, Irlanda, 1720, m. 1783), 1772

Hooke³¹, Robert (n. Freshwater, Isla de Wight, Inglaterra, 1635, m. Londres, Inglaterra, 1702), 1684

Hooper³², 1859

Hopkinson³², Edward (Inglaterra), 1883, 1886

Hopkinson³⁰, Francis, 1793

Hopkinson³¹, John (n. Manchester, Inglaterra, 1849, m. Evolva, Suiza, 1898), 1838⁹, 1874, 1877, 1879, 1882, 1883, 1885, 1886, 1890, 1890-98, 1893, apéndice

Hopkinson³¹, Thomas, 1744, 1747, 1747

Houllevigue³⁰, Aimé-Charles-Louis (n. Honfleur, Francia, 1863, m. Marsella, Francia, 1944), 1895, apéndice

House³¹, Royal Earl (n. Rockland, Vermont, Estados Unidos, 1814, m. Bridgeport, Connecticut, Estados Unidos, 1895), 1845

Houston³¹, Edwin James (n. 1847, m. 1914), 1878, 1879(2), 1880(2), 1882, 1885

Hubbard³², Gardiner G., cn. 1875, 1875, 1877

Hughes³⁰, David Edward (n. Londres, Inglaterra, 1831, m. Londres, 1900), 1855, 1857, 1861, 1870, 1875, 1877, 1878(2), 1879, 1880, 1883, 1886, 1887, apéndice

Humboldt³⁴, Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von (n. Berlín, Alemania, 1769, m. Berlín, 1859), 1795, 1796, 1797, 1798, 1799-1804, 1804, 1805(2), 1807, ca. 1822, 1822, 1829, 1829, 1833(2), 1836, 1838, ca. 1840, 1842

Hunter¹⁷, John (n. Inglaterra, 1728, m. 1793), 1773-75, 1775

Hurmuzescu³⁰, Dragomir (n. Rumania, 1865, m. 1934), 1896, 1898, apéndice

Huttin³⁰, 1892

Huxley³⁴, Thomas Henry (n. Ealing, Middlesex, Inglaterra, 1825, m. Hodeslea, Eastbourne, Sussex, Inglaterra, 1895), 1880

Huygens³¹, Christiaan (o Huyghens, Christan), (n. La Haya, Países Bajos, 1629, m. La Haya, 1695), 1690

- I -

Hive³¹, J. J. 1745

Irmisch³⁰, 1886

Irve³¹, Francis, 1883

Ingen-Houze³¹, Jan (n. Breda, Países Bajos, 1730, m. Howood Park, cerca de Calne, Wiltshire, Inglaterra, 1799), 1766, 1767(2), 1773, 1775, 1778, 1779, 1788

Izarn³¹, Joseph, 1804

- J -

Jablochkov, Paul (véase Paul Yablofkov)

Jackson³¹, Charles Thomas (n. Plymouth, Massachusetts, Estados Unidos, 1805, m. Somerville, Massachusetts, Estados Unidos, 1888), 1832, 1832, 1840

Jackson³⁰, Dugald Calchi (n. Kennet Square, Pensilvania, Estados Unidos, 1865, m. 1951), 1893, 1895, 1896, apéndice

Jackson³⁰, Henry Bradwardine (n. Bamsley, Yorkshire, Inglaterra, 1855, m. Haying Island, Hampshire, Inglaterra, 1929), 1890

Jackson³⁰, Herbert (n. Londres, Inglaterra, 1863, m. Hampstead, Inglaterra, 1936), ca. 1893

Jacobi³⁴, Moritz Hermann von (n. Potsdam, Alemania, 1801, m. San Petersburgo, Rusia, 1874), 1832, 1834(2), 1834, 1837, 1837, 1838, 1839, 1841, 1843-46, 1846, 1850, 1852, apéndice

Jäger³¹ (o Jaeger), Carl Christian Friedrich, 1803, 1827

Jalahert³⁰ (o Jallahert), Jean (n. Ginebra, Suiza, 1712, m. Ginebra, 1768), 1748

Jamin³⁰, Jules-Célestin (n. Termes, Francia, 1818, m. París, Francia, 1886), 1858-61, apéndice

Jedlik³¹, Anyos (n. Hungría, 1800, m. 1895), 1861

Jenkin³¹, Henry Charles Fleeming (n. cerca de Kent, Dungeness, Inglaterra, 1833, m. Edinburgo, Escocia, 1895), 1863, 1873, 1882, apéndice, apéndice

Jenkins³⁴, W., 1834

Jervis-Smith³⁰, Frederick J. (n. Taunton, Inglaterra, 1848, m. 1911), apéndice

Johari³¹, 1837

Jochmann³¹, E., 1879

Johnson³¹, J. H., 1853, 1853

Jones³¹, D. E., 1893

Joubert³⁰, Jules-François (n. Fours, Francia, 1814, m. París, Francia, 1910), 1881, 1882-86, 1888

Joule³⁴, James Prescott (n. Salford, cerca de Manchester, Inglaterra, 1818, m. Sale, Inglaterra, 1889), 1837, 1839, 1840(2), 1841, 1842, 1843, 1843, 1847(2), 1857, 1867, 1875-78

- K -

Kand³¹, Emanuel (n. Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1724, m. Königsberg, 1804), 1786, 1822

Kapp¹⁰, Gisbert (*n.* Mauer, cerca de Viena, Austria, 1842; *m.* 1922), *ca.* 1890, 1891, *apéndice*

Kater¹⁰, Henry (*n.* Bristol, Inglaterra, 1777; *m.* Londres, Inglaterra, 1835), *ca.* 1820

Kaufmann¹⁴, Walter (o Walther) (*n.* Elberfeld [Wuppertal], Alemania, 1871; *m.* Freiburg, Alemania, 1947), 1897, 1899

Keith¹⁰, Nathaniel Shepard (*n.* Hoston, Massachusetts, Estados Unidos, 1838; *m.* 1925), 1884, 1884-85, 1884-94

Kelvin, Lord (véase William Thompson)

Kemmler²⁵, William, 1890

Kemp⁵², 1828

Kempe³¹, H. R. 1885-87

Kempe⁵¹, J. E., 1877

Kennard¹⁴, E. H., 1884

Kennelly¹⁴, Arthur Edwin (*n.* Colaba, cerca de Bombay, India, 1861; *m.* Hoston, Massachusetts, Estados Unidos, 1939), 1887, 1889^o, 1893, 1895

Kepler³⁴, Johannes (*n.* Weil der Stadt, Alemania, 1571; *m.* Regensburg, Alemania, 1630), 1609, 1641, 1650, 1663, 1817

Kerr³⁴, John (*n.* Androssan, Ayrshire, Escocia, 1824; *m.* Glasgow, Escocia, 1907), 1875, 1877, 1880, 1880-85, 1885, 1892, 1893, 1896^o

King²⁵, E. A. (*n.* 1824; *m.* 1907), 1845

King⁴⁰, W. F., 1869

Kinnorsley³⁴, Ebenezer (*n.* Gloucester, Inglaterra, 1711; *m.* Pennepack, Pensilvania, Estados Unidos, 1778), 1747, 1752, 1753, 1761, 1763

Kircher³⁴, Adrianus (*n.* Geisa en Ulster, Alemania, *ca.* 1601; *m.* Roma, Italia, 1680), *siglo* 17, 1631, 1638, 1638, 1641, 1646, 1663, *ca.* 1665, 1667

Kirchhoff³⁴, Gustav Robert (*n.* Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1824; *m.* Berlín, Alemania, 1887), 1833, 1843-46, 1844^o, 1845, 1846, 1847, 1848, 1849, 1850, 1857, 1867, 1871, 1872, 1873, 1880, 1886

Kirwan³⁴, Richard (*n.* Cloughballymore, County Galway, Irlanda, 1733[?]; *m.* Dublin, Irlanda, 1812), 1784

Kleist³⁴, Ewald Georg von (*n.* probablemente en Pomerania Prusiana, 1700[?]; *m.* Köslin, Pomerania [ahora Koszalin, Polonia], 1748), 1745, 1746, *ca.* 1748

Klinkosch³⁴, 1776

Knight⁴⁰, Gowan (o Gowin) (bautizado en Corringham, Lincolnshire, Inglaterra, 1713; *m.* Londres, Inglaterra, 1772), *ca.* 1745, 1746, 1748, 1748, 1751, 1752, 1758, 1766, 1772, 1779[2]

Knolauch³⁴, 1851

Knochenhauer³⁴, 1886

Knott⁴⁰, Cargill Gilston (*n.* Penicuik, Escocia, 1856; *m.* Edimburgo, Escocia, 1922), *ca.* 1885, 1887, 1893

Kuhrausch³⁴, Friedrich Wilhelm Georg (*n.* Rinteln, Alemania, 1840; *m.* Marburg, Alemania, 1910), 1868, 1869, 1870, 1874, 1876(2), 1890, 1899

Kohrausch³⁴, Rudolph Herrmann Arndt (*n.* Göttingen, Alemania, 1809; *m.* Erlangen, Alemania, 1858), 1848, 1848-53, 1849, 1856(2), 1857(4), 1884, 1887

König²⁵, Wilhelm (Alemania), *ca.* 250 a.C.n

Kuon Pho⁵² (*n.* China), *ca.* 324

Krarup³⁴, C. E. (Dinamarca), *ca.* 1886ⁿ

Kratzenstein⁴⁰, Christian Gottfried (*n.* Wernigerode, Alemania, 1723; *m.* 1795), 1744, 1745

Krayenhoff¹⁴, Cornelius Rudolphus Theodorus (*n.* Nijmegen, Países Bajos, 1758; *m.* Nijmegen, 1840), 1782, 1783, 1788

Krebs⁴⁰, Artur (*n.* Francia, 1847; *m.* 1935), 1888, 1893

Kremer, Gerhard (véase Gerardus Mercator)

Krizik⁴⁰, *apéndice*

Kruesi⁴⁰, John (*n.* Speicher, Suiza, 1843; *m.* Schenectady, Nueva York, Estados Unidos, 1899), 1871, 1876, 1877, 1882

Kühne³⁴, Wilhelm Friedrich (*n.* Hamburgo, Alemania, 1837; *m.* Heidelberg, Alemania, 1900), 1873, 1873

Kundt³⁴, August Adolph (*n.* Schwerin, Alemania, 1839; *m.* Isradorf, cerca de Lübeck, Alemania, 1894), *ca.* 1879, 1879, 1881, 1892

Kayper³⁴, Gerhard, 1776

- I. -

Lacour³, P., 1890, 1892

Laghi¹⁴, Tommaso, 1775

Lagrange³⁴, Joseph Louis (*n.* Turin, Italia, 1736; *m.* París, Francia, 1813), 1817, 1828, 1873

Lambert³⁴, Johann Heinrich (*n.* Mulhouse, Alsacia, 1728; *m.* Berlín, Alemania, 1777), 1766

Lamétherie³⁴, Jean-Claude de (*n.* La Clavette [Milconnaix], Francia, 1743; *m.* París, Francia, 1817), 1789, *ca.* 1795, *ca.* 1815

Lanont³⁴, Johann von (*n.* Braemar, Escocia, 1805; *m.* Bogenhausen, cerca de Munich, Alemania, 1879), 1842, 1842-44, 1849-58, *ca.* 1860

Laue⁶, 1766

Lane³⁴, Jonathan Homer (*n.* Genesee, Nueva York, Estados Unidos, 1819; *m.* Washington, D.C., Estados Unidos, 1880), *apéndice*

Lane-Fox³, St. George, 1878

Langer²⁵, Carl, 1889

Langevin³⁴, Paul (*n.* París, Francia, 1872; *m.* París, 1946), 1895^o, 1898

Langley³⁴, Samuel Pierpont (*n.* Roxbury [ahora parte de Boston], Massachusetts, Estados Unidos, 1834; *m.* Arken, Carolina del sur, Estados Unidos, 1906), 1878

Laplace³⁴, Pierre Simon (Marqués de), (*n.* Beaumont-en-Auge, Normandía, Francia, 1749; *m.* París, Francia, 1827), 1782, 1801(2), 1813, 1817^o, 1846, *ca.* 1875

Lardner⁴⁰, Dionisius (*n.* Dublin, Irlanda, 1793; *m.* Nápoles, Italia, 1859), 1862

La Rive³⁴, Arthur-Auguste de (*n.* Ginebra [entonces francesa], 1801; *m.* Marsella, Francia, 1873), 1822-28, 1828, 1843, 1836, 1840, 1841-45, 1843, 1854-58

La Rive³¹, Charles-Gaspard de (n. Ginebra, 1776; m. Ginebra [confederación suiza], 1834), 1820, 1829, 1821, 1822, 1822

Larmor³¹, Joseph (n. Magheragall, County Antrim, Irlanda, 1857; m. Holywood, County Down, Irlanda, 1942), 1883, 1893, 1894, 1895, 1897

Laval, Carl Gustaf Patrik de (véase Carl Gustaf Patrik De Laval)

Lavoisier³¹, Antoine-Laurent (n. París, Francia, 1743; m. París, 1794), 1763, 1782, 1784

Leauté³¹, Henry-Charles-Victor-Jacobi (n. Hadelze, Honduras Británicas, 1847; m. París, Francia, 1916), 1895

Le Baillif³¹, Alexander-Claude-Martin (n. St. Fargeau, Francia, 1764; m. 1831), 1827, *apéndice*

Lebedev³¹, Piotr Nikolaievich (n. Moscú, Rusia, 1866; m. Moscú, 1912), 1889-90, 1895, 1896, 1899

Leblanc³¹, Charles Leonard Armand Maurice (n. París, Francia, 1857; m. París, 1923), 1880, 1892, 1894, *apéndice*

Leecher³¹, Ernst (n. Viena, Austria, 1856; m. 1926), *apéndice*

Leclanché³¹, Georges (n. París, Francia, 1839; m. 1882), 1866, 1867, 1873, 1876, *ca.* 1880, *apéndice*

Leclerc, Georges-Louis (véase Comte de Buffon)

Leduc³¹, 1898

Leibnitz³¹, Gottfried Wilhelm (n. Leipzig, Alemania, 1646; m. Hannover, Alemania, 1716), 1748, 1817

Lenery³¹, Louis (n. París, Francia, 1677; m. París, 1743), 1717

Le Moit³¹, A. E. (Francia), 1848

Le Monnier³¹, Louis-Guillaume (n. París, Francia, 1717; m. Montreuil, Francia, 1799), 1746, 1746, 1751, 1752, 1752

Lenard³¹, Philipp (n. Pressburg, Austria-Hungría [ahora Bratislava, Checoslovaquia, 1862; m. Messelhausen, Alemania, 1947), 1892(2), 1892-96, 1893, 1895, 1896, 1899, 1897, 1898, 1898

Lenoir³¹, Jean Joseph Étienne (n. Mussy-la-Ville, Bélgica, 1822; m. Varenne-St. Hilaire, Francia, 1900), 1851, 1855, 1856(2), 1859

Lenz³¹, Heinrich Friedrich Emil (Emil Kristianovich) (n. Dorpat, Rusia [ahora Tartu, Estonia], 1804; m. Roma, Italia, 1865), 1829, 1832, 1834, 1834, 1834-37, 1837, 1838, 1839, 1839, 1840, 1842, 1843(2), 1844, 1844-46, 1847, 1848, *ca.* 1865, 1868

Léotaud³¹, Vincent (n. Diócesis de La Val Louis Embran, Francia, 1595; m. 1672), *siglo* 17, 1668

Lesage³¹, Georges Louis (n. Ginebra, Suiza, 1724; m. Ginebra, 1803), *ca.* 1775

Lichtenberg³¹, Georg Christoph (n. Ober Ramstadt, Alemania, 1742; m. Göttingen, Alemania, 1799), 1775, 1777, 1780

Lindeck³¹, S., *apéndice*

Lindsay³¹, James Bowman (n. Carnyllie, Escocia, 1799; m. 1862), *ca.* 1831, 1854, 1854, 1859

Louville³¹, Joseph (n. St-Omer, Pas-de-Calais, Francia, 1809; m. París, Francia, 1882), 1828-30, 1831, 1845, 1846, 1857

Lippmann³¹, Gabriel Jonas (n. Hollerich, Luxemburgo, 1845; m. en el mar, 1921), 1873, 1873, 1875, 1876, 1876, 1889, 1889, 1895, 1897

Lipschitz³¹, Rudolf Otto Sigismund (n. cerca de Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1832; m. Bonn, Alemania, 1903), 1869

Littiches³¹, George Washington (n. Schuylkill County, Pensilvania, Estados Unidos, 1869; m. 1943), 1896

Lodge³¹, Oliver Joseph (n. Penkhill, Staffordshire, Inglaterra, 1851; m. Lake, cerca de Salisbury, Inglaterra, 1940), 1884, 1886, 1887, 1888, 1891, 1892, 1894(2), 1895, 1896, 1896, 1897, 1898(2), 1898, 1899

Lodyguie³¹, N., 1872, 1874

Lomond³¹, 1787

Lontin³¹, 1874

Loomis³¹, Mahlon (n. Oppenheim, Nueva York, Estados Unidos, 1826; m. Terre Alta, Virginia del oeste, Estados Unidos, 1886), 1860, 1865, 1866, 1870, 1871, 1878, 1897

Lorentz³¹, Hendrik Antoon (n. Arnhem, Países Bajos, 1853; m. Haarlem, Países Bajos, 1928), 1875, 1875^o, *ca.* 1883, 1885-89, 1892, 1895, 1895, 1896, 1897, 1899, *apéndice*

Lorentz³¹, Ludwig Valentin (n. Elsinore, Dinamarca, 1829; m. Copenhague, Dinamarca, 1891), 1857^o, *ca.* 1860, 1867, 1880, *ca.* 1886

Loschmidt³¹, 1897

Lowrey³¹, G. P., 1878

Lucas³¹, William, 1882

Lucrecia Carn, Tito³¹ (n. Italia, *ca.* 95 aC; m. *ca.* 55 aC), *ca.* 50 aC

Ludke³¹, 1881

Ludolf³¹, Christian F. (n. 1707; m. 1763), 1744, 1744, 1747

Luis XV³¹, rey de Francia (n. Versailles, Francia, 1710; m. Versailles, 1774), 1746

Lummer³¹, Otto Richard (n. Gera, Alemania, 1860; m. Breslau, Alemania [ahora Wrocław, Polonia], 1925), 1899, 1899

Lyman³¹, Theodore (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1874; m. Brookline, Massachusetts, Estados Unidos, 1954), 1885^o

- L I -

Lloyd³¹, Humphrey (n. Dublín, Irlanda, 1800; m. Dublín, 1881), 1832, 1835, 1835, 1837, 1838, 1839(2), 1861

- M -

MacCullagh³¹, James (n. cerca de Strabane, County Tyrone, Irlanda, 1809; m. Dublín, Irlanda, 1847), 1880, 1894

Mackie³¹, David, 1843

Magués³¹, 23

Maler³¹, J., 1889

Maintenay³¹, de Montbray, 1750

Maistran, Jean Baptiste Dortous (véase Jean Baptiste Dortous De Maistran)

Mandroux¹⁰, Louis-Victor (*n.* Jouy-en-Josas, Francia, 1843; *m.* 1913), 1875, 1877, 1879, 1882, 1898

Marconi³⁴, Guglielmo (*n.* Bolonia, Italia, 1874; *m.* Roma, Italia, 1937), 1890, 1896, 1891, 1893, 1894, 1894, 1895, 1896, 1896, 1897, 1898, 1899(3)

Marchaux⁵¹, *ca.* 1805

Maréy⁵¹, 1876

Marianini⁵¹, S., 1849

Maricourt, Pierre de (vease Petrus Peregrinus)

Marié-Davy³⁵, Edmé Hippolyte (*n.* Clamecy, Francia, 1820; *m.* Dornecy, Nièvre, Francia, 1893), apéndice

Marks¹⁸, 1893

Marsh³⁴, John, 1629

Marshall¹⁰, Charles, 1752

Martin³⁰, Benjamin (*n.* Worplesdon, Inglaterra, 1704; *m.* 1782), 1746

Martini³⁴, Martin, 1638, 1638

Martin³⁴, Martin (o Martinus) van (*n.* Delft, Países Bajos, 1750; *m.* Haarlem, Países Bajos, 1837), 1776, 1783, 1785(2), 1789, 1792, 1799, 1801, *ca.* 1810, 1822

Muscart³⁴, Eleuthère Élie Nicolas (*n.* Quarnouble, Francia, 1837; *m.* París, Francia, 1908), 1872-82, 1873, 1876, 1877, 1878, 1880(2), 1882-86, 1884(3), 1886, 1887, 1893(2)

Masson³⁴, Antoine-Philibert (*n.* Auxonne, Francia, 1806; *m.* París, Francia, 1860), 1834, 1837, 1838, 1838-45, 1841, 1845, 1846, 1850, 1854

Master John³⁴, 1257

Master Peter de Mahurnecuria⁵¹, 1267-68

Mather²⁵, Richard H., 1885

Mathieu³⁴, Émil Leonard (*n.* Metz, Francia, 1835; *m.* Nancy, Francia, 1890), 1886, 1888

Matteucci³⁴, Carlo (*n.* Forlì, Italia, 1811; *m.* Leghorn, Italia, 1868), 1836, 1838, 1840, 1842, 1842, 1843, 1845, 1850, 1857

Matthiessen¹⁰, Augustus (*n.* Londres, Inglaterra, 1831; *m.* 1870), 1861

Maxim¹⁰, Hiram Percy (*n.* Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos, 1869; *m.* 1936), 1886-87, 1887-88, 1888-90, 1895, 1907, apéndice

Maxim¹⁰, Hiram Stevens (*n.* Ormeville County, Maine, Estados Unidos, 1833; *m.* 1927), apéndice

Maxwell³⁴, James Clerk (*n.* Edimburgo, Escocia, 1831; *m.* Cambridge, Inglaterra, 1879), *ca.* 1270, 1690, 1774, 1828, 1830, 1856, 1858, 1862(2), 1863, 1864(2), 1865, 1867, 1868(3), 1870, 1871(2), 1872, 1873, 1874-79, 1875(3), *ca.* 1876, 1876, 1877(2), 1878, 1879(4), 1880(2), 1881, 1882, 1883, 1884(2), 1885(2), 1886, 1887(2), 1888(3), 1889, 1890(2), 1892(2), 1893¹⁰, 1894, 1895, 1897, 1898

May²⁵, Joseph, 1873

Mayer¹⁰, *ca.* 1875

Mayer³⁴, Alfred Marshall (*n.* Baltimore, Maryland, Estados Unidos, 1836; *m.* Hoboken, Nueva York, Estados Unidos, 1897), 1878, 1882, 1897

Mayer³⁴, Johann Tobias (*n.* Marbach, cerca de Stuttgart, Alemania, 1723; *m.* Göttingen, Alemania, 1762), 1760, 1766, 1767, 1775

Mayer, Julius Robert (*n.* Heilbronn, Württemberg [ahora Baden-Württemberg], Alemania, 1814; *m.* Heilbronn, 1878), 1842, 1845

McClellan²⁵, 1861

McClelland³⁴, J. A., 1896, 1899

Meldinger²⁵, Heinrich, 1850

Meloni³⁴, Macedonio (*n.* Parma, Italia, 1798; *m.* Portici, Italia, 1854), *ca.* 1831

Mendenthal¹⁰, Thomas Corvitt (*n.* Hanoverton, Ohio, Estados Unidos, 1841; *m.* 1924), apéndice

Menon²⁵, 1750

Mercadier¹⁰, Ernest (*n.* Montauban, Francia, 1836; *m.* 1911), 1878, 1897, apéndice

Mercator³⁴, Gerardus (o Kremer, Gerhard) (*n.* Rupelmonde, Flandes, 1512; *m.* Duisburg, Alemania, 1594), 1546, 1576

Meritens (vease De Meritens)

Merrit¹⁰, 1895

Mesmer³⁴, Franz Anton (*n.* Iznang, Alemania, 1734; *m.* Mersburg, Alemania, 1815), 1784

Meucci¹⁰, Antonio (Italia-Cuba), 1849-50

Michell³⁴, John (*n.* Nottinghamshire, Inglaterra, 1724[?]; *m.* Thornhill, cerca de Leeds, Inglaterra, 1793), 1749, 1751, 1751, 1752, 1760, 1784¹⁰

Michelson³⁴, Albert Abraham (*n.* Srelnio, Prusia [ahora Polonia], 1852; *m.* Pasadena, California, 1931), 1881, 1887, 1895

Michelson³⁴, W. A., 1887, 1896

Middleton²⁵, Henry, 1880

Miller³⁴, Oskar von (*n.* Alemania, 1855; *m.* 1934), 1882, 1891, apéndice

Milward³², William, 1851, 1852

Moinet²⁵, 1838

Mojon²⁵, Benedette, 1804

Moleyns²⁵, Frederick de, 1840, 1841

Moli³⁴, Gerard (*n.* Amsterdam, Países Bajos, 1785; *m.* Amsterdam, 1838), 1822, 1828-30, 1830, 1833

Mond³⁴, Ludwig (*n.* Kassel, Alemania, 1839; *m.* Londres, Inglaterra, 1909), 1889

Montgomerie³², 1843

Monroe¹¹, L., 1871

Murray²⁵ (o Murrey, Murray), Robert (*n.* Escocia, 1608[?]; *m.* Londres, Inglaterra, 1673), 1661

Morley¹⁷, W. M. (*n.* Inglaterra, 1856; *m.* 1938), 1888, 1889, 1891

Morgan⁶², J. P., 1878

Morin¹⁰, Jean (*n.* Meung-sur-Loire, Francia, 1705; *m.* Chartres, Francia, 1764), 1742, apéndice

Morley³⁴, Edward Williams (*n.* Newark, Nueva Jersey, Estados Unidos, 1838; *m.* West Hartford, Connecticut, Estados Unidos, 1923), 1887, 1895

Motuzzi¹¹, G., 1753

Morrison⁹, Charles, 1753

Morrison, William, 1891

Morse¹⁰, Samuel Finley Breese (n. Charlestown, Massachusetts, Estados Unidos, 1791, m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1872), 1784, 1832-37, 1834, 1835, 1836, 1837, 1838, 1838, 1839, 1840, 1840, 1842, 1843(2), 1843, 1844, 1845, 1848, 1873, 1892

Moser¹¹, James, 1878

Mossotti¹¹, Ottaviano Fabrizio (n. Novara, Italia, 1791, m. Pisa, Italia, 1863), 1846, 1876

Moses¹², H., 1801

Muirhead¹¹, 1878

Müller¹¹, Johannes Peter (n. Coblenz, Alemania, 1801; m. Berlín, Alemania, 1858), 1842, 1843, 1845

Muncke¹¹, Georg Wilhelm (n. Hillingfeld, cerca de Hameln, Alemania, 1772; m. Grosskmehlen, Alemania, 1847), 1822, 1836, 1836

Munzinger¹¹, 1873

Murdock¹⁰, George John (n. New Berlin, Nueva York, Estados Unidos, 1858; m. 1942), 1879, 1883, ca. 1884, 1885, apéndice

Murphy¹¹, Robert, 1869

Musschenbroek¹¹, Petrus van (n. Leiden, Países Bajos, 1692, m. Leiden, 1761), 1729, 1744, 1745, 1746, 1746(4)

- N -

Nagaoka¹⁰, Hantaro (n. Nagasaki, Japón, 1865; m. Tokyo, Japón, 1950), 1890-98, 1897

Nairne¹¹, Edward (n. Sandwich(?), Inglaterra, 1726; m. Londres, Inglaterra, 1806), 1758, 1772, 1778

Napier¹¹, James, 1844

Necker¹⁰, Louis (n. Ginebra, Suiza, 1730; m. Ginebra, 1804), 1747, apéndice

Neckam¹⁰ (o Neckham), Alexander (n. St. Albans, Inglaterra, 1157; m. Kempsey, Inglaterra, 1217), 1186

Needham¹⁰, Joseph (n. Londres, Inglaterra, 1900), ca. 1150^a

Nielsens¹⁰, Louis Henri Frédéric (n. Louvain, Bélgica, 1814, m. Bruselas, Bélgica, 1886), apéndice

Nernst¹⁰, Hermann Walther (n. Briesen, Prusia [ahora Wabrzezno, Polonia], 1864; m. Bad Muskau, Prusia, 1941), 1887, 1889, 1897, 1897, 1898, apéndice

Neumann¹⁰, Carl Gottfried (n. Königsberg, Prusia [ahora Kaliningrado, URSS], 1832; m. Leipzig, Alemania, 1925), 1868, 1871, 1873-98, 1880

Neumann¹¹, Franz Ernst (n. Joachimsthal, Alemania [ahora Jachymov, Checoslovaquia], 1798; m. Königsberg, Alemania [ahora Kaliningrado, URSS], 1895), 1843-46, 1845, 1845, 1848, 1857, 1870, 1871, 1874, 1875, 1880, 1881

Neville¹¹, F. de, 1884

Newall¹¹, Hugh Frank (n. Gateshead, Inglaterra, 1857; m. Cambridge, Inglaterra, 1944), 1887

Newall¹⁰, Robert Stirling (n. Dundee, Escocia, 1812; m. 1889), 1840, 1851, 1853, 1857, 1860, 1882

Newton¹¹, Isaac (n. Woolsthorpe, Inglaterra, 1642; m. Londres, Inglaterra, 1727), 1675, 1703, 1704, 1708^a, 1761, 1712, 1713, 1749, 1759, 1767, 1771

Niaudet¹¹, Alfred, 1878

Nichols¹⁰, Edward Leamington (n. Leamington, Inglaterra, 1854; m. West Palm Beach, Florida, Estados Unidos, 1937), 1880-81, 1894, 1895

Nicholson¹¹, William (n. Londres, Inglaterra, 1753; m. Londres, Inglaterra, 1815), 1782, 1789, 1796, 1800, 1809

Nichols¹¹, zar de Rusia, 1837

Nipher¹⁰, Francis Eugene (n. Port Byron, Nueva York, Estados Unidos, 1847; m. Kirkwood, Missouri, Estados Unidos, 1927), 1886, 1895, apéndice

Nipkow¹⁰, Paul Gottlieb (n. Lauenburg, Alemania, 1860; m. Berlín, Alemania, 1940), 1883, 1884, 1885, 1889

Nippoldt¹¹, W. A., 1870

Nobili¹¹, Leopoldo (n. Trassilico, Italia, 1784; m. Florencia, Italia, 1835), 1826, 1827, 1828(3), 1829, 1834, 1836

Nollet¹¹, Floris (n. Bruselas, Bélgica, 1794; m. 1853), 1849, 1850, 1852(2), 1853

Nollet¹¹, Jean-Antoine (n. Pimprez, cerca de Noyon, Francia, 1700; m. Paris, Francia, 1770), 1706, 1734, 1745, 1745, 1746, 1746(4), 1748, 1753, 1753, 1754, ca. 1755, 1757(2), 1759, 1760, 1760-61, 1761, 1764, 1765, 1769(2)

Norman¹¹, Robert (n. ca. 1580; Inglaterra), 1544^a, 1576, 1576, 1581

- O -

Odenbach¹⁰, Frederick Louis (n. Rochester, Nueva York, Estados Unidos, 1857; m. Cleveland, Estados Unidos, 1931), 1899

Odier¹⁰, Louis (n. Ginebra, Suiza, 1748; m. Ginebra, 1817), 1773

Oersted¹¹, Hans Christian (n. Rudkøbing, isla de Langeland, Dinamarca, 1777; m. Copenhagen, Dinamarca, 1851), 1803, 1806, 1807, 1812, 1817, 1819(2), 1820, 1820(4), 1821(3), 1822, 1823(2), 1825, 1826, 1827, 1831, 1834, ca. 1849, 1877

Ohm¹¹, Georg Simon (n. Erlangen, Bavaria, 1789; m. Munich, Bavaria, 1854), 1782^a, 1825, 1826, 1827, 1829, 1831, 1832, 1833, 1834, 1836, 1839, 1841, 1841, 1843, 1846, 1848, 1849, 1852, 1864, 1867, 1868, 1873, 1886, 1891, apéndice(2)

Otis¹⁰, Elisha Graves (n. Halifax, Vermont, Estados Unidos, 1811; m. Yonkers, Nueva York, Estados Unidos, 1861), 1853, 1854, 1857

- P -

Paciniotti¹¹, Antonio (n. Pisa, Italia, 1841; m. Pisa, 1912), 1859, 1860, 1863, 1864, 1867, 1869, 1870, 1875

Page⁴⁰, Charles Grafton (*n.* Salem, Massachusetts, Estados Unidos, 1812; *m.* Washington, D.C., Estados Unidos, 1868), 1836, *ca.* 1837, 1837(2), 1838, 1838, 1846, *ca.* 1847, 1847, 1850, 1851, 1854(3), *ca.* 1855, 1867

Palva²⁵, A. de, 1878

Palmieri⁴⁰, Luigi (*n.* Faicchio, Italia, 1807; *m.* Nápoles, Italia, 1896), 1885, *apéndice*

Paracelso³⁴, Teophrastus Philippus Aureolus Bombastus von Hohenheim (*n.* Einsiedeln, Suiza, *ca.* 1493; *m.* Salzhurgo, Austria, 1541), *ca.* 570 *a.C.n.* 1661

Parker⁴⁰, Moses Greely (Dracut, Massachusetts, Estados Unidos, 1842; *m.* 1917), 1883, *apéndice*

Parkes⁴⁰, Alexander (*n.* Birmingham, Inglaterra, 1813; *m.* Londres, Inglaterra, 1890), 1841, 1851

Parry⁴⁰, William Edward (*n.* Bath, Inglaterra, 1790; *m.* Ems, Hesse-Nassau, 1855), 1824-25, 1826, 1834

Parsons⁴⁰, Charles Algernon (*n.* Londres, Inglaterra, 1854; *m.* Kingston, Jamaica, 1931), 1884, 1887, 1888, 1891, 1894

Paschen³⁴, Louis Carl Heinrich Friedrich (*n.* Schwerin, Mecklenburg, Alemania, 1865; *m.* Potsdam, Alemania, 1947), 1885⁶, 1888-89

Patterson²⁵, *apéndice*

Patterson⁴⁰, G. W., 1895

Pearce⁴⁴, C. T. (Inglaterra), 1849

Pearson³⁴, George (*n.* Rotherham, Inglaterra, 1751; *m.* Londres, Inglaterra, 1828), 1797

Peclet⁴⁰, Jean-Claude-Eugène (*n.* Besancon, Francia, 1793; *m.* 1857), 1827, *ca.* 1839

Pellai⁴⁰, Joseph-Solange-Henri (*n.* Grenoble, Francia, 1850; *m.* París, Francia, 1909), 1889, 1890, *apéndice*

Peltier³⁴, Jean Charles Athanase (*n.* Ham, Francia, 1785; *m.* París, Francia, 1845), 1830, 1834, 1836, 1840, 1838, 1898, 1857, *apéndice*

Pepys⁴⁰, William Hasledine (*n.* Londres, Inglaterra, 1775; *m.* 1856), 1802(2), 1804, 1805, 1808, 1809, *ca.* 1822

Perrin³⁴, Jean Baptiste (*n.* Lille, Francia, 1870; *m.* Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1942), 1895, 1897, 1898

Perry²⁵, John, 1879, 1880, 1882, *ca.* 1885(2)

Perry⁶⁶, Steward, 1883

Perasmo²⁵, C. M., 1879

Peregrinus³⁴, Petrus (o Martcourt, Pierre de) (*fl.* *ca.* 1269), 1267-68, 1269, *ca.* 1270, 1558, 1562, 1600

Petavel⁴⁰, Joseph Ernest (*n.* Londres, Inglaterra, 1873; *m.* 1936), 1896

Petrie⁵⁶, W. (*n.* Inglaterra, 1821; *m.* 1904), 1849

Pfund³⁴, 1885⁶

Pickering³⁴, Edward Charles (*n.* Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1846; *m.* Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1919), 1871

Pfaff⁴⁰, Christian Heinrich (*n.* Stuttgart, Alemania, 1773; *m.* Kiel, Alemania, 1852), 1808, *ca.* 1810

Phillips⁴⁰, R., 1821

Pianciani⁴⁰, Giambattista (*n.* Spoleto, Italia, 1784; *m.* 1862), *apéndice*

Picard³⁴, Jean (*n.* La Fleche, Francia, 1620; *m.* París, Francia, 1682), 1675, 1705

Pichou²⁵, 1853

Pixil⁵², Antoine Hippolyte (*n.* Francia, 1808; *m.* 1835), 1831⁶, 1832, 1837, 1838

Plana³⁴, Giovanni (*n.* Voghera, Italia, 1781; *m.* Turin, Italia, 1864), *ca.* 1835

Planck³⁴, Max Karl Ernst Ludwig (*n.* Kiel, Alemania, 1858; *m.* Göttingen, Alemania, 1947), 1878, 1879, 1880-81, 1887, 1887-88, 1891, 1893, 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1899, 1899

Plantá von Sills⁴⁰, Martin (*n.* Euzo, Suiza, 1727; *m.* Marschins, Suiza, 1772), *ca.* 1767, 1767

Planté⁴⁰, Gaston (*n.* Orthez, Francia, 1834; *m.* París, Francia, 1889), 1859, 1878, 1881

Platón³⁴ (*n.* Atenas[?], Grecia, 427 *a.C.*; *m.* Atenas, *ca.* 348 *a.C.*), *ca.* 370 *a.C.*, *siglo* 4, *ca.* 1475

Plinio³⁴ (el viejo), (Gaius Plinius Secundus) (*n.* Como, Italia, *ca.* 23, *m.* Cerca de Pompeya, Italia, 79), *ca.* 500 *a.C.*, *ca.* 79

Plicker³⁴, Julius (*n.* Elberfeld, Alemania, 1801; *m.* Bonn, Alemania, 1868), 1847, 1858, 1869

Plutarco²⁵ (*n.* Queronea, Bencia, *ca.* 46; *m.* después de 119), *ca.* 120, *ca.* 1550, 1600

Poggendorf³⁴, Johann Christian (*n.* Harnburgo, Alemania, 1796; *m.* Berlin, Alemania, 1877), 1820, 1820, 1821, 1821, 1825, 1826, 1833, 1841, 1843, 1854, 1870, *apéndice*, *apéndice*

Poincaré³⁴, Jules Henri (*n.* Nancy, Francia, 1854; *m.* París, Francia, 1912), 1890, 1892, 1894, 1896, 1896

Poisson³⁴, Siméon-Denis (*n.* Pithiviers, Loiret, Francia, 1781; *m.* París, Francia, 1842), 1790⁶, 1791, 1812, 1813, 1824, 1828(2), 1835, 1845, 1846, 1847

Pulk³, James Knox (*n.* Estados Unidos, 1795; *m.* 1849), 1844

Pope⁴⁰, Frank Leonard (*n.* Great Barrington, Massachusetts, Estados Unidos, 1840; *m.* Great Barrington, 1895), 1857-59, 1862, 1863, 1864-66, 1867, 1869(3), 1871, *ca.* 1873, 1875-81, 1879, 1884-93, 1889, 1893, 1893-95, 1894

Popov³⁴, Aleksandr Stepanovich (*n.* Turinsk, Bogoslov, Rusia [ahora Krasnoturinsk, Sverdlovsk oblast, URSS], 1859; *m.* San Petersburgo, Rusia, 1906), 1894, 1895(2), 1895-96, 1896, 1897, 1898, 1899

Porret⁴⁰, Robert (*n.* Londres, Inglaterra, 1783; *m.* 1868), 1816

Porta³⁴, Giambattista della (*n.* Vico Equense, Italia, 1535; *m.* Nápoles, Italia, 1615), *ca.* 1550, 1558, 1589

Porter³, 1882

Potter⁴⁰, Alfred (*n.* París, Francia, 1840; *m.* París, 1905), 1881, *apéndice*, *apéndice*

Pouillet³⁴, Claude-Servais-Mathias (*n.* Cusance, Doubs, Francia, 1790; *m.* París, Francia, 1868), 1837, 1839, 1840

Poulsen⁴⁰, Valdemar (*n.* Copenhague, Dinamarca, 1869; *m.* 1932), 1892(2), 1898

Poynting³⁴, John Henry (*n.* Monion, cerca de Manchester, Inglaterra, 1852; *m.* Birmingham, Inglaterra, 1914), 1884, 1892

Preece¹⁰, William Henry (n. Bryn Helen, Gales, 1834; m. Penrhos, Carnarvon, Gales, 1913). 1854, 1876, 1881, 1885(3), 1885-87, 1889, 1892, 1893, 1898

Prevost¹¹, Pierre (n. Ginebra, Suiza, 1751; m. Ginebra, 1839). 1788

Priestley¹¹, Joseph (n. Birstal Fieldhead, Yorkshire, Inglaterra, 1733; m. Northumberland, Pensilvania, Estados Unidos, 1804). ca. 1748⁶, 1766, 1767, 1772, 1773, 1783, 1785

Prime¹, Thomas, 1814

Pringsheim¹¹, Ernst (n. Breslau, Alemania (ahora Wrocław, Polonia), 1859; m. Breslau, 1917). 1899, 1899

Privat de Molières¹¹, Joseph (n. Tarascon, Houches-du-Rhône, Francia, 1677; m. Paris, Francia, 1742). ca. 1740, 1745

Ptolomeo¹¹ (Claudius Ptolemaeus) (n. Egipto[?], ca. 100; m. ca. 170). ca. 140, 1598

Pulvernacher²⁵, 1847

Pupin¹¹, Michael Idvorsky (n. Idvor, Danat (ahora Yugoslavia), 1858; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1935). 1892, 1893, 1895, 1896, ca. 1897, 1899

Q

Quinke¹¹, Georg Henmann (n. Frankfurt-am-der-Ader, Alemania, 1834; m. Heidelberg, Alemania, 1924). 1859

R

Rallard²², 1838

Ramsden¹¹, Jesse (n. Halifax, Inglaterra, 1735; m. Brighton, Inglaterra, 1800). 1767, 1767

Rankine¹¹, William John Macquorn (n. Edimburgo, Escocia, 1820; m. Glasgow, Escocia, 1872). 1856

Ranull¹¹, François Marie (n. Fournes, Francia, 1830; m. Grenoble, Francia, 1901). ca. 1865

Raplett¹², John, 1879

Rathenau²⁵, Emil (Alemania), 1883, 1893

Rayleigh, Lord (véase John William Strutt)

Rayner²⁵, apéndice

Réaumur¹¹, René-Antoine Ferchault de (n. La Rochelle, Francia, 1683; m. cerca de St-Julien-du-Terroux, Francia, 1757). 1746, 1746

Redmond²⁵, Denis, 1879

Reed¹¹, William, 1863

Reis¹⁰, Johann Philipp (n. Gelnhausen, Alemania, 1834; m. Friedrichsdorf, Alemania, 1874). 1861, 1863, 1883

Renwick¹⁰, James (n. Liverpool, Inglaterra, 1792; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1863). 1826

Rey¹⁰, Jean-Alexandre (n. Ouchy, Suiza, 1861; m. Paris, Francia, 1935). 1896

Reynier¹⁰, Emile, 1877

Ricardo¹¹, John Lewis (n. Inglaterra, 1812; m. 1862). 1846

Richmann¹¹, Georg Wilhelm (n. Pernau, Estonia (ahora Pärnu), 1711; m. San Petersburgo, Rusia, 1753). 1745, 1753, 1757

Riecke¹¹, Eduard (n. Stuttgart, Alemania, 1845; m. Göttingen, Alemania, 1915). 1871, 1875⁹, 1880, 1880-1915, 1881(2), 1885, 1886, 1890, 1891, 1897, 1898, 1899

Riemann¹¹, Georg Friedrich Bernhard (n. Breselenz, cerca de Hannover, Alemania, 1826; m. Selasca, Italia, 1866). 1858, 1877, 1880

Ries¹⁰, Peter Feophil (n. Berlin, Alemania, 1894; m. Berlin, 1883). 1853, 1859, 1886

Righi¹¹, Augusto (n. Bolonia, Italia, 1850; m. Bolonia, 1920). 1872, 1880(2), 1880-85, 1888, 1892(2), 1893, 1893, 1894, 1896, 1897

Ritelle¹¹, E. S., 1857

Ritchie²⁵, William (n. 1790; m. 1837). 1830

Rittenhausen¹⁰, David (n. Paper Mill Run, cerca de Germantown, Pensilvania, Estados Unidos, 1732; m. Filadelfia, Pensilvania, 1796). 1786, 1793(2), 1805

Ritter¹¹, Johann Wilhelm (n. Samitz, cerca de Haynow, Silesia (ahora Chojnów, Polonia), 1776; m. Munich, Alemania, 1810). 1797, 1798, 1799, 1800(2), 1800-1805, 1801(3), 1802, 1805, 1803, 1808, 1827, 1859

Robertson¹⁰, Etienne-Gaspard (n. Liège, Bélgica, 1763; m. Paris, Francia, 1837). 1802

Robtson¹⁰, John (n. Bognhall, Strlingshire, Escocia, 1739; m. Edimburgo, Escocia, 1805). ca. 1769, 1769, 1797

Rockwell¹⁰, Alphonso David (n. New Canaan, Connecticut, Estados Unidos, 1840; m. 1933). 1871, 1890

Rogers¹⁰, James Harris (n. Franklyn, Tennessee, 1850; m. 1929). apéndice

Romagnosi¹, Gian Domenico (n. Salsomaggiore, Italia, 1761; m. Milán, 1835). 1802

Romus, Jacques (véase Jacques De Romus)

Ronalds²⁵, Francis (n. Londres, Inglaterra, 1788; m. 1873). 1814, 1815, 1816, 1823, 1836, 1844

Röntgen¹¹ (o Roentgen), Wilhelm Conrad (n. Lenten im Bergischen (ahora parte de Rentscheid), Rhine Province, Alemania, 1845; m. Munich, Alemania, 1923). 1879, 1888, 1893⁹, 1895, 1896, 1896(7), 1898

Road¹⁰, Odgen Nicholas (n. Danbury, Connecticut, Estados Unidos, 1831; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1902). apéndice

Rosa¹⁰, Edward Bennett (n. Rogersville, Nueva York, Estados Unidos, 1861; m. 1921). apéndice

Roschenschold²⁵, 1860

Ross¹¹, James Clark (n. Londres, Inglaterra, 1800; m. Aylesbury, Inglaterra, 1862). 1831, 1834, 1835, 1838, 1839

Rowland¹¹, Henry Augustus (n. Honesdale, Pensilvania, Estados Unidos, 1848; m. Baltimore, Maryland, Estados Unidos, 1901). 1838⁹, 1873, 1878, 1878, 1879, 1890

Rubeus¹⁰, Heinrich (n. Wiesbaden, Alemania, 1865; m. Berlin, Alemania, 1922). 1891, 1899, apéndice(2)

Rucker¹⁰, Arthur William (n. Clapham, Londres, Inglaterra, 1838; m. Newbury, Inglaterra, 1915). 1890-96

Rühlman¹¹, R., 1872

Rühmkorf³⁴, Heinrich Daniel (n. Hanover, Alemania, 1803; m. París, Francia, 1877). 1836, 1841, 1851, 1851-52, 1852, 1855, 1856, 1857, 1858, 1871, 1876

Rutherford³⁴, Ernest (n. entre las poblaciones de Brightwater y Spring Grove, cerca de Nelson, Nueva Zelanda, 1871; m. Cambridge, Inglaterra, 1937). 1894, 1895, 1896, 1897, 1898, 1898, 1899

Rydberg³¹, Johannes (Janne) Robert (n. Halmstad, Suecia, 1854; m. Lund, Suecia, 1919). 1890

- S -

Sabine³⁴, Edward (n. Dublin, Irlanda, 1788; m. Richmond, Surrey, Inglaterra, 1883). 1826, ca. 1827, 1835, 1835, 1837, 1838, 1839, 1839(2), 1852, 1871

Sabine³⁴, Wallace Clement (n. Richwood, Ohio, Estados Unidos, 1868; m. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos, 1919). 1898

Sachs⁴⁰, Joseph (n. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1870; m. 1946). 1890, ca. 1891, 1892-94, 1892-98, 1892-1902, 1893-98

Sagrar³⁴, Georges M. M. (n. Périgueux, Francia, 1869; m. Meudon, Francia, 1928). 1896-1900, 1898, 1899

Salomón⁵² (fl. ca. 1050 aC), ca. 1850 aC.

Salvá y Campillo³⁸, Francisco (n. Barcelona, España, 1751; m. 1828). 1795, 1798, 1800

Sancto Atuando⁴⁰, Joannes de (n. Tournai, Hainut, Bélgica o St. Amand, Pélève, cerca de Valenciennes, m. ca. 1300). ca. 1150, ca. 1270

Sanders⁵², Thomas, ca. 1875, 1875, 1877

Sanuto³ (o Sanudo), Lívio (n. Venecia, Italia, 1532[?]; m. 1588[?]). 1588

Sarasin⁴⁰, E., 1890, 1893

Sarpi³¹, Paolo (n. Venecia, Italia, 1552; m. Venecia, 1623). ca. 1590, 1616

Saussure³⁴, Horace Bénédicte de (n. cerca de Ginebra, [Conches], Suiza, 1740; m. Ginebra, 1799). 1767, 1768, 1778, 1787, 1804

Savart³⁴, Félix (n. Mézières, Francia, 1791; m. París, Francia, 1841). 1820, 1858

Savary⁴⁰, Félix (n. París, Francia, 1797; m. Eslagel, Francia, 1841). 1823, 1827, 1835, 1840

Savelyev³⁴, A. S., 1844-46

Sawyer³⁵, William E., 1880

Saxton³⁴, Joseph (n. Huntingdon, Pensilvania, Estados Unidos, 1799; m. Washington, D.C., Estados Unidos, 1873). 1832, 1833, 1834(2), 1834, 1835, 1836

Saybolt⁵³, George M., 1879

Schiller³⁴, N. N., 1874

Schilling³⁵, G. W., 1769

Schilling³⁴, J. J., ca. 1727

Schilling³, Pavel L. (n. Rusia, 1786; m. Rusia, 1837). 1811, 1812, 1825, 1832, 1835, 1836, 1837, 1837

Schneller⁴⁰, George Otto (n. Nüremberg, Alemania, 1843; m. Ansonia, Connecticut, Estados Unidos, 1895), apéndice

Schmidt³⁴, Gerhard Carl Nathaniel (n. Londres, Inglaterra, 1865; m. Münster, Alemania, 1949). 1898

Schuckert⁴⁰, Johann Siegmund (n. Nüremberg, Alemania, 1846; m. 1895), apéndice

Schnster³⁴, Arthur (n. Frankfurt, Alemania, 1851; m. Yoldall, cerca de Twyford, Berkshire, Inglaterra, 1934). 1881, ca. 1888, 1889, 1896, 1897, apéndice

Schwahe³⁴, Samuel Heinrich (n. Dessau, Alemania, 1789; m. Dessau, 1875), ca. 1860

Schweigger³⁵, Johann Salomo Christoph (n. Erlangen, Bavaria, 1779; m. Halle, Prusia, 1857). 1808, 1811, 1817, 1820, 1820, 1821, 1823, 1828(2), 1828, 1832

Schweitzer³⁴, 1822

Scwend⁵³, Carl, 1866

Searesby⁴⁰, William (n. Cropton, cerca de Whitby, Inglaterra, 1789; m. Torquay, Inglaterra, 1857). 1839-52, 1850, 1859

Scott³, Léon, 1877, 1887, 1895

Scott³¹, William Hardman (n. Inglaterra, m. 1938), 1894

Scribner³, Charles E., 1878

Scyffer⁵², 1848

Secheek³⁴, Thomas (n. Tallinn, Estonia, 1770; m. Berlin, Alemania, 1831). 1801ⁿ, 1821, 1822, 1823, 1825, 1857

Senlecq⁵³, Constanten, 1877

Serrin⁵³, Victor, 1857

Severo³² (Obispo de Milevis), 428

Shallenberger³⁸, 1898

Shaw³⁴, William Napier (n. Birmingham, Inglaterra, 1854; m. Londres, Inglaterra, 1945). 1882

Shepard³⁵, 1850

Short⁴⁰, Sidney Howe (n. Columbus, Ohio, Estados Unidos, 1858; m. Inglaterra, 1902). 1880-85, 1885(2), 1885-90, 1889, 1892, 1893, 1898

Sibley³⁵, Hiram, 1856

Siemens, 1853

Siemens⁴⁰, Alexander (n. Hanover, Alemania, 1847; m. 1929). 1883, 1893

Siemens³⁴, Charles William (Carl Wilhelm) (n. Lenth, cerca de Hanover, Alemania, 1823; m. Londres, Inglaterra, 1883). 1860, 1867(2), 1871, 1879, 1883

Siemens³⁴, Emil Werner (n. Lenth, cerca de Hanover, Alemania, 1816; m. Berlin-Charlottenburg, Alemania, 1892). 1845, 1847(2), 1848, 1856, 1860, 1866, 1867, 1867, 1869, 1870, 1873, 1875, 1876, ca. 1877, 1877, 1879, apéndice

Sigaud de Lafond³⁴, Joseph-Aignan (n. Bourges, Francia, 1730; m. Bourges, 1810), ca. 1755, ca. 1767, 1771, 1781, 1796, 1803

Silbermann⁴⁰, Jean Thiebaut (n. Pont-d'Aspach, Francia, 1806; m. París, Francia, 1865), apéndice

Silliman³⁴, Benjamin (n. Trumbull, Connecticut, Estados Unidos, 1779; m. New Haven, Connecticut, 1864), ca. 1820

- Sims¹⁰, Winfield Scott (*n.* Nueva York, Estados Unidos, 1844; *m.* 1918), *ca.* 1870, 1872, 1882
- Sivewright²⁶, J., 1876
- Skłodowska, Maria (véase Marie Curie)
- Slaby³⁰, Adolph Karl Heinrich (*n.* Berlín, Alemania, 1849; *m.* Berlín, 1913), 1897
- Slattery³², M. (Estados Unidos), 1885
- Sloane¹⁶, Thomas O'Connor (*n.* Nueva York, Estados Unidos, 1851; *m.* 1940), 1884, 1891, 1892, 1894(2)
- Smearon⁶⁶, 1892
- Smeaton³⁴, John (*n.* Aushorpe, Inglaterra, 1724; *m.* Aushorpe, 1792), 1747
- Smee³², 1840, 1857, 1868
- Smith⁴⁰, Archibald (*n.* Greenhead, Glasgow, Escocia, 1813; *m.* 1872), 1847, 1852, 1855, 1859
- Smith³³, Oberlin, 1888
- Smith²⁵, R. S., 1843
- Smith²⁵, Willoughby, 1817^o, 1873
- Sócrates³⁴ (*n.* Atenas, Grecia, *ca.* 470 a.C.; *m.* Atenas, 399 a.C.), *ca.* 370 a.C.
- Soleil³⁰, Jean Baptiste François (*n.* París, Francia, 1798; *m.* París, 1878), *apéndice*
- Somerville⁴⁰, Mary Fairfax Greig (*n.* Jedburgh, Roxburghshire, Escocia, 1780; *m.* Nápoles, Italia, 1872), 1826
- Svenmerring³⁴, Samuel Thomas (*n.* Toruń, Polonia, 1755; *m.* Frankfurt, Alemania, 1830), 1809, 1809, 1811, 1812
- Sorenson⁶, 1866
- Spencer³⁴, Adam, 1743-44
- Sperry⁴⁰, Elmer Ambrose (*n.* Cortland, Nueva York, Estados Unidos, 1860; *m.* Brooklyn, Nueva York, 1930), 1880, 1883, 1888, *apéndice*
- Sputtswoode⁴⁰, William (*n.* Londres, Inglaterra, 1825; *m.* 1883), 1880, 1881
- Sprague⁴⁰, Frank Julian (*n.* Milford, Connecticut, Estados Unidos, 1857; *m.* 1934), 1882(2), 1883, *ca.* 1884, 1884, 1885, *ca.* 1886, 1886, 1887, 1887-90, 1889, 1892(2), 1895, *apéndice*
- Sprengel⁴⁰, Hermann Johann Philipp (*n.* Schillerslage, Alemania, 1834; *m.* Londres, Inglaterra, 1906), 1865, 1875
- Staffe¹⁷, William Edwards (1809-1854; Inglaterra), 1844, 1846, 1847, 1848, 1849, 1851, 1853
- Stanhope⁴⁰, Charles (*n.* Londres, Inglaterra, 1753; *m.* 1816), 1779, *apéndice*
- Stanley⁴⁰, William (*n.* Brooklyn, Nueva York, Estados Unidos, 1858; *m.* 1916), 1885, 1886, *apéndice*
- Starr¹⁷, J. W. (*n.* Estados Unidos *ca.* 1822; *m.* 1847), 1845
- Stearn³⁴, C. H., 1878
- Stearns²⁵, J. C., 1867
- Stefan³⁴, Josef (*n.* St. Peter, cerca de Klagenfurt, Austria, 1835; *m.* Viena, Austria, 1893), *ca.* 1875, 1879, 1887
- Steinhilf¹⁷, Karl August (*n.* Rappoltsweiler Jähora Riebauvillé, Alsacia, 1801; *m.* Munich, Alemania, 1870), 1835^o, 1836, 1837, 1838, 1839, 1849-52
- Steinmetz³⁴, Charles Proteus (*n.* Breslau, Alemania (ahora Wrocław, Polonia), 1865; *m.* Schenectady, Nueva York, Estados Unidos, 1923), 1890, 1891, 1892, 1893, 1895, 1897
- Stevenson²⁵, C. A., 1892
- Stewart³⁴, Balfour (*n.* Edinburgo, Escocia, 1828; *m.* Drogheda, Irlanda, 1887), *ca.* 1875, 1877
- Stewart³⁴, T. D., 1873^o
- Stine¹⁷, Wilbur Morvis (*n.* Tyrone, Pensilvania, Estados Unidos, 1863; *m.* 1934), 1891, 1893-94, 1893-98, 1893, 1896, 1897
- Stöhrer⁴⁰, Emil, (Alemania), 1843, 1844, 1846, 1847, 1849, 1850
- Stokes³⁴, George Gabriel (*n.* Skreen, County Sligo, Irlanda, 1819; *m.* Cambridge, Inglaterra, 1903), 1847, 1856, 1879, 1880(2), 1898
- Stoletov³⁴, Aleksandr Grigorievich (*n.* Vladímir, Rusia, 1839; *m.* Moscú, Rusia, 1896), 1869, 1871, 1872, 1889, 1890, 1895
- Stonry³⁴, George Johnstone (*n.* Oakley Park, Kingstown (ahora Dún Laoghaire), County Dublin, Irlanda, 1826; *m.* Londres, Inglaterra, 1911), 1868, 1874, 1891
- Strada²⁵, Famianus, 1617
- Stratling³², Sibrandus (*n.* Países Bajos, 1785; *m.* 1841), 1835
- Strowger²⁵, Almon Brown (*n.* Penfield, Nueva York, Estados Unidos, 1839; *m.* St. Petersburg, Florida, Estados Unidos, 1902), 1889, 1891, 1892
- Strutt³⁴, John William (3^{er} barón de Rayleigh) (*n.* Langford Grove, cerca de Maldon, Essex, Inglaterra, 1842; *m.* Terling Place, Witham, Essex, 1919), 1817^o, *ca.* 1860^o, 1869, 1881(2), 1882(2), 1883, 1894(2), 1897, 1898
- Stubblefield²⁵, Nathan B. (*n.* Kentucky, Estados Unidos, 1859; *m.* 1928), 1887, 1892
- Sturgeon³⁴, William (*n.* Whittington, Lancashire, Inglaterra, 1783; *m.* Prestwick, Manchester, Inglaterra, 1850), 1820^o, 1823, 1825, 1825(2), 1826, 1828, 1828, 1828-30, 1830, 1832, 1835, 1836, 1837, 1840, 1842, 1843
- Sulzer⁴⁰ (o Sultzer), Johann Georg (*n.* Winterthur, Suiza, 1720; *m.* 1779), 1750, 1762, 1772
- Sumpner⁴⁰, W. E., 1891
- Susruta⁴⁰ (*n.* India, *ca.* 600 a.C.), *ca.* 600 a.C.
- Swammerdam³⁴, Jan (*n.* Amsterdam, Países Bajos, 1637; *m.* Amsterdam, 1680), 1678, 1737-38, 1752, 1758
- Swan⁴⁰, Joseph Wilson (*n.* Sunderland, Inglaterra, 1828; *m.* Warlingham, Inglaterra, 1914), 1847, 1847-48, 1860, 1875, 1878, 1879, 1879, 1880(2), 1881(2), 1881, 1883, 1887, 1887, *apéndice*
- Swedenburg³⁴ (o Swedburg), Emanuel (*n.* Estocolmo, Suecia, 1688; *m.* Londres, Inglaterra, 1772), 1722
- Swinden³⁴, Jan Hendrik van (*n.* La Haya, Países Bajos, 1746; *m.* Amsterdam, Países Bajos, 1823), 1772, 1777, 1784, 1785
- Symmer³⁴, Robert (*n.* Galloaway?, Escocia, *ca.* 1707; *m.* Londres, Inglaterra, 1763), 1759, 1760, 1760-61, 1761, 1761, *ca.* 1767, 1767

Syng³⁴, Philip, 1747

Szczepanik²⁵, Jan, 1898

Szu-ma-tsiang⁵² (fl. China, ca. 250 a.C.), *siglo 9 av.*

- F -

Tainter⁴⁰, Charles Sumner (n. Watertown, Massachusetts, Estados Unidos, 1854; m. 1919), 1878, 1887(2), 1895

Taishō⁴⁰, Shotoku (Príncipe Shotoku) (n. Japón, 573; m. 621, Japón), *apéndice*

Falsner³¹, Jean, 1562, 1609

Tait³⁴, Peter Guthrie (n. Dalkeith, Escocia, 1831; m. Edinburgo, Escocia, 1901), 1855, 1873, 1875

Tales de Mileto³⁴ (n. Mileto, Ionia, ca. 625 a.C.; m. ca. 517 a.C.), ca. 570 a.C., ca. 340 a.C., *ca. 79*

Tatum³⁴, J., 1810

Taylor⁴⁰, *apéndice*

Taylor³⁴, Brook (n. Edmonton, Middlesex, Inglaterra, 1685; m. Londres, Inglaterra, 1731), 1712, 1712-24

Taylor³⁴, W. H. (Estados Unidos), 1840

Tcheou-Koung⁵² (China), ca. 1000 a.C.

Ten Eyck³⁵, Philip (n. Albany, Estados Unidos, 1802; m. 1829), 1831

Teofrasto³⁴ (n. Eresus, Lesbos, Grecia, ca. 371 a.C.; m. Atenas, Grecia, ca. 287 a.C.), ca. 300 a.C.

Testa³⁴, Nikola (n. Smiljan, Croacia, 1856; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1943), 1877, 1881(2), 1882, 1884, 1885, 1886, 1887, 1887-91, 1888(2), 1888, 1889, 1889-93, 1890, 1891(3), 1893(3), 1893(2), 1895, 1897, 1898, 1899, *apéndice*

Thompson³⁴, Silvanus Phillips (n. York, Inglaterra, 1851; m. Londres, Inglaterra, 1916), ca. 1876, 1881, 1883, 1884, 1887(2), 1891, 1893, 1894, 1895, 1896, 1898, 1899

Thomsen³⁴, Hans Peter Jørgen Julius (n. Copenhague, Dinamarca, 1826; m. Copenhague, 1909), 1853, 1867, 1880, 1895

Thomson³⁴, Elihu (n. Manchester, Inglaterra, 1853; m. Swampscott, Massachusetts, Estados Unidos, 1937), 1871, 1877, 1878(2), 1879(2), 1880(2), 1881, 1882(2), 1883(2), 1883, 1885(5), 1886, 1887, 1888, 1889, 1889-93, 1890(2), 1892, 1892, 1896, 1897, *apéndice*

Thomson³⁴, G. P., 1887

Thomson³⁴, Joseph John (n. Cheetham Hill, cerca de Manchester, Inglaterra, 1856; m. Cambridge, Inglaterra, 1940), 1877, 1881, 1882, 1883(2), 1885, 1887(2), 1887⁷⁰, 1888, 1889, 1893, 1894, 1895, 1896(2), 1897(2), 1898, 1898(2), 1899, 1899(2)

Thomson³⁴, Thomas (n. Crieff, Escocia, 1773; m. Kilmun, Escocia, 1852), 1830

Thomson³⁴, William (Lord Kelvin) (Barón Kelvin de Largs o Lord Kelvin) (n. Belfast, Irlanda, 1824; m. Netherhall, cerca de Largs, Ayrshire, Escocia, 1907), 1823, 1842⁷⁰, 1843, 1845, 1845(2), 1847, 1851, 1853(2), ca. 1855, 1855(2),

1856, 1856, 1857, 1857(2), 1858(2), 1858, 1859, 1860, 1861, 1863⁷⁰, 1865, 1867, 1867, 1869(2), 1876, 1880, 1882, 1882, 1882-86, 1883, 1883-89, 1887, 1889, 1890, 1894(2), 1895, 1898, 1898, *apéndice*(2)

Titus³⁴, *ca. 79*

Toaldo⁴⁰, Giuseppe (n. Pianezza, Italia, 1719; m. Padua, Italia, 1798), 1772

Tolman³⁴, Richard Chace (n. West Newton, Massachusetts, Estados Unidos, 1881; m. Pasadena, California, Estados Unidos, 1948), 1873⁷⁰

Tonmasi⁴⁰, Donato (n. Nápoles, Italia, 1848; m. Roma, Italia, 1944), 1889, 1890, *apéndice*

Topham⁵², F., 1878

Tüpler⁴⁰, August (n. Hürth/bonn, Alemania, 1836; m. 1912), 1872⁷⁰

Torricelli³⁴, Evangelista (n. Faenza, Italia, 1608; m. Florencia, Italia, 1647), ca. 1643, 1723, 1858

Townsend³⁴, John Sealy Edward (n. Galway, Irlanda, 1868; m. Oxford, Inglaterra, 1957), 1897, 1898

Towson³⁰, John Thomas (n. Devonport, Inglaterra, 1804; m. Liverpool, Inglaterra, 1881), *apéndice*

Troostwijk³⁴, Adriaan Paets van (n. Utrecht, Países Bajos, 1752; m. Nieuwerslois, Países Bajos, 1837), 1783, 1788, 1789, 1797

Trowbridge³⁴, John (n. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1843; m. Cambridge, Massachusetts, 1923), 1871, 1880, 1890(2), 1894, 1895, 1896, 1897

Tsu Ch'ung-Chih³⁴ (n. prefectura de Fang-yang [moderna provincia de Hopeh, China, ca. 429; m. China, ca. 500], ca. 500

Tyndall³⁴, John (n. Leighlinbridge, County Carlow, Irlanda, 1820; m. Hindhead, Surrey, Inglaterra, 1893), 1851, ca. 1855, 1866, 1870

Fytler³⁴, James, ca. 1795, ca. 1805

- U -

Ullou y de la Torre Giral³⁴, Antonio de (n. Sevilla, España, 1716; m. Isla de León, Cádiz, España, 1795), 1752

Upton³, Francis, 1878, 1879

Urbanitzky⁴⁰, 1888

- V -

Vail⁴⁰, Theodore Newton (n. Carroll County, Ohio, Estados Unidos, 1845; m. 1920), 1896, *apéndice*

Vail⁴⁰, Alfred Lewis (n. Morristown, Nueva Jersey, Estados Unidos, 1807; m. Morristown, 1859), 1832, 1837, 1838, 1843, 1844, 1845, *apéndice*

Valli⁴⁰, Eusebio (n. Casciana, Pisa, Italia, 1755; m. 1816), 1794, 1794(2)

Van de Graaff³⁴, (Robert Jemison) (n. Tuscaloosa, Alabama, 1901; m. Boston, Massachusetts, Estados Unidos, 1967), 1872⁷⁰

EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

Van Depoele¹⁰, Charles Joseph (*n.* Lichtervelde, Bélgica, 1846; *m.* Lynn, Massachusetts, Estados Unidos, 1892), 1870, 1874, 1879(2), 1880, 1881, 1883, 1884, 1884-85, 1885(2), 1885-86, 1886, 1887, 1888(2), 1889, 1891

Van Malderen, 1857

Van Helmont, Franciscus Mercurius van (véase Franciscus Mercurius van Helmont)

Van Helmont, Johannes (o Joan) Baptista (véase Johannes (o Joan) Baptista van Helmont)

Van Marum, Martin (o Martinus) (véase Martin (o Martinus) van Marum)

Van Musschenbrück, Petrus (véase Petrus van Musschenbrück)

Van Swinden, Jan Hendrik (véase Jan Hendrik van Swinden)

Von Truostwijk, Adriaan Paets (véase Adriaan Paets van Truostwijk)

Van't Hoff³¹, Jacobus Henricus (*n.* Rotterdam, Países Bajos, 1852; *m.* Steglitz (ahora Berlín), Alemania, 1911), 1887, 1887

Varely¹⁰, T., 1869

Varley¹⁰, Cromwell Fleetwood (*n.* Llanfyllter, Inglaterra, 1828; *m.* Hoxley Heath, Inglaterra, 1881), *ca.* 1850, 1850, 1854, 1856, 1860, 1862, 1870(2), 1872, apéndice

Varley²⁵, Samuel Alfred, 1856, 1866(2), 1867(2)

Vassalli-Fandi¹⁰, Antonio Maria (*n.* Turín, Italia, 1761; *m.* Turín, 1825), 1791, 1796, 1799

Vredet³¹, Marcel Émile (*n.* Nîmes, Francia, 1821; *m.* Nîmes, 1866), 1848, 1850, 1851, 1854, 1854-63, 1855, 1858, 1863

Victoria³², reina de Inglaterra, 1844, 1866

Villard³¹, Paul (*n.* Lyons, Francia, 1860; *m.* Hayonne, Francia, 1934), 1898

Volg³¹, Woldemar (*n.* Leipzig, Alemania, 1850; *m.* Göttingen, Alemania, 1919), 1884, 1894, 1898(2), 1899

Volk³², Alagnus, 1883

Volkunn³¹, Paul Oskar Eduard (*n.* Hildesheim, cerca de Hildesheim, Alemania, 1856; *m.* Königsberg, Alemania (ahora Kaliningrado, URSS), 1938), 1891

Volta³¹, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio (*n.* Como, Ducado de Milán, Italia, 1745; *m.* Como, 1827), 1750¹, 1761, 1762, 1762¹, 1764, 1765, 1765, 1769, 1771, 1772, 1775, 1776, 1777, 1778, 1778, 1780, 1782, 1783, 1787(2), 1787, 1791, 1792, 1792, 1793, 1794, 1794(2), 1796, 1797, 1798, 1799, 1799, 1800, 1800(2), 1801, 1801(4), 1802, 1808, 1809, 1828, 1844-46, *ca.* 1855, 1872, 1880, 1885, apéndice

Von Arco¹⁰, Georg Wilhelm Alexander Hans (*n.* Grossgorschütz, cerca de Ratisbona, Alemania, 1869; *m.* Berlín, Alemania, 1940), 1897, apéndice

Von Beetz¹⁰, Friedrich Wilhelm Hubert (*n.* Berlín, Alemania, 1822; *m.* Munich, Alemania, 1886), 1882, 1878, apéndice

Von Bezold¹⁰, Johann Friedrich Wilhelm (*n.* Munich, Alemania, 1837; *m.* Berlín, Alemania, 1907), 1870, 1872, 1897

Von Bohnenberger¹⁰, Johann Gottlieb (*n.* Simmshausen, Alemania, 1765; *m.* Tübingen, Alemania, 1831), apéndice

Von Ettingshausen¹⁰, Johannes Andreas Jakob (*n.* Herledberg, Alemania, 1796; *m.* Viena, Austria, 1878), 1837

Von Grothuss, Theodor Christian Johann Dietrich (véase Theodor Christian Johann Dietrich von Grothuss)

Von Guericke (o Gericke), Otto (véase Otto von Guericke (o Gericke))

Von Hefner-Alteneck, Friedrich Franz (véase Friedrich Franz von Hefner-Alteneck)

Von Helmholtz, Hermann (véase Hermann von Helmholtz)

Von Humboldt, Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von (véase Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt)

Von Jacobi, Moritz Hermann (véase Moritz Hermann von Jacobi)

Von Kleist, Ewald Georg (véase Ewald Georg von Kleist)

Von Lamont, Johann (véase Johann von Lamont)

Von Miller, Oskar (véase Oskar von Miller)

Von Siemens, Ernst Werner (véase Ernst Werner Siemens)

Von Weibach¹⁰, Carl Auer (*n.* Viena, Austria, 1838; *m.* Treibach, Austria, 1929), 1898

Voss³², D. C. (Estados Unidos), 1896

Vyshegradski¹⁰, Ivan Aleksievich (*n.* Rusia, 1831; *m.* 1893), 1877, apéndice

- W -

Walker¹⁰, Charles Vincent (*n.* Remo Unido, 1812; *m.* Tunbridge, Inglaterra, 1882), 1841, 1843, 1845-82, 1848-49, 1849, 1850, 1857, 1866, 1869, 1876

Wall²⁵, William, 1708, 1716, 1749

Walters²⁵, 1860

Walsh¹⁰, John (*n.* 1725; *m.* 1793), 1773, 1775

Warburg³¹, Emil Gabriel (*n.* Altona, cerca de Hamburgo, Alemania, 1846; *m.* Grunau, cerca de Bayreuth, Alemania, 1911), 1876-95, 1880¹, 1881, 1896-98, 1897

Wargentin³¹, Pehr Wilhelm (*n.* Sunne, Jämtland, Suecia, 1717; *m.* Estocolmo, Suecia, 1783), 1750

Waterman²⁵, Henry, 1850

Watkins²⁵, Francis (Inglaterra), 1835

Watson³⁸, Thomas Augustus (*n.* Salem, Massachusetts, Estados Unidos, 1854; *m.* Passagrille Key, Florida, Estados Unidos, 1934), 1973, 1877

Watson³¹, William (*n.* Londres, Inglaterra, 1715; *m.* Londres, 1787), 1745, 1746, 1746, 1747, 1747, 1748, 1748, 1749, 1750, 1751, 1764

Weber³¹, Wilhelm Eduard (*n.* Wittenberg, Alemania, 1804; *m.* Göttingen, Alemania, 1891), 1828, 1832, 1833(3), 1835, 1836, 1836, 1838, 1838, 1840(2), 1841, 1846, 1847, 1847(3), 1848, 1848, 1849, 1851, 1852, 1856(2), 1857(2), 1857, 1861, 1863¹, 1869, 1870, 1870, 1871, 1871(2), 1875, 1875, 1876, 1876, 1877, 1878(2), 1880, 1880-1915, 1884, 1891, 1892

Webster¹⁰, Arthur Gordon (*n.* Brookline, Massachusetts, Estados Unidos, 1863; *m.* 1923), 1895, 1897

Wedgeood²⁵, Ralph, 1914

Weiller²⁵, Lazare, 1889

Weiss¹⁸ (Alemania), 1805

Weiss³⁴, Pierre (n. Mulhouse, Francia, 1865; m. Lyons, Francia, 1940), 1896, 1896-1905

Wells⁶, D. A., 1856

Wells²⁵, R. T., 1892

Welsbach, Carl Auer von (véase Carl Auer Von Welsbach)

Wesley³, John (n. Epworth, Inglaterra, 1703; m. 1791), 1760

Westinghouse³, George (n. Central Bridge, Nueva York, Estados Unidos, 1846; m. Nueva York, Nueva York, Estados Unidos, 1914), 1885, 1886, 1886, 1886-90, 1888, 1888, 1889-93, 1891, 1893(2), 1896, apéndice

Weston¹⁰, Edward (n. Inglaterra, 1850; m. 1936), 1888, 1891, 1893

Wheatstone³⁴, Charles (n. Gloucester, Inglaterra, 1802; m. Paris, Francia, 1875), 1775, 1819, 1831, 1833, 1834, 1836, 1837, 1838(2), 1840(2), ca. 1841, 1841(2), 1842, 1843(2), 1844, 1845, 1846, 1853, 1857, 1857, 1858, 1861(3), 1863, 1867, 1867(2), 1868, 1881, apéndice

Wheler²⁵, Granville, 1729, 1736

Wheeler⁴⁰, Schuyler Skaats (n. Nueva York, Estados Unidos, 1860; m. 1923), 1886(2), 1894

Whewell³⁴, William (n. Lancaster, Inglaterra, 1794; m. Cambridge, Inglaterra, 1866), 1833

White²⁵, A. C., 1892

Whitehouse³⁴, E. O. W., 1858

Wichert³⁴, Emil (n. Tilsit, Alemania, 1861; m. Göttingen, Alemania, 1928), 1890-97, ca. 1898⁶

Wiedemann⁴⁰, Eilhard Ernst Gustav (n. Berlin, Alemania, 1852; m. 1928), apéndice

Wiedemann³⁴, Gustav Heinrich (n. Berlin, Alemania, 1826; m. Leipzig, Alemania, 1899), 1853, ca. 1860, 1859, 1861-63, ca. 1864, 1872(2), 1877-99, 1880, 1884, 1890, 1898, apéndice

Wien³⁴, Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz (n. Glatfken, cerca de Fischhausen, Prusia del este [ahora Prunorsk, Rusia], 1864; m. Munich, Alemania, 1928), 1892(2), 1893, 1896, 1896, 1897, 1898, 1898, 1899

Wilcke³⁴, Johan Carl (n. Wismar, Alemania, 1732; m. Estocolmo, Suecia, 1796), 1751-52, 1756, 1757(2), 1758, 1759, 1762, 1763, 1764, 1765, 1766, 1768, 1780, 1785, 1786

Wilcox¹⁷, Stephen (n. Estados Unidos, 1830; m. 1893), 1890

Wilde⁴⁰, Henry (n. Manchester, Inglaterra, 1833; m. 1919), 1863, 1864, 1866, 1866, 1867, 1868(2), 1883 apéndice

Wilkins²⁵, 1849

Wilkins³⁴, John (n. Northamptonshire, Inglaterra, 1614; m. Londres, Inglaterra, 1672), ca. 1670

Williams³⁵, P. W. (n. Reino Unido, 1851; m. 1892), 1883, 1884, 1886, 1888, 1890-1900, 1892, 1894(2)

Wilson³⁴, Benjamin (n. Leeds, Inglaterra, 1721; m. Bloomsbury, Londres, Inglaterra, 1788), 1747, 1750, 1756, 1760, 1764, 1766(2), 1766, 1779

Wilson³⁴, Charles Thomson Rees (n. cerca de Glencorse, Midlothian, Escocia, 1869; m. Carlisle, Peeblesshire, Escocia, 1959), 1895, 1896

Winshurst⁴⁰, James (n. Poplar, Inglaterra, 1832; m. Clapham, Inglaterra, 1903), 1880, 1882, 1898, apéndice

Winkler⁴⁰ (o Winkler), Johann Heinrich (n. Wigendorf, Alemania, 1703; m. 1770), 1733, 1738, 1744, 1746, apéndice

Wöhler³⁴, Friedrich (n. Eschersheim, cerca de Frankfurt-am-Main, Alemania, 1800; m. Göttingen, Alemania, 1882), 1825⁶, 1827

Wolf¹⁴, Rudolf (n. Fällanden, cerca de Zurich, Suiza, 1816; m. Zurich, 1893), 1852

Wollver²⁵ (o Wallmer), ca. 1150

Wollaston³⁴, William Hyde (n. East Dereham, Norfolk, Inglaterra, 1766; m. Londres, Inglaterra, 1828), 1800, ca. 1810, 1821, 1832

Wood⁴⁰, James (n. Kinsale, Irlanda, 1856; m. 1928), apéndice

Woodward²⁵, Henry, 1874

Woolrich¹⁷, John Stephen (Reino Unido), 1842, 1843, 1844, 1844

Wormell³¹, P., 1896

Wray³², J. T., 1857, 1860

Wright, Arthur Williams (n. Lebanon, Connecticut, Estados Unidos, 1836; m. 1915), 1886, apéndice

Wright⁴¹, Edward (n. Garveston, Norfolk, Inglaterra, 1561; m. Londres, Inglaterra, 1615), 1599, 1600, 1634

Wright⁵², Thomas, 1840, 1845

Wróblewski⁴⁰, Zygmunt Florenty von (n. Grodno, Lituania, 1845; m. Carcova, Polonia, 1888), 1874, 1885

- Y -

Yablokov⁴⁰, Pavel Nikolaievich (n. Saratof, Rusia, 1847; m. 1894), 1876, 1877, 1877, 1879, apéndice

- Z -

Zamboni⁴⁰, Giuseppe (n. Venecia, Italia, 1776; m. Venecia, 1846), 1812, 1840, apéndice

Zeeuwer³⁴, Pieter (n. Zonnemaire, Zeeland, Países Bajos, 1865; m. Amsterdam, Holanda, 1943), 1896, 1897(2), 1899(2)

Zipernowski⁵², Carl (Hungría), 1885

Zöllner³¹, J. F. K., 1870, 1876, 1876