

00365 4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

NEWTON EN MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS
(M A T E M A T I C A S)
P R E S E N T A :

MAGALLY MARTINEZ REYES

DIRECTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO GARCADIIEGO DANTAN

MÉXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002



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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

1972
ESTADO DE CALIFORNIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO FCIE/DEP/058/2002

ASUNTO: Asignación de jurado

DR. ALEJANDRO RICARDO GARCADIIEGO DANTAN
Presente

Por este conducto me permito comunicarle que ha sido ratificado(a) como Director(a) de Tesis del(a) alumno(a) MAT MAGALLY MARTÍNEZ REYES, quién desarrolló el trabajo de tesis titulado "NEWTON EN MEXICO"

Así mismo, comunico que el Comité Académico del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Matemáticas y de la Especialización en Estadística Aplicada ha designado a los siguientes sinodales para dictaminar si el trabajo que ha desarrollado como tesis el(a) alumno(a) antes mencionado(a) tiene los méritos para obtener el grado de MAESTRO(A) EN CIENCIAS (MATEMATICAS).

CARGO	GRADO	NOMBRE COMPLETO
PRESIDENTE	DR.	JUAN MANUEL LOZANO MEJIA
PRIMER VOCAL	DR.	ALEJANDRO RICARDO GARCADIIEGO DANTAN
SEGUNDO VOCAL	DR.	JAIME OSCAR FALCON VEGA
TERCER VOCAL	DRA.	GISELA MATEOS GONZALEZ
SECRETARIO	DR.	ELIAS TRABULSE ATALA
SUPLENTE	DRA.	ROSAURA RUIZ GUTIERREZ
SUPLENTE	DR.	JOSE ANTONIO ROBLES GARCIA

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarles un cordial saludo

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D. F., a 15 de enero de 2002
JEFE DE LA DIVISIÒN

DRA. MARGARITA COLLAZO ORTEGA

MCO/ASR/ipp

Director General de Bibliotecas
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso
el contenido de mi trabajo recepción.
NOMBRE: Martinez
Reyes Magally
8-11-02

NOV 1951
BUREAU OF ALIENS

Tabla de contenido

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
Introducción	3
I. Ciencia y educación en la Nueva España en el siglo XVIII	
1.1 <i>La Real y Pontificia Universidad de México</i> en el siglo XVIII	10
1.2 Los jesuitas	13
1.3 Científicos criollos y peninsulares	16
1.4 Las expediciones científicas	27
1.5 Las <i>Sociedades Económicas de Amigos del País</i>	31
1.6 Las nuevas instituciones educativas	33
1.7 Las publicaciones como medio de difusión	36
1.8 Las matemáticas y la física en el siglo XVIII en España y en la Nueva España	40
1.9 Aspectos generales de la enseñanza de la física y las matemáticas	62
1.10 Recepción de Newton en Europa y en la Nueva España	68
1.11 Las teorías de Newton en los trabajos publicados en el siglo XVIII, relacionados con física y matemáticas	87
1.12 La difusión de la física newtoniana en la <i>Real y Pontificia</i> <i>Universidad de México</i>	105
II Dos instituciones educativas: <i>Real Seminario de San Carlos</i> y <i>Real Seminario de Minas</i>	
2.1 La <i>Real Academia de San Carlos</i> en la Nueva España	110
2.2 La creación del <i>Real Seminario de Minería</i>	125
2.3 La institucionalización de la física y las matemáticas en el <i>Colegio de Minería</i>	146
2.4 Francisco Antonio Bataller y la enseñanza de la mecánica newtoniana en el <i>Colegio de Minería</i>	150
III Los libros de texto y la física newtoniana en las instituciones educativas	
3.1 La mecánica newtoniana y su relación con la actividad minera novohispana	169
3.2 Los libros de texto utilizados en las instituciones educativas	175
3.3 Benito Bails: <i>Principios de Matemáticas</i>	178
3.4 Juan Justo García: <i>Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría</i>	199
3.5 José Mariano Vallejo: <i>Compendio de Matemáticas Puras y Mixtas</i>	203
3.10 Análisis de dos temas en los textos de Bails, García y Vallejo	210

Conclusiones 217

Referencias 219

DEDICATORIA

Conquistar una meta significa sacrificar algo siempre

Al alcanzar una meta siempre observo hacia atrás buscando reconocer, en cada paso, a aquellos en quienes me apoyé. Veo a mi hijo, *Gil Adair López Martínez*, a quien le robe un tiempo precioso. Veo a mi esposo, *José Macario López Balderas*, que compartió el sufrimiento y la desesperación que representó la culminación de esta tesis. Veo a mis padres, *Gil Martínez Ramírez* y *Elena Josefina Reyes Lucero*, quienes han asumido el papel de guías para mi hijo y que me han otorgado parte de su tiempo sacrificando sus propios intereses. Veo a mi hermana, *Mayela Martínez Reyes*, que con su carácter decidido le ha enseñado tantas cosas a mi hijo y siempre me ha alentado para continuar.

A todos ellos les brindo este trabajo, que representa un anhelo personal, y que tiene que verse reflejado en un bienestar para todos. Se los dedico de todo corazón.

A todos aquellos egresados de la Facultad de Ciencias de la UNAM que hemos padecido la falta de criterio de los coordinadores de posgrado. Como una muestra de la necesidad de autoridades con cultura y formación como seres humanos, más que especialistas en un diminuto grano del desierto que es la rama del conocimiento que 'dominan'. Porque con una arbitrariedad caprichosa pueden devastar la vida de un verdadero ser humano.

AGRADECIMIENTOS

En cualquier trabajo de investigación resulta sumamente útil el apoyo intelectual, por lo que no dudo en reconocer el apoyo brindado por mi director de tesis, Dr. Alejandro Garcíadiego Dantán, así como las valiosas observaciones de mis sinodales: Dr. Juan Manuel Lozano Mejía, Dr. Elías Trábulse Atala, Dra. Gisela Mateos González, Dr. José Antonio Robles García, Dr. Jaime Oscar Falcón Vega y Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez.

Agradezco de manera especial el aporte metodológico y el acceso a fuentes bibliográficas que me brindó el M.H. Juan Manuel Espinosa Sánchez. Así como todo el apoyo moral y económico del Fís. Víctor Sánchez González, a través de la Unidad Académica Profesional Valle de Chalco, UAEM.

INTRODUCCIÓN

El propósito general de esta disertación es analizar la influencia de la mecánica de Newton en la enseñanza de las ciencias y la técnica de la Nueva España en el siglo XVIII. Los medios por los cuales se muestra dicha influencia son, entre otros, la tecnología de minas, las aplicaciones astronómicas, la elaboración de libros de texto por parte de una comunidad científica novohispana y la institucionalización de las matemáticas, la mecánica, la óptica y la astronomía newtonianas, las cuales se vieron reflejadas en los planes y programas de estudio de educación superior.

Algunas de las preguntas que fueron contestadas a través del desarrollo del proyecto fueron las siguientes: ¿Fueron las obras originales de Newton las que se propagaron en la nueva España o sólo eran interpretaciones de sus comentaristas? ¿Los trabajos de investigación donde se aplicaron algunos elementos de la física newtoniana reflejan un análisis profundo o sólo era parte de la verborrea intelectualista de moda? ¿Las aplicaciones en tecnología de minas y demás fueron aplicaciones sustentadas teóricamente en los *Principia* y la *Óptica* o tan sólo se adecuaron los procedimientos metodológicos y técnicos que se tuvieron a mano sin comprender propiamente el contenido de los libros mencionados? ¿En el desarrollo de planes y programas de estudio de física y matemáticas a nivel superior eran las teorías newtonianas artífice medular de dichos planes o reflejaban tan sólo un relleno curricular propio del siglo newtoniano? ¿De qué manera se transmitió la física newtoniana, dónde, por qué y a qué condiciones obedeció? ¿La enseñanza de la mecánica y la óptica newtonianas respondió al desarrollo de los planes y programas, o se insertó en las cátedras como currículo oculto?

La tesis está estructurada de la siguiente manera: El primer capítulo estudia la conformación de una comunidad científica, con formación jesuita en su mayoría, que será el vehículo de infiltración de las obras originales de Newton, y que precisará la necesidad de acoplar este conocimiento a la realidad de la colonia. Se estudia el papel de organismos oficiales y de algunas personalidades en el establecimiento de nuevas instituciones de

educación con tendencia a la enseñanza del discurso newtoniano. Se revisa el desarrollo de la física y la matemática en España y qué utilidad tuvo en ciertas ramas productivas de la Nueva España y se analiza la mecánica newtoniana como fundamento de la actividad novohispana a través de sus aportaciones originales. Para esto, revisaremos los *Principios Matemáticos de Filosofía Natural* y la *Óptica* de Newton, y observaremos algunos elementos de estos trabajos en obras novohispanas.

En el segundo capítulo analizamos las dos instituciones educativas de mayor prestigio en el siglo XVIII: El *Real Seminario de Minería* y la *Real Academia de San Carlos*. Se examinan las metodologías de los maestros como investigadores y difusores de las teorías físico-matemáticas de Newton; y revisamos los libros de texto elaborados explícitamente para la enseñanza de la física y las matemáticas en estos colegios.

El tercer capítulo estudia el papel de los libros de texto usados en la colonia como difusores de la mecánica newtoniana y su influencia en la sistematización técnica e instrumental de las herramientas de trabajo minero, haciendo la comparación entre los tres libros de texto de mayor auge en las instituciones de educación superior en la Nueva España: *Principios de matemáticas* de Benito Bails, *Elementos de aritmética, álgebra y geometría* de Juan Justo García, y *Compendio de matemáticas puras y mixtas* de José Mariano Vallejo.

Esta investigación aporta elementos de consulta y análisis; condensa información de fuentes de difícil acceso, como las que se encuentran en los fondos reservados del *CESU*, del *Palacio de Minería*, de la *Biblioteca Nacional* y del *Archivo General de la Nación*; así como libros de la época. Se ejemplifican situaciones en los que se sistematizó la física newtoniana en la tecnología de minas; así mismo se argumenta la influencia de Newton en los principales libros de texto y se evidencia que algunos libros de texto actuales contienen ejercicios anacrónicos. Los temas generales estudiados incluyen historia de México, historia de la ciencia en México, historia de la educación, textos sobre el estudio de la ciencia, libros de texto de la época, fuentes originales de trabajos de investigación de diversas personalidades de la época y los estudios sobre Newton en Latinoamérica, así como las fuentes originales del mismo.

CAPITULO I

CIENCIA Y EDUCACIÓN EN LA NUEVA ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII

La idea de utilizar la filosofía natural para el desarrollo económico de España y de sus colonias llevó al gobierno de Carlos III a ordenar, en 1769, que se reformaran los planes de estudio de su reino. Sin embargo, la metrópoli arrastró desde el último tercio del siglo XVII un oscurantismo del ambiente intelectual en torno a las ciencias naturales, consideradas como peligrosas, inútiles y perniciosas; sólo se aceptó la teología escolástica, la moral y la expositiva; incluso en disciplinas prácticas como la medicina. Según palabras de personalidades como Benito Jerónimo Feijóo¹ [1781, III-XXXIV]: “Mientras en el extranjero progresa la física, la anatomía, la botánica, la geografía, la historia natural, nosotros nos quebramos la cabeza y hundimos con gritos las aulas sobre si el Ente es unívoco o análogo; sobre si trascienden las diferencias; sobre si la relación se distingue del fundamento” Por lo que el nuevo pensamiento científico se impulso fuera de las aulas universitarias, en instituciones que tuvieron como fin conocer las riquezas del reino y sus colonias con fines mercantiles, entre otras: Las *Sociedades de Amigos del País*, los *Reales Jardines Botánicos*, y las academias de nueva creación que respondieron a estas necesidades.

En las universidades se establecieron las reformas pero los opositores y la situación política impidieron que se cristalizara. Por ejemplo, las matemáticas superiores no se conocían ni de oídas en las universidades españolas, incluyendo la de Salamanca, según el

¹ La crítica más incisiva de la situación en que se encontraba entonces España fue realizada por Benito Jerónimo Feijóo (1676-1764). Entre 1726 y 1740 publicó los nueve volúmenes de su *Teatro Crítico Universal*, y de 1742 a 1760, aparecieron los cinco volúmenes de sus *Cartas Eruditas y Curiosas*. Se ocupó de todas las materias científicas y de cuánto problema social y político se planteaba en su época; incluyendo problemas del continente americano. En particular, su obra influyó profundamente en el avance de la cultura médica de España, sobre todo como promotor de las academias científicas españolas y luego también en la Nueva España (1768); pero la mayor importancia de su obra radica en la lucha tenaz y decidida que llevó a cabo a favor de la introducción de las teorías científicas contemporáneas, combatiendo al mismo tiempo los errores y supersticiones prevalecientes. La influencia de Feijóo incluyó la sistematización de la enseñanza y la creación de nuevas cátedras, instituciones e instalaciones que se realizaron en ciencias naturales durante el reinado de Carlos III. De hecho, contó con el apoyo real desde Fernando VI, ya que logro difundir sus obras ampliamente sin temor a la Inquisición, por orden del monarca [García del Real 1921, 12; Marañón 1934, 25; Millares 1944, 140; Herr 1979, 32-33].

testimonio de una de las figuras más influyentes en esta institución, Diego de Torres Villaroel [Feijóo 1781, II-XV]: “Creo que fue la primera noticia [sobre física moderna] que había llegado a mis oídos de que había ciencias matemáticas en el mundo”. Y cuando dichas instituciones fueron exhortadas por Carlos III a preocuparse por las ciencias, la *Universidad de Salamanca* contestó patentemente: “Nada enseña Newton para hacer buenos lógicos o metafísicos, y Gassendi y Descartes no van tan acordes como Aristóteles con la verdad revelada” [Méndez Bejarano 1980, 341]. Se enseñó el sistema de Ptolomeo y se criticó el de Copérnico, que suscitaba no sólo aborrecimiento sino también desprecio, en gran parte por contradecir esquemas de carácter religioso. Las causas de esta miseria cultural las resumió Feijóo [1781, II-XVI] en:

el corto alcance de algunos de nuestros profesores, la preocupación que reina en España contra toda novedad, el errado concepto de que cuanto nos presentan los nuevos filósofos se reduce a curiosidades inútiles, el celo indiscreto y mal fundado de que las doctrinas nuevas traigan algún perjuicio a la religión, y por último, la ignorancia abrigada de hipocresía.

Feijóo intentó romper con el mito de que la ciencia moderna era opuesta a la religión, defendió el método experimental y propugnó por una nueva cultura científica, que buscó reflejar en los estudios universitarios; por lo que ante la tradición institucional propuso la creación de nuevas escuelas, aunque sin lograr institucionalizar la filosofía natural en los centros universitarios españoles.

Carlos III, inició una reforma económica, apoyada a su vez de una reforma cultural [Larroyo 1982, 179], mediante la cual inculcó en los hombres el deseo de abundancia de medios materiales; para lograr darle al estado la reconstrucción del poder; en especial, el mantener a las instituciones educativas bajo su tutela. Por este motivo, incluso las colonias de América adquirieron un nuevo significado para España [Hamnett 1985, 20]. No es hasta que se realizó la reforma de la enseñanza que se vio algún cambio en la mentalidad peninsular: Modificó las universidades tradicionales, creó nuevas instituciones, las secularizó y les asignó programas de estudio acordes a las nuevas necesidades; promovió las *Sociedades Económicas de Amigos del País* en varias ciudades, siguiendo el modelo de la *Basconga*, pionera exitosa de este tipo de establecimientos en la península [Palacio 1978, 19; Arboleda 1995, 29]; permitió la libre circulación de libros extranjeros y fomentó la prensa periódica [Hamnett 1985, 33]. Envió al extranjero a estudiantes distinguidos para

aprender nuevas técnicas mineras, agrícolas, y de construcción de barcos. Quitó ciertos gravámenes, creó otros, y dio los pasos finales para la centralización económica, política y administrativa [Hamnett 1985, 80-113]. Sin duda esto fue un paso importante para la apertura cultural e intelectual que propició la entrada de las teorías científicas contemporáneas en las colonias españolas.

Mientras tanto, la Nueva España seguía aferrada a la escolástica, desde su florecimiento a lo largo del siglo XVII, se caracteriza por un sistema con arraigo de mentalidades a una doctrina autoritaria; la filosofía escolástica formaba los cuadros dirigentes del gobierno, el clero y los intelectuales coloniales. La población continuaba rígidamente estamentada en clases sociales, cada una con sus propios papeles: En la cúspide el 0.2% de la población, los peninsulares que detentan todo el poder, tanto político como eclesial; después criollos aristócratas, dueños de la tierra (que comparten con la Iglesia) y de las minas, y monopolistas del comercio (4.8%); más abajo, los mestizos y castas (20% de la población), que fue la clase laboral más o menos libre; incluyendo artesanos, trabajadores de minas y agrícolas (15%) que por su condición estaban en otro estatus; y finalmente, los indios, el grueso de la población (60% de los habitantes) en el escalón de abajo, desprotegidos, cruelmente discriminados y explotados [López García 1992, 3; Saladino 1996, 27-30].

Para esta colonia la economía quedó regida, desde su conquista, de la siguiente manera [Saladino 1996, 30]: Un sector minero hipertrofiado que produce plata extraordinariamente barata, un sistema de succión del producto excedente por vías públicas (impuestos, tributos, préstamos forzados, y demás), un sistema de comercio no equivalente que hace aún más barata la plata y transforma a la colonia en mercado de invernadero para las mercancías españolas, y la acción de la metrópoli para impedir el desarrollo de ramas competidoras. Con la política económica borbónica y el ascenso de Carlos III se buscó perfeccionar el rol de la Nueva España como productora de materias primas y consumidora de productos manufacturados, así como la renovación de la estructura de la tenencia de la tierra y salvar el problema de la productividad [Semo 1977, 251-55]. Este proyecto borbónico requirió, como primer paso, investigar sobre sus verdaderos recursos; para ello, enviaron a la Nueva España a inspectores y virreyes progresistas que modificaron la estructura

administrativa: Crearon las intendencias, desarrollaron la actividad productiva en la colonia, promovieron la minería y nuevas industrias que compitieron con las instaladas en la ciudad, fomentaron el comercio entre las colonias y España, destrabaron los monopolios, y por supuesto, bajaron la tasa de impuestos, medida que incrementó los ingresos hasta tres veces más [Palacio 1978, 32-35].

Las reformas, tanto en España como en las colonias de la Nueva España, se enfrentaron con las fuerzas tradicionales amenazadas en sus privilegios, pero se reafirmó la preeminencia del Estado sobre la Iglesia; se produjeron inconformidades que llegaron al motín y en el caso de los jesuitas, la reacción llegó a la desobediencia; en 1760, el rey los expulsó de España y luego en 1767 de las colonias [Larroyo 1982, 165; Palacio 1978, 73-112]. Las inquietudes surgidas en España se reflejaron pronto en las colonias americanas, en particular, la obra de Feijóo fue conocida y apreciada en la Nueva España; y junto con ella llegó un verdadero torrente de libros de casi todos los contemporáneos [Moreno Corral 1992, 331]. Los impresos prohibidos fueron pasados de contrabando en las aduanas, y la mayoría de los viajeros extranjeros sirvieron como agentes de infiltración de las nuevas ideas [Saladino 1998, 31]. Las obras permitidas por la censura fueron arregladas para facilitar su divulgación,² mientras que los libros prohibidos fueron publicados bajo títulos falsos y con autores supuestos [Ramos Lara 1994, 10-20]

Este fenómeno de divulgación se vio favorecido por el funcionamiento de las nuevas imprentas que se establecieron en la ciudad de México --aunque la primera imprenta data de 1539, es en el siglo XVIII cuando proliferan-- como fueron: En Puebla desde 1640; en Oaxaca desde 1720; en Guadalajara en 1792 y en Veracruz en 1794 [Saladino 1998, 42]. Además, los lectores de obras prohibidas hicieron circular profusamente los ejemplares que tuvieron en sus manos; sobre todo a partir de 1764 ante los avances de la producción industrial y la política reformista, por lo que aumentó de manera considerable la introducción y circulación de estas obras [Saladino 1998, 31-42].

² Debemos diferenciar entre difusión y divulgación científica. Por difusión se entiende una actividad orientada a especialistas, y por divulgación la misma actividad orientada al público en general. También debe diferenciarse el periodismo científico, que es un esfuerzo dedicado a interesar al público en temas de ciencia y tecnología. Según Saladino [1996, 18] tanto la difusión como el periodismo científico son términos aplicables a la centuria actual.

Incluso se cuenta con una lista de autores, tomando en cuenta las denuncias presentadas a la inquisición, de los cuales se puede establecer su influencia [Vérez 1945, 12]. De hecho, en la *Real y Pontificia Universidad de México* se llegaron a leer los modernos, aunque sólo fue para tratar de impugnarlos. Sin embargo, jamás se admitieron las nuevas ideas de una manera franca en los colegios. En realidad, las teorías científicas contemporáneas se introdujeron en la Nueva España por otras vías y, en todo caso, los colegios y la universidad se empeñaron siempre en combatirlos con el mayor apasionamiento [Ramos 1943, 20; Quiroz 1949, 30]

El cultivo de las ciencias y su aplicación al estudio de muchos problemas existentes en nuestro país, tuvo que fundarse en la convicción de que la razón sirve para conocer la realidad y no para esgrimirla en vanas especulaciones sobre textos caducos [Larroyo 1982, 190; Saladino 1996, 80]. Por lo tanto, el primer objetivo criollo consistió en establecer, de modo definitivo, la separación entre la ciencia (denominada filosofía natural en este momento) y la teología, para poder iniciar entonces el camino de la actividad científica [Ramos Lara 1994, 5-10]. Entre los orígenes de este movimiento científico se encontró la necesidad de conocer el país (inventario de la riqueza natural y cultural) y de preparar técnicos que pudieran ayudar a transformarlo en todos sus sentidos. Con estas tendencias, los colonos se pusieron en contacto con investigadores de diversos países europeos, y no sólo con los españoles, lo que sirvió como emancipación intelectual; y su concepción del mundo correspondió a la universalidad de las teorías científicas modernas, que usaron para comprender la realidad política, económica y social de nuestra nación [Bargallo 1966, 138].

Las ideas ilustradas bajo las condiciones económicas, sociales y políticas brevemente descritas generaron su popularización y adecuación a las condiciones de la colonia; las consecuencias fueron impredecibles para la corona Española al contribuir a la génesis de la conciencia nacional. La práctica y difusión de los pensamientos ilustrados encontró cobijo en la existencia y apertura de instituciones educativas de buen nivel académico, en la realización de expediciones científicas y en el fomento de organismos culturales.

1.1 LA REAL Y PONTIFICIA UNIVERSIDAD DE MÉXICO EN EL SIGLO XVIII

Hasta la fundación en la Nueva España de las nuevas instituciones educativas como *el Real Seminario de Minería*, la *Real Academia de San Carlos* y la *Escuela de Cirugía*, la universidad fue la columna vertebral de todo el sistema educativo, y al mismo tiempo, la cúspide en lo que respecta al posible nivel alcanzable de estudios [López García 1992, 4]. Fundada en 1551, tomó como modelo la de Salamanca; a lo largo de los primeros siglos sufrió modificaciones en su organización y obtuvo ampliaciones en sus cátedras. Para principios del siglo XVIII, contó con cinco facultades: Teología, Leyes, Cánones, Artes y Medicina, y más de veinte cátedras. En artes se estudió lo necesario para ingresar a las demás facultades, constituyó lo que posteriormente se llamaría filosofía: Lógica, matemáticas, física, astronomía (astrología) y ciencias naturales [García Stahl 1978, 51-53]

La cátedra de matemáticas y astrología creada en 1637, tuvo al frente a científicos novohispanos como Diego Rodríguez (1596-1668), fundador de la cátedra; Carlos de Sigüenza y Góngora (1645-1700); y, ya entrado el siglo XVIII, a Joaquín Velázquez de León (1732-1786) y, esporádicamente, a José Ignacio Bartolache (1739-1790) [López García 1992, 6].

De esta forma, la universidad preparó al personal de mando medio que requirió el virreinato para su funcionamiento; los puestos del más alto nivel quedaron reservados para los peninsulares, pero proveyó a la burocracia de funcionarios y al clero de teólogos para laborar en las instituciones de la Iglesia y el Estado. Hubo abogados en cantidad suficiente para ocupar los puestos en los tribunales y en las audiencias, y para litigar libremente. Fue notable que en la Nueva España no se prepararan ingenieros, militares ni cartógrafos. Las necesidades de este tipo de personal hasta la creación de nuevos planteles fueron, en general, cubiertas por España o por autodidactas [Méndez Arceo 1990, 69-71; Cue 1975, 16]. La instrucción, según testimonios de la época, no fue de buena calidad, fue memorística y repetitiva; algunas críticas a la deficiente enseñanza universitaria aparecieron en el *Mercurio Volante* de Ignacio Bartolache [Izquierdo 1955, 100-103]. La universidad estaba regida por reglamentos que impedían dar de manera oficial una apertura a la ciencia moderna de la época. Los estatutos de la universidad establecían, por ejemplo, orar el credo en latín conforme al *Concilio de Trento*, para aquellos que aspiraban a una cátedra en la

institución el credo era un acto de fe y respeto a lo establecido por la Iglesia Católica; así la universidad fue la encargada de difundir los estudios de teología como una medida de contrarreforma, estos estudios se apoyaron en los libros de Aristóteles y en medicina se abordó a Galeno e Hipócrates, aún cuando eran criticados ampliamente en Europa [López García 1992, 7; Espinosa Sánchez 1997, 15-24].

Para fines de siglo, en la *Real y Pontificia Universidad de México*, se crearon nuevas cátedras intentando acercar a la institución educativa cumbre de la Nueva España, a las homólogas europeas [Larroyo 1982, 136]. Así, se crearon las cátedras que aparecen en la obra *Instituciones* de Francisco Jacquier (1711-1783), donde se hizo hincapié en la enseñanza de la física, las matemáticas y la lógica, también se iniciaron las de derecho canónico y civil en varios seminarios [Dampier 1972, 7].

Una revisión breve de lo que los profesores enseñaron en estas cátedras, así como la formación académica de los mismos dan indicios de que, si bien no es de manera institucional, al menos dentro de las aulas podían manejar la ciencia moderna, y quizás lo más importante, no hablamos de personajes aislados, sino de intelectuales con una formación religiosa en su mayoría, que deja entrever la importancia de las escuelas jesuitas en su formación intelectual [Espinosa Sánchez 2001, 67; Saladino 1996, 43-47].

1) **Fray Diego de Rodríguez (1596-1668)**: Estudió gramática en la Nueva España, ingresó a la orden de la *Merced* en 1613, fue matemático, astrónomo, agrimensor y constructor de relojes. Redactó varias obras relacionadas con matemática, física, astronomía y gnomónica que permanecieron como manuscritos por su carácter heterodoxo para evitar represalias del *Santo Oficio*. Intentó difundir la ciencia contemporánea europea: La física de Galileo, la mecánica de Kepler, el sistema del mundo de Copérnico y la matemática de Tartaglia, buscando rechazar las tesis metafísicas que argumentaban que las enfermedades eran causadas por fenómenos celestes o por la ira de Dios; además aplicó sus conocimientos en beneficio de la sociedad, como en el caso del desagüe de Huehuetoca. Rodríguez dio apertura en su cátedra de astrología a una comunidad en las aulas de la *Real y Pontificia Universidad de México* [Espinosa Sánchez 1997, 19-44]. A la muerte de Fray Diego de Rodríguez en 1668 ocupó la cátedra el único aspirante Fray Ignacio Muñoz, quien más tarde la cedió en 1672 al siguiente aspirante Luis Becerra Tanco, quien aplicó y dio a

conocer la teoría óptica de Atanasio Kircher, renombrado jesuita y máximo exponente en esta área, en una discusión sobre la aparición de la Virgen María. Tras la muerte de Becerra a los pocos meses, su lugar fue ocupado por Carlos de Sigüenza y Góngora.

2) Carlos de Sigüenza y Góngora (1645-1700): En 1672 se presentaron tres aspirantes para ocupar la cátedra de astrología y matemáticas vacante por la muerte de Luis Becerra Tanco: José de Salmerón, estudiante de medicina; Juan de Saucedo, estudiante de cánones; y Carlos de Sigüenza también de la Facultad de Cánones, y conforme a los estatutos universitarios se siguió el protocolo: Teniendo el libro de Juan de Sacrobosco cerrado en las manos de un niño, con una daga y otro instrumento se abría en tres partes seleccionando seis hojas, cada opositor elegía una de las tres selecciones al azar para presentar al siguiente día el examen oral ante los sinodales, después de oír la liturgia en la Iglesia de la sala del cabildo. Por primera vez se suscitó una oposición entre varios candidatos, el libro de Sacrobosco explicaba el movimiento de los astros sin contradecir las Sagradas Escrituras, una vez que cada uno exponía su parte podía ser cuestionado por los sinodales y los demás candidatos, finalmente, el ganador debía realizar una oración en latín: El credo ante la comunidad universitaria y su compromiso de fe. Carlos de Sigüenza debió mostrar sus dotes en astronomía, matemáticas y mecánica celeste para ganar la disertación, además del dominio de un lenguaje científico moderno de elevado contenido teórico, que se ve reflejado en su puesto de Cosmógrafo Real. Fue partidario del método filosófico cartesiano, utilizar la evidencia como criterio de verdad; en astronomía se auxilió de instrumentos como el telescopio y empleó la geometría esférica, es sin duda el máximo exponente científico del siglo XVII, aunque como profesor tuvo poca audiencia [Espinosa Sánchez 1997, 36-45].

La materia de astrología estuvo dirigida no sólo a médicos, sino también a arquitectos y agrimensores, el plan de estudios era el siguiente [Espinosa Sánchez 1997, 44-45]: El primer año se veía la *Sphera* de Sacrobosco, las cuatro reglas de aritmética, las tablas astronómicas de Alfonso el Sabio y las teorías acerca del Sol de Pubarquio. En el segundo año, los seis libros de los *Elementos* de geometría de Euclides, los senos, tangentes y secantes; los arcos y cuerdas, el cuarto libro de los *Triángulos esféricos* de Juan de Montenegro y el *Almagesto* de Ptolomeo. En el tercero, las lecturas debían estar

encaminadas a la cosmografía y la navegación, sobre como hacer observaciones de los movimientos del Sol, la Luna y los planetas, sobre el uso del astrolabio, del planisferio, del radioglobo y otros instrumentos ‘matemáticos’, y la *Sphaerica* de Teodosio. La geometría y la astronomía fueron de utilidad para el médico para entender el orden cósmico y determinar el tipo de terapia, mientras la aritmética lo fue para establecer pesos y medidas al elaborar los medicamentos, llevar la contabilidad del tiempo y regular la proporción del medicamento del paciente [Rodríguez 1994, 74-79]. Mientras que para los arquitectos y agrimensores, la geometría les ayudo a los cálculos en planos de construcción y en las múltiples obras hidráulicas, de caminos y puentes, plazas y edificios de gobierno, entre otros, que edificaron. Esta fue la razón de ser de la cátedra de astrología y matemáticas en la universidad.

La *Real y Pontificia Universidad* preparó hombres para una dinámica social que exigía que los conocimientos se vieran reflejados en un progreso y bienestar económico y social, como parte de la filosofía mecánica cartesiana y el uso de instrumentos científicos y de la ciencia, en especial de las matemáticas; si bien era incipiente esto abrió camino a la dinámica que el siglo XVIII impondría a la comunidad de las aulas universitarias, aunque respetando aún los cánones religiosos impuestos por la Iglesia Católica. Antes de continuar con los personajes relevantes que impartieron cátedra en la universidad, debemos referirnos a su fuente de formación intelectual, que en su mayoría fueron las escuelas jesuitas.

1.2 LOS JESUITAS

En la Nueva España, además de la *Real y Pontificia Universidad de México*, existieron colegios desde el primer siglo de la colonia que funcionaron como escuelas de doctrinas, artes menores y oficios orientados a sectores sociales específicos, en particular para indios y mestizos [Saladino 1996, 43]. Es un hecho que la labor pedagógica de los jesuitas rindió frutos en sus egresados, muchos de los cuales ingresaron a estudiar en la *Real y Pontificia Universidad de México*, como sucedió con Carlos de Sigüenza y Góngora, quien ingreso al colegio jesuita del *Espíritu Santo* de Puebla en 1662, y tuvo comunicación con jesuitas en puestos eclesiásticos importantes que lo mantenían informado de los últimos avances y novedades –como las teorías del jesuita español Kircher que sucedió a Kepler como matemático o del jesuita Kino–. Sigüenza estudio teología en la universidad y por sus

conocimientos en astronomía y matemáticas ocupó, como mencionamos, la cátedra de astrología en 1672 y más tarde por Real Cédula de Carlos III en 1680 fue nombrado Cosmógrafo Real de la Nueva España. Su obra científica más importante es la *Libra astronómica*, donde hizo uso del telescopio en la observación del cometa aparecido entre 1680-1681, además aplicó la geometría esférica para determinar su recorrido y con base en la teoría de Kepler estableció la trayectoria del cometa y con la filosofía mecanicista cartesiana explicó el recorrido del astro en secciones cónicas; redactó varias obras de contenido matemático que están perdidas [Espinosa Sánchez 1997, 49-52; De Gortari 1980, 229].

Otros jesuitas sobresalientes fueron: Juan López Arbaisa (1556-1612) que ingresó a la compañía de Jesús en 1579, construyó la cúpula de gran clave que fue una innovación arquitectónica de la época y dio solución a varios problemas hidráulicos. José Antonio Villerías y Roelas (1695-1728) estudió en el colegio máximo de *San Pedro y San Pablo* y posteriormente ingreso a jurisprudencia en la universidad, escribió poesías sobre temas de astronomía usando incluso a Copérnico. Juan Antonio de Mendoza y González estudió con los jesuitas en *San Ildefonso* en Puebla, fue cura, juez, contador, notario de la Inquisición y agrimensor, se desconoce si estudio en la universidad, escribió métodos para corregir relojes y modos de desaguar minas, donde emplea la filosofía cartesiana y el hermetismo de Kircher, entre otros autores. Tanto Kino como Sigüenza y Mendoza realizaron planos de construcciones en la Nueva España, y su preparación vino de las escuelas jesuitas; además Kino fue el primero en explicar que California era una península y no una isla; Sigüenza realizó el desagüe de Texcoco para evitar inundaciones, al igual que el desagüe de Huehuetoca; y Mendoza explicó el funcionamiento teórico de una bomba para desaguar minas, logró construir artefactos que servían a este fin [Espinosa Sánchez 1997, 55-57]. Entre otros ejemplos de las aplicaciones de estos amantes de la ciencia moderna.

Finalmente, debemos hablar de la enseñanza impartida por los jesuitas, antes de ser expulsados. Entre las nociones y tendencias propagadas en sus colegios, las más notables fueron: El descrédito del sistema geocéntrico (aunque sin aceptar explícitamente las ideas de Copérnico), la existencia de manchas solares, el conocimiento de instrumentos al vacío, el experimento y la crítica del argumento de autoridad, el atomismo, la neumática, la

gravitación universal y la generación seminal [Ramos Lara 1994, 16-20]. En las clases no utilizaron textos, sino apuntes dictados por los propios preceptores, y es interesante mencionar algunos de los autores citados en esos apuntes [De Gortari 1963, 243]: Descartes, Gassendi, Bacon, Newton, Leibniz, Franklin, Feijóo, Duhamel, Sigüenza y Góngora, Plinio, Platón, Aristóteles, Ptoloméo, Copérnico, Tycho Brahe, Malebranche, Maupertuis, Torricelli, Boyle, Gericke, Nollet, Demócrito, Epicuro, Lucrecio, Anaxágoras, Zenón, Lacaille y Malpighy. Resultaría de gran interés presentar algunos ejemplos sobre la manera en que usan las teorías de los autores mencionados, pero escapa a nuestro estudio, una fuente para ello son los trabajos de Juan Manuel Espinosa Sánchez [1997 y 1994]

En realidad, lo que los jesuitas hicieron fue tratar de incorporar las ideas modernas a la doctrina religiosa, aprovecharon los sentimientos nacionalistas de los criollos para conocer los recursos del país [Larroyo 1982, 150]. El predominio de los jesuitas en la enseñanza se debió a que [Izquierdo 1955, 42]:

Los jesuitas desempeñaron tres importantes papeles en la educación novohispana: i) sus colegios dominaron numérica y geográficamente la educación posprimaria; ii) varios profesores jesuitas eran promotores de una reforma educativa; y iii) miembros de la compañía eran los líderes de la elite intelectual del virreinato

A principios del siglo XVIII existieron dos corrientes educativas entre los jesuitas: La tradicional, apegada al escolasticismo; y la renovadora, que se valió del método experimental y el estudio de los conocimientos modernos de las ciencias exactas. Esta última tendencia, para mediados del siglo, triunfó gracias a un grupo de jesuitas jóvenes que empleó nuevos métodos pedagógicos, y que rescribieron los textos escolares para adecuarlos, en forma y contenido, a las nuevas ideas [López García 1992, 9]. Gracias al trabajo de este grupo, se aceptaron sus recomendaciones en las reformulaciones de planes y programas de estudio oficiales para poner al día (siguiendo la moda europea) la enseñanza de la física y las matemáticas, e impartir en los colegios cursos adicionales, dedicados entre otros a la matemática, las lenguas modernas, la física, la química, la historia, y demás [Larroyo 1982, 162]. Así, en los colegios jesuitas se enseñó una mezcla de filosofía escolástica con teorías extraídas de la física moderna, los jesuitas fueron los principales promotores, aunque eran cartesianos y no newtonianos [Lertora Mendoza 1995, 12-13]

Otro aspecto importante fue el incremento de obras científicas en las diversas bibliotecas de los colegios de todas las órdenes religiosas en la Nueva España [Saladino 1996, 44].

Esta labor de divulgación de los conocimientos contemporáneos por parte de los jesuitas dio frutos en la formación de la mayoría de los intelectuales criollos que analizaremos a continuación; así no podemos hablar de autodidactas sino más bien de académicos de mente abierta, que supieron aprovechar estos conocimientos en beneficio de la sociedad.

1.3 CIENTIFICOS CRIOLLOS Y PENINSULARES

Con las reformas económicas liberales de los borbones, vino aparejada una revolución cultural que se diseminó en la Nueva España con obras como las de Feijóo, pero además, y a pesar de la Inquisición, llegaron de contrabando, y disimuladas con tapas de obras pías, las obras de los enciclopedistas franceses: Rousseau, Voltaire, D'Alembert, y Diderot, entre otros [Saladino 1998, 75]. También los viajeros tanto extranjeros como nativos que regresaron de Europa, respiraron los aires innovadores de la Ilustración, introduciéndolos a la Nueva España [Ramos Lara 1994, 13]. Así, la mayoría de los interesados en la ciencia (filosofía natural), la recibieron ya sea para retomarla o bien para criticarla, y entre los más representativos contamos a los siguientes:

1) Francisco Javier Alegre (1729-1788)

Francisco Javier Alegre nació en Veracruz y entró a la compañía de Jesús en 1741, estudió filosofía en el *Colegio de San Ildefonso* en Puebla, estudió derecho en México y falleció en Bolonia en 1779. Fue autor de *Historia de la provincia de la compañía de Jesús en la Nueva España*, editada por Carlos María Bustamante en 1841; del *Compendio de Bion y Sforio*, sobre algunos instrumentos matemáticos, de gran importancia para el manejo de los mismos; el *Tractatu de Gnómica*; de los catorce volúmenes de los *Elementorum Geometriae*, uno de los libros trascendentes para esta área; y de una *Carta geográfica del Hemisferio Mexicano*. Escribió un *Cursus Philosophicus* donde hizo mención de su correspondencia con Francisco Javier Clavijero, con quien disertó sobre el movimiento de los cuerpos, incluyendo las fuerzas centrípetas, centrífugas y de gravedad; sobre el movimiento oscilatorio de los sistemas para explicar el cosmos con las teorías de Copérnico

y Thycho Brahe, así como sobre eclipses, ecuaciones que describen el comportamiento de los astros, el estudio de la óptica, dióptrica y catóptrica, con la teoría de Descartes. En su correspondencia con Clavijero manifestó ser seguidor de la filosofía cartesiana, por lo que no aceptó la física newtoniana, aunque en su texto explicó la gravedad con fines de exposición más no de partidismo. Enseñó filosofía en el colegio de *San José* de la Habana (Cuba, 1755-1762) y fue profesor de la cátedra de cánones de la *Real y Pontificia Universidad de México* [Larroyo 1982, 194; Espinosa Sánchez 1994, 27-29; 2002, 72-73].

Alegre fue uno de los personajes más sobresalientes de esta época principalmente por su gran trabajo como historiador, aunque los trabajos en el área de matemáticas reflejan su gran interés por esta área de conocimiento, siendo de gran ayuda para la reconstrucción histórica de esta disciplina en la Nueva España

2) Francisco Javier Clavijero (1731-1787)

Nació en Veracruz en 1731, cursó humanidades en el *Colegio de San Jerónimo* de Puebla, filosofía y teología en el de *San Ignacio*. En 1748 entró en la compañía de Jesús dedicándose a la filosofía natural, el estudio y la enseñanza. Incorporó en 1763 la cátedra de filosofía al colegio de los jesuitas en Valladolid, fue aquí donde escribió un tratado para esta clase titulado: *Cursus Philosophicus diu in Americanis Gymnasiis desideratus*, lo único que se ha encontrado de este tratado es la última parte titulada *Physica Particularis*. La obra consta de dos partes siguiendo la división aristotélica: La *physica generalis* y la *physica particularis*, en esta última explicó los principios y propiedades de los cuerpos. Impartió la cátedra de filosofía en Puebla (1757), Valladolid (1764-65) y Guadalajara (1766) y la de retórica en los colegios de *San Francisco* y en el de *San Pedro y San Pablo*. Fue políglota, dominó los idiomas: Hebreo, griego, francés, portugués, alemán, inglés y náhuatl. Fue lector de Galileo, Kepler, Descartes, Gassendi, Losada, Tosca, Purchot, Duhamel, Leibniz, Newton y Sigüenza y Góngora, entre otros, lo que se refleja en su tratado ecléctico donde explica los principios y propiedades de los cuerpos naturales usando diversas teorías científicas para explicar el cosmos. Falleció el 2 de abril de 1787 en Bolonia [Cardozo 1973, 7-10; Navarro 1967, 42; Martínez Rosales 1988, 80]

Clavijero sostuvo en su tratado que el cosmos es infinito e increado, contradiciendo los cánones religiosos en torno a la finitud y creación del mundo por Dios; enseñó la teoría copernicana para criticarla y rechazarla en las aulas por lo que aceptó el sistema de Tycho Brahe, donde la Tierra está inmóvil en el centro del mundo y el Sol gira alrededor de ella; conoció la polémica entre Scheiner y Galileo sobre las manchas solares y coincidió con Kepler en sus estudios sobre este fenómeno; rechazó la teoría gravitacional aludiendo que el Sol es muy pesado y no tiene porque caer sobre la Tierra, pero se apoyó en Newton para explicar que las manchas solares no son cuerpos sólidos y que aparecen en el disco solar según explicaba Dechales; utilizó el telescopio para establecer los movimientos de rotación del Sol [Ronan Charles 1993, 76; Martínez Rosales 1988, 76-86; Espinosa Sánchez 1997, 59-64; 2002, 73]

Académicos de la talla de Alegre y Clavijero confirman la elevada calidad de la enseñanza de los colegios jesuitas y el establecimiento de una comunidad científica novohispana. Este tipo de educación tuvo como finalidad formar una capacidad intelectual crítica y científica en sus estudiantes y prepararlos para la vida universitaria; y es precisamente en la *Real y Pontificia Universidad de México* donde a través de la cátedra de astrología y matemáticas a cargo de los profesores Joaquín Velázquez de León y José Ignacio Bartolache, que se llevó a cabo la difusión de la ciencia contemporánea

3) Joaquín Velázquez Cárdenas de León (1732-1786)

Nació en la hacienda minera de Acebodacia en Sultepec y murió en la ciudad de México. En 1745 ingresó como pensionado en el *Seminario Tridentino* de la ciudad de México, donde estudió gramática y retórica, al año siguiente curso la materia de artes y finalmente la de lógica. De 1751 a 1754 estudió en el colegio de *Santa María de Todos los Santos* Abogado y minero; estudió en 1753 el curso de cánones en la *Real y Pontificia Universidad de México*, y desde 1765 fue catedrático de matemáticas de la misma. Políglota, dominó: Latín, griego, francés, italiano y náhuatl. Estudió artes en la universidad, donde conoció las filosofías aristotélica, cartesiana y newtoniana, llevó a cabo experimentos de física y química, y cultivó las matemáticas. Obtuvo la cátedra de astrología y matemáticas de la universidad desde 1765 por examen de oposición, su capacidad se vio reflejada en varios trabajos prácticos como el desagüe de Huehuetoca, y como catedrático dirigió una

academia de matemáticas con la finalidad de difundir la ciencia moderna contemporánea, incluyendo a Newton, promoviendo reuniones entre sus discípulos, entre ellos José Ignacio Bartolache y Antonio de León y Gama. Como astrónomo, acompañó a la comisión hispano francesa que observó el paso de Venus por el disco del Sol el 3 de junio de 1769. Fijó las longitudes y latitudes de diversos lugares en la Nueva España. Escribió la historia del desagüe del Valle de México, y una *Descripción histórica y topográfica del valle, las lagunas y de la Ciudad de México*, donde habló de historia natural, aspectos geológicos y meteorológicos que fueron aprovechados por Humboldt. En el ramo de la minería, escribió junto con Lucas de Lassaga las *Ordenanzas de Minería* [1774], mismo que presentó al rey de España con la intención de reformar la industria minera, como consecuencia se erigió el *Real Tribunal de Minería* (1777) y posteriormente el *Real Colegio de Minería* en 1792 [Labastida 1975, 34; Espinosa Sánchez 2002, 84-88; 1997, 64-76] Más adelante retomaremos su obra para evidenciar la aceptación y uso de la ciencia newtoniana en sus escritos

Desde 1777, fue director general del cuerpo y tribunal de la minería en la Nueva España; fue suya la idea de la creación del *Real Seminario de Minas* [Trabulse 1985, 18; De Gortari 1963, 253; López Piñero 1983b, 205]. Según Humboldt, Velázquez fue el geómetra más renombrado que tuvo la Nueva España, desde la época de Sigüenza y, por otra parte, fue muy elogiado por el matemático Claude Chappe, debido a la exactitud de sus mediciones y cálculos geodésicos [De Gortari 1963, 225]. Las lecturas que hizo de Bacon y Newton le dieron la clave del método científico y le permitieron aprender astronomía, disciplina en la cual destacó mucho; cuando no disponía de instrumentos, él mismo fabricó los que necesitaba [Ramírez 1982, 86-103; Humboldt 1978, 81].

4) José Ignacio Bartolache (1739-1790)

Nació en Guanajuato, murió en la ciudad de México. Estudió artes en el colegio de *San Pedro y San Pablo* en 1758 y posteriormente fue alumno de *San Ildefonso*, al que abandonó por razones económicas para ingresar becado al *Seminario Tridentino* a estudiar teología y matemáticas, siendo profesor de esta última cátedra Velázquez de León. Se recibió de bachiller en teología en 1762 y a partir de 1765 estudió en la academia de matemáticas dirigida por Velázquez de León; ingresa a la *Real y Pontificia Universidad de México*

donde estudia medicina. Ejerció su profesión y siguió estudiando diversas ciencias [López García 1992, 14; Moreno 1985, i-iv]. Obtuvo de manera interina varias veces la cátedra de astrología y matemáticas en la *Real y Pontificia Universidad de México*, debido a las comisiones científicas del titular de la cátedra, Velázquez de León. Durante toda su vida agitó el claustro universitario con sus opiniones revolucionarias. Como profesor de matemáticas y medicina actualizó los cursos; cuando impartió matemáticas en 1769 empezó a publicar sus *Lecciones Matemáticas*, en las cuales sostuvo que no hay diferencia entre lógica, física y medicina desde el punto de vista de su estructura y del método científico. Mencionó que escribiría otros tres libros: *Principios de Aritmética, Geometría, y Mecánica*, respectivamente, pero no han sido encontrados físicamente en caso de haber sido impresos [De Gortari 1963, 253; López Piñero 1983a, 104] Más adelante analizaremos la obra de este intelectual para evidenciar la influencia newtoniana en sus escritos.

Bartolache es considerado deudor intelectual, entre otros, de Descartes; publicó la primera revista médica de América, el *Mercurio Volante*, del que editó dieciséis números entre 1772 y 1773. En 1779, publicó *Instrucciones para curar la viruela*, junto con Velázquez de León determinó la latitud de la ciudad de México, y participó con Alzate en las observaciones del paso de Venus. Tuvo varios cargos importantes, y en 1785 la *Real Academia de San Carlos* le otorgó el grado académico de honor [Trabulse 1985, 18].

5) Benito Díaz de Gamarra (1745-1783)

Filósofo nacido en Zamora, Michoacán, falleció en San Miguel el Grande. Estudió en *San Ildefonso* e ingresó al *Oratorio de San Felipe Neri* en 1764, obtuvo el grado de bachiller en cánones en la *Real y Pontificia Universidad de México* en 1764; viajó por España, Portugal e Italia donde conoció a los jesuitas exiliados; se doctoró en cánones en la *Universidad de Pisa* y fue socio de la *Academia de Ciencias de Bolonia*. A su regreso a la Nueva España se le nombró rector catedrático de filosofía en el *Colegio de San Miguel el Grande* en Guanajuato. Posteriormente ocupó la cátedra de filosofía y la rectoría del colegio de *San Francisco de Sales*.

Díaz de Gamarra fue el principal reformador de la filosofía en la Nueva España, su obra más importante fue *Elementa Recentioris Philosophiae* [1774], que contenía lo más

selecto de las obras de los contemporáneos de su época. En ella, se ocupó de historia de la filosofía, lógica, metafísica, ética, geometría (para lo cual obtuvo la colaboración del matemático Agustín de la Rotea) y física; también publicó otros libros como *Academias filosóficas*, donde disertó sobre física, electricidad y óptica; y *Errores del entendimiento humano*, dedicado a combatir los prejuicios de su tiempo [López García 1992, 14; Junco de Meyer 1973, 31-54]. Al decir de Antonio Caso, citado por Samuel Ramos [De Gortari 1963, 243], Gamarra tiene como influencia primordial a Descartes, ya que entre otras cosas antepone la autonomía de la razón, es decir, el pensamiento racional y científico, frente al principio de autoridad y dogmatismo escolástico de la época. Pero, además, acepta postulados físicos y ópticos de Newton, con lo que se da una incipiente transición de la filosofía cartesiana a la newtoniana, aunque no lo acepta por completo, por ejemplo en el caso de la gravedad. Más adelante analizaremos esta situación en detalle.

6) Antonio de León y Gama (1735-1802)

Nació en México y murió en la misma ciudad. Estudió filosofía con los jesuitas en *San Ildefonso*, así como jurisprudencia y filosofía en la *Real y Pontificia Universidad de México*, y matemáticas en la academia de Velázquez de León. Sus estudios sobre el eclipse de 1778 fueron publicados por el astrónomo francés Lalande. Según Elí de Gortari [1963, 255] fue un eminente astrónomo que calculó con gran exactitud la latitud de México, en base a sus observaciones del eclipse del 6 de noviembre de 1771.

Durante 1784 hizo un registro meteorológico y en 1790 publicó un artículo sobre las auroras boreales, polemizando con Alzate. También en 1784 imprimió varios volúmenes de *la Gazeta*, y en 1785 refutó en dicha revista un texto acerca de la cuadratura del círculo, donde hizo una recapitulación desde Arquímedes hasta Leibniz y expuso los errores de los métodos para cuadrar el círculo. En 1792, con motivo del hallazgo de dos piedras arqueológicas en el Zócalo, publicó un folleto donde las describe y se refiere a los conocimientos matemáticos y astrológicos de los antiguos mexicanos. Dejó inéditos varios trabajos; entre ellos unas lecciones sobre mecánica, geometría, álgebra y trigonometría [De Gortari 1963, 255; López Piñero 1983, 524; Ramírez Santiago 1982, 86, 87, 91, 103].

De sus trabajos, se han encontrado: *Descripcion orhographica universal del eclipse de Sol en 1778*, donde, junto con Velázquez de León, estudió este fenómeno celeste. *Observaciones del cometa del año de 1784*, *Observaciones meteorológicas del próximo año de 1786* [1787], *Discurso sobre la luz septentrional que se vio en la ciudad el día 14 de noviembre de 1789, entre ocho y nueve de la noche publicado en la Gaceta de México*, *Disertación física sobre la materia y formación de las auroras boreales* [1790], entre otros [Moreno 1977, 73-110] Algunas de estas obras serán analizadas en detalle más adelante.

7) José Antonio Alzate (1737-1799)

Nació en Ozumba, murió en la ciudad de México. Según Eli de Gortari [1963, 258]: “Fue el científico más prolífico de entre los criollos ilustrados; importante investigador, científico que mantiene el equilibrio entre sus creencias religiosas y su mentalidad científica” Similarmente, Trabulse [1985, 19] lo considera: “Un científico observador y crítico, que veía en las sagradas escrituras algo más que una serie de sentencias morales y buenos consejos”. Alzate fue la figura central del movimiento científico que se desarrolló en el último tercio del siglo XVIII [Hernández Luna 1945, 10].

Estudió artes y teología en el colegio de *San Ildefonso*; posteriormente obtuvo el grado en artes en la *Real y Pontificia Universidad de México*. Adquirió profundos conocimientos sobre ciencias naturales y filosofía moderna, se dedicó con pasión a la investigación y difusión científica, especialmente defendió los descubrimientos y progresos de las teorías científicas contemporáneas a través de varias publicaciones periódicas. En 1768, publicó el *Diario Literario de México* (semanal); de 1768 a 1772, editó los *Asuntos varios sobre ciencias y artes*; en 1787 publicó las *Observaciones sobre la Física, Historia Natural y Artes Útiles*, de las que aparecieron ciento quince números. También colaboró en otros periódicos como la *Gazeta de México*, dirigida por Manuel Antonio Valdés; además de otros trabajos científicos que fueron impresos por separado: *Método fácil para mejorar las cañerías que sirven de distribución de las aguas de que se abastece el público de esta capital* [1768], *Plano geográfico de la mayor parte de la América Septentrional* [1775], *Mapa del viaje hecho por el comisionado don José Antonio Alzate y Ramírez para el reconocimiento de las minas de azogue* [1778], *Advertencia sobre el mejor método para ensayar los metales de azogue* [1780], *Descripción de un nuevo instrumento para secar la*

pólvora con prontitud y seguridad [1780], *Mapa de las aguas que por el círculo de las 90 leguas vienen a la laguna de Tezcoco* [1784], y *Consejos útiles para socorrer a la necesidad en tiempos que escasean los comestibles* [1786], entre otros [Fernández del Castillo 1957, 59; Moreno 1953, 371].

Los trabajos de Alzate propagaron los conocimientos científicos de su tiempo en un conjunto ordenado de artículos claros y sencillos, dirigidos al público. Sus propósitos no se limitaron a exponer hipotéticamente las teorías científicas innovadoras, sino que se encaminaron a un fin práctico, despertar en los colonos el interés y la inquietud por la ciencia, para que la aplicaran a la realidad de nuestro país y se beneficiaran con sus consecuencias [Saladino 1999, 34]. Su enorme obra escrita abarcó temas filosóficos, astronómicos, meteorológicos, químicos, metalúrgicos, geográficos, agrícolas, zoológicos, botánicos, históricos, literarios y humanistas. Pero su gran contribución fue al arraigo en la Nueva España de la preocupación por la filosofía natural, y sus consecuencias en la economía y la política [De Gortari 1980, 256; Fernández del Castillo 1957, 60].

Formó una magnífica biblioteca, un gabinete de historia natural, una colección de objetos arqueológicos, y varias máquinas y aparatos necesarios para el estudio práctico y experimental de la astronomía y las ciencias físicas [Hernández Luna 1945, 43; Moreno 1953, 371-389; Fernández del Castillo 1957, 59-69; Struick 1959, 1100-1106]. Participó conjuntamente con Bartolache en la expedición para observar el tránsito de Venus por el disco del Sol [1769]. Elaboró diversos mapas geográficos, incluyendo el de la Nueva España, colaboró en la planeación del drenaje de la ciudad, y fue miembro de la *Academia de Ciencias de París*, del *Jardín Botánico* de Madrid y de la *Sociedad Bascongada de Amigos del País* [Trabulse 1985, 19; De Gortari 1963, 258; López García 1983, 51; Moreno 1985, 58].

De sus trabajos sobre observaciones astronómicas sobresalen: *Observaciones del paso de Mercurio por el disco del Sol* [1769], *Eclipse de Luna del doce de diciembre de mil setecientos sesenta y nueve años*, *Observaciones de los satélites de Júpiter* [1770], *Eclipse de Luna* [1770] y *Observaciones meteorológicas* [1770], entre otras. También realizó varias traducciones, escribió varios artículos sobre agricultura, el México antiguo, y consejos diversos, entre otros. Más adelante trataremos en detalle la influencia newtoniana en este

personaje, que es una muestra más del predominio intelectual jesuita. Los artículos relacionados con matemáticas, publicados en las *Gacetas de Literatura*, intentaron proporcionar a la población conocimientos prácticos. Su afán de saber y el contacto logrado con la prensa europea, permitió a Alzate estar al tanto de las novedades en varias disciplinas, mismas que de inmediato presentó a la luz pública [Lazo 2001, 399].

8) Andrés Manuel del Río (1764-1849)

Naturalista y químico español, nació en Madrid y murió en México. Fue condiscípulo de Alejandro de Humboldt en la *Academia de Minas* de Freiberg y el primero en sustentar un acto académico de física experimental en España. Discípulo de Lavoisier, descubridor (aunque no reconocido) del Vanadio [1801], al que dio el nombre de Eritronio; y autor de *Orictognosia*, llevado a España y Perú como libro de texto; arribó a la Nueva España poco después de haberse fundado el *Colegio de Minería*, por lo que dedicó mucho tiempo a esta institución, al consumarse la independencia en 1821 se nacionalizó mexicano y pudo así continuar su labor de gran calidad en nuestro país, hasta su muerte en 1849 [Bargallo 1966, 138].

Fue fundador de la clase de mineralogía del *Real Seminario de Minería*, que se inauguró el 27 de abril de 1795; autor de la obra que durante medio siglo sirvió de texto para la enseñanza de este ramo: *Elementos de Orictognosia*; fue el primero que estableció en el país la explotación y metalurgia del hierro, y fue autor de varios trabajos como: *Sobre la formación de las vetas* y *Manual de geología* [Laroyo 1982, 195; De Gortari 1963, 258].

9) Alejandro Von Humboldt (1769-1859)

Naturalista y geógrafo alemán, nació en Berlín y murió en Tegel. Realizó expediciones por Cuba y México (1799-1804) entre otros países, Humboldt recogió gran cantidad de datos sobre geografía, geología, hidrología, orografía, geognosia, climatología, demografía, agricultura, minería, comercio, manufactura, hacienda pública y defensa militar del país [Robles 1945, 36; Labastida 1975, 13; De Gortari 1963, 260]. Tales resultados fueron utilizados en su *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, que:

resultó ser síntesis de nuestra ilustración, ya que entre 1803 y 1804 logró escribir el compendio más completo sobre nuestro país, mostrando las posibilidades de su desarrollo. Contribuyó a fortalecer nuestra conciencia nacional en el terreno político, económico, social y cultural [Moreno Rafael 1985, 76].

La influencia de Humboldt en nuestro país fue de gran trascendencia para la conformación de las teorías científicas contemporáneas en la Nueva España, no sólo por sus contribuciones científicas sino por la mentalidad y el método empleadas en ellas, lo que abrió el panorama de los científicos mexicanos [Labastida 1975, 18]. Dedicó treinta años (1804-1834) al estudio de la América hispánica en todos los aspectos; en sus obras comentó y utilizó todo cuanto los españoles e hispanoamericanos habían escrito sobre el Nuevo Mundo desde su descubrimiento. Conoce toda la literatura científica relativa a las empresas o expediciones organizadas por la monarquía ilustrada, que aparece en la *Relación histórica* de su viaje al Nuevo Continente, y también en el *Ensayo político* [Minguet 1989, 439-446].

10) Vicente Cervantes (1755-1829)

Nació en Zafta, villa de la provincia de Badajoz y murió en México. Obtuvo el título de farmacéutico en 1784, ocupó el puesto de boticario mayor del *Hospital General* de Madrid, socio del *Real Colegio de Farmacia*, alcalde examinador del protomedicato de la Nueva España y visitador de botica, miembro de la *Real Academia de Medicina Matritense*, llegó a la Nueva España en 1787. Introdujo, mediante referencias directas de las obras de los físicos contemporáneos de la talla de Joseph Prestley y Lorenzo Antonio Lavoisier, los últimos avances de la química moderna; ejecutó experimentos fundamentados en sus propias teorías y divulgó esta disciplina a través de diversas publicaciones periódicas, principalmente en la *Gaceta de México*, esta publicación dio cuenta anualmente de los eventos académicos o actos públicos donde intervino Cervantes; también la *Gaceta de Literatura de México* reprodujo dos de sus escritos, el primero sobre plantas mexicanas y el segundo trató sobre la creación de la cátedra de botánica del *Real Jardín Botánico* el 2 de junio de 1794, recinto del que fue catedrático. Realizó la traducción al español para uso escolar del *Tratado elemental de la química* de Lavoisier, y sostuvo varias polémicas donde defendió la nueva nomenclatura propuesta por este químico. Colocó los conocimientos de la química moderna al servicio de la botánica, lo que se denota en su empeñado interés por divulgar los últimos avances de la química y por destruir los últimos resquicios aristotélicos. Las consecuencias que se derivan de la química que transmitió Cervantes

revelaron la importancia del cultivo de esta ciencia, de su necesidad para el conocimiento de la naturaleza, del funcionamiento de los seres vivos, y en general de la utilidad de esta ciencia. Participó en la expedición para explorar la América Septentrional sujeta a la Nueva España, a cargo de Martín Sessé [Saladino 1996, 200-206; Arias Divito 1968, 38-43; Aceves Pastraña 1994, 157]

11) Miguel Constanzó (1739-1809)

Se dispone de pocos datos sobre su vida hasta que ingresó al *Real Cuerpo de Ingenieros* en Barcelona. En 1764 llegó a la Nueva España como parte de la expedición enviada por Carlos III para reorganizar el ejército, a cargo del teniente general Juan de Villalba, con la función de elaborar mapas de la región de Veracruz. En 1767 fue llamado a la provincia de Sonora para participar en actividades militares; y para el año siguiente fue enviado a la exploración de Monterrey, donde había rumores de invasión rusa a los dominios españoles. Recibió la orden de abandonar la expedición de Sonora y trasladarse a San Blas, donde el visitador José de Gálvez envió dos expediciones, una por tierra y otra por mar, para reconocer el territorio californiano y establecer guarniciones para el puerto de Monterrey. Realizó diversos levantamientos cartográficos como el *Plano del puerto y nueva población de San Blas sobre las costas del mar del sur* [1768], *Plano de la bahía de la Paz y puerto de Cortés* [1768], y los más importantes, el *Diario histórico de los viajes de mar y tierra hechos al norte de la California* [1770-1771] y su *Diario* personal [1790]. Además, durante la navegación hizo observaciones astronómicas y correcciones a las cartas, levantó planos de los puertos de San Diego y Monterrey, ubicó el mejor lugar por donde pasaría la expedición por tierra, dirigió la construcción de presidios y demás obras; se convirtió en el principal especialista de California y consejero de la corona. En sus cincuenta años en la Nueva España participó en varios reconocimientos territoriales, en el diseño y construcción de obras públicas como caminos, desagües, arquitecturas y planos urbanísticos [Moncada 1994, 131-286]. Fue catedrático de geometría en la *Real Academia de San Carlos* donde escribió unos apuntes para su clase, *Elementos de la geometría que en la RI Academia de Sn Carlos de esta ciudad de México dictó el Sr. Dn. Miguel Constanzó. Capitán de Ingenieros y Preceptor primero de dha Aula* [1785].

Cada una de las personalidades mencionadas jugó un papel sobresaliente en la introducción de las innovaciones científicas en la Nueva España, no sólo por sus aportaciones escritas (libros, folletos, apuntes y revistas, entre otros) sino por todo el trabajo científico de fondo (investigación, creación de instituciones y cátedras, elaboración de instrumentos mecánicos, y demás), además del papel público que ocuparon y que permitió, finalmente, llegar a institucionalizar la física y las matemáticas en nuestro país. En particular, para el desarrollo de la mecánica newtoniana en la Nueva España son fundamentales, como se verá más adelante. Es indudable que no realizamos una lista exhaustiva de científicos, sólo mencionamos aquellos que tienen relevancia para establecer posteriormente la influencia de Newton en la Nueva España.

1.4. LAS EXPEDICIONES CIENTÍFICAS

Entre los objetivos que se propusieron los borbones estuvo conocer la realidad de sus colonias, conocer sus recursos naturales, explorar rutas posibles para la explotación de los mismos, mejorar las defensas de su territorio, encontrar nuevos puertos donde llegaran los barcos de su flota y combatir el contrabando. Así, en la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, se realizaron numerosas expediciones, viajes y comisiones a la Nueva España con el propósito general de progresar en los conocimientos geográficos, náuticos y científicos de todo tipo, encaminadas a defender y mejorar la situación económica y comercial de las colonias.

El fenómeno de las expediciones comienza realmente en el reinado de Carlos III. Con anterioridad, durante los reinados de Felipe V y Fernando VII, se realizaron importantes expediciones cuyos intereses fueron de origen francés, como la expedición geodésica al virreinato del Perú, o para solucionar problemas fronterizos en Portugal, como fueron las del marqués de Valdeliros y la de Iturriaga. Será a partir de 1765-1770 cuando España se lance a la búsqueda del conocimiento y la protección del ámbito americano, las finalidades de las expediciones pueden clasificarse como: Geoestratégicas, hidrográficas, botánicas, de límites, y astronómicas, entre otras. Durante los reinados de Carlos III y Carlos IV se llevaron expediciones científicas dentro de la península y fuera de ella, en diversos puntos del imperio hispánico, como las expediciones botánicas a la Nueva España (1787-1795), Nueva Granada, Perú y Chile. Alejandro de Humboldt, que cierra el ciclo de expediciones

científicas a América, hizo notar que ningún estado invirtió tanto en estas empresas científicas como el español [Guirao 1989, 65-91; González Claverán 1989, 427].

Una de las expediciones astronómicas más significativa es la franco-española encabezada por l'Abbé Chappe d'Auteroche en 1769, que con el fin de observar el tránsito de Venus por el disco del Sol se dirigió a la península de California en la Nueva España, esta expedición trató de resolver uno de los problemas científicos europeos más importantes del siglo XVIII, el paralaje del Sol: La observación de dicho fenómeno desde distintos puntos del planeta, así como la determinación exacta de las coordenadas geográficas de los mismos, permitió hallar el paralaje solar, definido como el ángulo que corresponde al radio de la Tierra tal y como lo vería un observador hipotético situado en el centro del Sol. Cantidad angular que facilitó, a su vez, calcular mediante operaciones trigonométricas simples, la distancia media de la Tierra al Sol. Este fenómeno se repite en un periodo de ocho años para no volver a manifestarse hasta cien años después. El objetivo de la comisión española fue triple: Observar el paso de Venus, realizar planos y observaciones astronómicas de las principales ciudades y puertos que encontraron en su camino, y cuidar que los franceses no realizaran otra actividad fuera de la astronómica. La presencia de los expedicionarios causó gran curiosidad en los círculos políticos y científicos novohispanos, y a su regreso el ingeniero Pauly, amigo de Chappe d'Auteroche, dio a conocer a la *Academia de Ciencias* las aportaciones de los científicos criollos: Antonio Alzate fue nombrado miembro correspondiente y Velázquez de Leon vio su nombre impreso junto con los de los expedicionarios. Esta expedición llegó a buen término cuando las observaciones obtenidas con los instrumentos de Chappe en la ciudad de México y por los marinos españoles Vicente Doz y Salvador de Medina en Veracruz, permitieron eliminar notables errores en las longitudes geográficas del virreinato [Bernau 1989, 15-36].

De gran importancia fue la expedición de Alejandro Malaspina en 1789 con fines políticos y científicos, cuya finalidad fue hacer un balance político, económico, científico y social de los dominios españoles de ultramar; con una duración de cinco años (1789-1794) y una tripulación de doscientos cuatro hombres, recogió gran cantidad de datos astronómicos, hidrográficos, geodésicos, químicos, cartográficos, zoológico, botánico y geofísicos, y numerosos ejemplares de animales y plantas. Durante esos cinco años, llevó a

cabo cuidadosas pesquisas topográficas para la construcción de cartas geográficas; observaciones sobre las costumbres y usanzas de las poblaciones indígenas de los territorios visitados y sobre el tipo de vida de los españoles en sus colonias; estudios sobre las posibilidades de explotación de los recursos mineros y agrícolas; estadísticas de carácter demográfico y económico; e investigaciones sobre defensa de los dominios españoles [Luzzana 1989, 37-48].

La Nueva España fue visitada en 1791, los ilustrados novohispanos y españoles residentes en la colonia respondieron al llamado del conde de Revillagigedo para apoyar las necesidades materiales e intelectuales de la expedición. Por ejemplo, León y Gama los invitó a observar la ocultación de una estrella por la Luna, a este evento asistieron Malaspina, Miguel Constanzó, Diego de Guadalajara y Tello y Francisco Mourelle de la Rúa. Malaspina visitó gabinetes, bibliotecas y algunos lugares de la ciudad. Conoció a Fausto de Elhuyar, Eugenio Santelices y Daniel O'Sullivan, entre otros; Santiices, fiscal del *Real Tribunal de Minería*, elaboró para ellos un diccionario español-nutkense-nahuatl. La expedición de Malaspina coincidió con la real expedición botánica de Nueva España, iniciada en 1788 y que se extiende hasta 1802, dirigida por Martín Sessé, quien se entendió con el naturalista Antonio Pineda para intercambiar información, pero además Vicente Cervantes y Luis Néé hicieron excursiones botánicas apoyando a Pineda. En el campo astronómico, Antonio de León y Gama puso su observatorio a disposición de Malaspina y sus compañeros; mientras Diego de Guadalajara y Tello les arregló diversos instrumentos y desarrolló para ellos un cronómetro. En tanto que Cirio González de Carvajal dispuso de sus conocimientos y de su casa para los expedicionarios; y Antonio Alzate y Ramírez regaló instrumentos y realizó varias excursiones por la ciudad, puso también su casa, su gabinete y su biblioteca al servicio de la expedición. De esta manera queda asentada la importancia de las aportaciones de los novohispanos a esta gran empresa [González Claverán 1989, 427-438].

Uno de los acontecimientos de gran alcance científico fue la expedición enviada por Carlos III en 1786, para explorar la parte septentrional de América sujeta al dominio de España; dirigida por el naturalista Martín Sesse y Lacasta (1751-1809) y por Mariano Mociño (1758-1819), con la colaboración de Jacobo Senseve, José Longinos Martínez,

Vicente Cervantes y el dibujante Juan Cerda. El fruto de esta expedición fueron dos obras: *Flora mexicana* y *Plantae Novae Hispaniae*, que incluyeron la descripción de cuatro mil especies y una colección a colores de plantas y animales. La expedición permaneció en la Nueva España desde mediados de 1786 hasta mediados de 1803, sus exploraciones abarcaron desde el territorio de las Californias hasta el de Costa Rica. Esta expedición naturalista trajo como consecuencia la fundación del Jardín Botánico [De Gortari 1963, 251-54; Saladino 1996, 51-52].

Aunque no con la relevancia de las expediciones mencionadas, también se realizaron viajes al interior de la Nueva España, donde varios catedrático o personajes de puestos importantes en la colonia, fueron comisionados para realizar alguna tarea específica, por ejemplo: Dos comisiones que, en 1769, salieron simultáneamente de la Paz, una a cargo de Miguel Constanzó y otra a cargo de Juan Crespi y luego Junípero Serra (1713-1784), uno por mar y los otros por tierra, para encontrarse los tres en Los Ángeles y seguir hasta San Francisco. Cinco años después se realizó la expedición de Juan Pérez, que salió de San Blas y llegó hasta la punta de Santa Margarita, al norte de la isla de Lángara. Ese mismo año, Agustín Cramer levantó un plano del Istmo de Tehuantepec (1774) y más tarde, de 1776 a 1777, Miguel de Corral y Joaquín de Arabda levantaron uno nuevo [Larroyo 1982, 56; De Gortari 1963, 255]. Se realizaron otras expediciones cuyo fin fue levantar planos o cartas geográficas de la Nueva España, como la de 1775 por Bruno Ezeta; la de Miguel Constanzo en 1779; la de Antonio Foncada en 1787 y finalmente la de Carlos de Urrutia en 1793, donde se estableció la nueva división política de la Nueva España.

De esta manera, se exploraron las costas del noroeste del continente americano, se reconocieron las del Golfo de México, se recorrió el territorio de la Nueva España en varias direcciones, se hicieron observaciones astronómicas, se levantaron mapas de las provincias e intendencias, y se mejoraron las cartas generales de la Nueva España [De Gortari 1963, 256]. Entre 1804 y 1806, el español Francisco Javier Balmis realizó un viaje para aplicar la vacuna contra la viruela, y escribió un tratado de medicina donde habló de la curación de la sífilis; no fue exclusivo de la Nueva España [López Piñero 1983, 95-97].

Las expediciones científicas promovidas por la metrópoli no circunscribieron su acción al inventario de los recursos naturales de las colonias, ni redujeron sus resultados al mero esclarecimiento de las cuestiones que investigaron, sino que influyeron decisivamente para la implantación de la ciencia moderna en las colonias, difundiendo la investigación experimental, comunicando los logros de los trabajos europeos y formando en las aulas y en la investigación misma a mentalidades abiertas a la necesidad de explorar la naturaleza y verificar los conocimientos [Saladino 1996, 54]. Más adelante analizaremos el papel de la ciencia newtoniana en las expediciones científicas

1.5 LAS SOCIEDADES ECONÓMICAS DE AMIGOS DEL PAÍS

Dentro del ambiente de inquietudes por la renovación cultural en las colonias americanas dominadas por España, las organizaciones que expresaron ese espíritu fueron las *Sociedades Económicas de Amigos del País*, que tuvieron intereses culturales y científicos. Surgieron estimuladas por la corona española en la segunda mitad del siglo XVIII como parte de la política de profundización del desarrollo económico, pues las Sociedades de Amigos del País en España giraron en torno al fomento de la agricultura y de la industria, propagaron la cruzada económica para el beneficio social, que vendría dado por la ciencia. La Nueva España no contó con una organización de esta naturaleza, pero varios de los intelectuales novohispanos actuaron como si tuvieran una, pues lo hicieron al amparo de la primera sociedad creada en España. La *Sociedad Bascongada de Amigos del País* otorgó oportunidades para que sus miembros actuaran en América e incluso afilió a criollos y tuvo delegados en Veracruz y Yucatán, a tal grado que de sus 1230 socios con que contaba en 1793, el 19% residía en América y cerca de doscientos vivían en la Nueva España [Saladino 1996, 54-61].

Los novohispanos que se incorporaron a la *Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País*, constituyeron un grupo social líder en los ámbitos intelectual, económico y político que proporcionaron las condiciones para [Torrales Pacheco 1993, 86-87]: La prolífica expresión intelectual, científica y humanística en las últimas décadas del siglo XVIII y las primeras del XIX; y la adecuación de la economía novohispana a las reformas que apuntó el estado borbónico, y que favorecieron el ascenso de la actividad económica; entre otros. Varios de sus miembros lograron conformar las más grandes fortunas de la

Nueva España en comercio, minería, agricultura y ganadería; y fueron promotores de colegios jesuitas en los principales centros urbanos. La organización de la sociedad permitió que a través de ellos se realizaran múltiples inscripciones en todo el territorio novohispano, se publicaran diversos textos ilustrados para la instrucción pública y circularan periódicos europeos y americanos donde se divulgaron textos ilustrados.

Una sociedad de corte intelectual, interesada en el cultivo de las ciencias y las artes, encontró un terreno fértil en la Nueva España, gracias a la labor de los jesuitas en sus colegios. No es fortuito que muchos jesuitas fueran vascos que inspiraron a los criollos a ingresar a sus órdenes o escuelas; y que con su expulsión muchos de sus discípulos ocuparon las cátedras en la universidad y otros centros de enseñanza.

Algunos de sus prominentes miembros fueron: José Antonio Alzate y su padre Juan Felipe de Alzate; Jerónimo Antonio Gil, director de la *Academia de San Carlos*; Miguel Páez de la Cadena, director general de las alcabalas y superintendente de la aduana de México; Fernando Joseph Mangino, superintendente de la *Casa de Moneda* de México; los arquitectos Juan Ignacio de Castera y Francisco Guerrero; los médicos Domingo Rusi, cirujano de la armada y del *Colegio de las Vizcainas*, y Cristóbal de Tamariz, médico del *Hospital Militar de San Carlos*; mineros interesados en la ciencia como Francisco Javier Gamboa, Juan Lucas de Lassaga y Joaquín Velázquez de Leon; intelectuales como José Ignacio Bartolache, el doctor Antonio de Andonaegui y Fausto de Elhuyar; miembros del gobierno como Bucareli y el segundo conde de Revillagigedo.

Así como gobernadores o intendentes, alcaldes y regidores de los gobiernos regionales y locales, miembros de los aparatos de justicia, del ejército y de la hacienda pública, como Agustín Cramer, coronel de los reales del ejército y gran ingeniero; Agustín Echeverría Orcolaga, abogado de la audiencia y de los presos, canónigo de diversos estados; Diego de Lanz, recaudador y contador de la hacienda; Ambrosio Meave, comisionado de la Real Sociedad; Manuel Moreno, director del *Anfiteatro de Anatomía* de México; el calificador del Santo Oficio, Fray Agustín Morfi; Juan de Santelices, juez de alzadas y defensor del banco de avíos; Francisco Xavier Sarria, director de la lotería; y Francisco Leanda Viana, juez del estado y oidor [Torrales Pacheco 1993, 95-118; Vidal Abarca 1993, 119-134; Trabulse 1989, 529-530].

Todos estos personajes impulsaron algunas de las principales instituciones académicas consagradas a la ciencia, como el *Real Seminario de Minería*, la *Real Escuela de Cirugía* y la *Academia de San Carlos*; además figuran entre los divulgadores del saber científico con publicaciones en gacetas, revistas y diarios, entre otros; aunado a ser funcionarios en la capital virreinal.

1.6 LAS NUEVAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

El gobierno de Carlos III, a la vez que abrió las puertas al comercio internacional, propició también la introducción de las teorías científicas modernas, tanto en España como en las colonias americanas. A este fenómeno cultural impuesto por las condiciones económicas y políticas de la época correspondió el establecimiento en México de las primeras instituciones educativas dispensadas de la dependencia eclesiástica, las cuales se caracterizaron por funcionar a través del auspicio de los patronatos particulares o bajo la tutela del gobierno [Ramos Lara 1991, 16-20]. La mayoría de estas nuevas instituciones tomaron como modelo a sus homólogas españolas, recibieron como directores y catedráticos a peninsulares que se formaron en los principales centros europeos [Hamnett 1985, 20; López García 1992, 19-20]. Entre las instituciones más representativas se encuentran:

1) **Colegio de las Vizcainas:** La secularización de la enseñanza se inició en la Nueva España con la fundación del *Colegio de las Vizcainas* en 1767, impartió enseñanza en artes y oficios para mujeres. Después de una lucha de dieciséis años (1751-1767) entre el clero de la ciudad que pretendía someter el colegio a su poder, y el grupo de vascongados agrupados en la poderosa Cofradía de Aranzazu, el *Colegio de San Ignacio*, más conocido como el *Colegio de las Vizcainas*, abrió sus puertas [Trabulse 1985b, 36-41; Larroyo 1982, 190-92].

2) **Escuela de cirugía:** La fundación del *Colegio de las Vizcainas* fue seguida inmediatamente por otras. En 1768, se decretó la fundación de la *Real Escuela de Cirugía*, independiente de la universidad y conforme a los lineamientos de los entonces recientes colegios de cirugía establecidos en España. A diferencia de la Facultad de Medicina de la universidad, en la nueva escuela, llamada de cirujanos romancistas, las clases fueron

prácticas, sobre cadáveres, se leía en español (de ahí el sobrenombre romancista) y ya no en latín como era tradicional. Fue fundada a moción de los cirujanos Antonio Velázquez de León y Domingo Rusi [López García 1992, 22].

3) Real Academia de San Carlos: En 1781 se agregó a estas dos fundaciones el establecimiento de la *Academia de las Nobles Artes de San Carlos*, dedicada a la enseñanza de pintura, escultura y arquitectura. En el siglo XVIII, prevaleció en la Nueva España un estilo barroco que tuvo su origen en el español, aunque adquirió mayor complejidad que éste. Pero con la modernización a fines del XVIII, España se hizo permeable al neoclásico, estilo en boga en Europa –a partir del descubrimiento en 1752 de Pompeya y Herculano, dos ciudades romanas antiguas–. Con un acto solemne de inauguración y con la presencia del virrey Bernardo de Gálvez, el arzobispo de la ciudad y los miembros más connotados de la burocracia virreinal y de la alta sociedad novohispana, se inauguró el colegio. En 1782, Miguel Constanzó impartió clases de geometría y para el 22 de agosto del mismo año se dieron los primeros premios. Por fin, en 1785, la Real Orden dio los lineamientos para su funcionamiento. La iniciativa para fundar la academia partió de Fernando Mangino, quien propugnaba por un establecimiento que permitiera organizar e impulsar el desarrollo de las artes plásticas; en esta institución enseñó el gran escultor Manuel Tolsá [Menegus 1998, 197; Brown 1976, 25].

4) Jardín Botánico: La importante expedición botánica enviada por disposición de Carlos III en 1786, a cargo de Martín Sesse y Lacasta y por Mariano Mociño, trajo como consecuencia la fundación del *Jardín Botánico de México*. Llegó a reunir seiscientas especies, gracias a la expedición, y contribuyó a elevar los conocimientos médicos y la farmacopea. En 1788, se creó la cátedra de botánica a cargo de Vicente Cervantes donde se siguieron las ideas de Linneo [López García 1992, 22]; sobre esta teoría se dio una interesante disputa que será retomada más adelante.

5) Real Seminario de Minas: El quinto establecimiento laico de enseñanza, y el de mayor envergadura científica, fue el *Real Seminario de Minería*, inaugurado en 1792 por el virrey Revillagigedo. La fundación del *Seminario de Minería* se llevó a cabo bajo la dirección del español Fausto de Elhuyar (1755-1833) –descubridor del elemento 74, el volframio, junto con su hermano Juan José–. La finalidad de este seminario consistió en formar técnicos

preparados para dirigir el laboreo de las minas y el beneficio de los metales, propósitos que respondieron a las necesidades inaplazables de mejorar la explotación de las riquezas del subsuelo, y en particular, el aprovechamiento de los minerales relativamente pobres y la ampliación del beneficio de los minerales de plata [Ramos Lara 1991, 25-31].

El proyecto del seminario fue formulado con anterioridad a su fundación por Juan Lucas de Lassaga y Joaquín Velázquez Cárdenas de León, además de promover la creación del *Tribunal de Minería*, e inspiraron, junto con Francisco Javier Gamboa, la expedición de las *Reales Ordenanzas de Minería* en 1783. La primera casa de la ciencia en México, como titula Izquierdo [1958] su libro sobre la primera etapa del colegio, tuvo maestros como Andrés Manuel del Río y Francisco Antonio Bataller, este último fue el primer profesor de física experimental en la Nueva España, y dejó un manuscrito en cuatro tomos sobre la materia, donde siguió ideas de Newton, entre otros [López García 1992, 27]. Este texto será analizado en detalle posteriormente.

El *Colegio de Minería* tuvo laboratorios de física, mineralogía, y química de análisis metalúrgicos, que fueron los primeros laboratorios científicos modernos que hubo en la Nueva España [Bargallo 1966, 146]. Además de estas importantes funciones educativas, el *Colegio de Minería* sirvió como recinto adecuado para el desarrollo de las investigaciones y trabajos de laboratorio de Elhuyar, Andrés Manuel del Río, Francisco Antonio Bataller, Vicente Oteiza y otros. Estos trabajos fueron combinados con la ejecución de explotaciones en el campo y con su aplicación técnica en las minas. Durante su estancia en la Nueva España, el colegio tuvo a Humboldt como profesor extraordinario de geología y examinador de mineralogía [Castera 1841, 57-60].

Por su carácter científico, fue el establecimiento más independiente de la organización eclesiástica, sirvió igualmente para que aumentara la entrada y la circulación de los libros científicos, con la consiguiente propagación de las ideas modernas; también fue el conducto para que se conocieran y utilizaran las ventajas de muchos aparatos e instrumentos, tanto dentro de la investigación experimental en el laboratorio como en las exploraciones hechas en el campo. De ahí su importancia en la difusión de Newton y su aplicación práctica en la industria minera, como veremos más adelante.

En estos cinco establecimientos de enseñanza laica en México durante el último tercio del siglo XVIII, se destacó la convicción racionalista de que todos los argumentos se basaran en la discusión libre y constructiva, y la necesidad experimental de partir de los hechos y volver a los mismos para verificar las conclusiones establecidas. Por esto, la creación y el funcionamiento del *Seminario de Minería* representó la realización concreta más importante del movimiento científico [Ramos Lara 1991, 60-63]. En el siguiente capítulo analizaremos este establecimiento con más detalle.

1.7 LAS PUBLICACIONES COMO MEDIO DE DIFUSIÓN

Las publicaciones ilustradas del siglo XVIII tuvieron preocupaciones legítimas de la época, al ocupar espacios para informaciones científicas y técnicas con el fin de aminorar situaciones críticas de alimentación, agricultura, ganadería, minería, salud o alternativas técnicas. La principal influencia de la prensa latinoamericana fue sin duda el modelo europeo. La proeza de personalidades, el apoyo al despotismo ilustrado, el influjo de la prensa europea, la existencia de sociedades económicas y las experiencias periodísticas anteriores, permitieron que el siglo XVIII experimentará un auge de publicaciones periódicas y un interés en las obras originales de los principales personajes de la ciencia moderna. Diversas fueron las funciones sociales que se derivaron de ello: La popularización del español como medio de comunicación escrita, el compromiso de búsqueda del beneficio social con la divulgación de informaciones útiles, el ambiente creado para la ilustración latinoamericana, la función educativa y el impulso al progreso [Saladino 1996, 66-88].

En este siglo se mezclaron dos formas de divulgación científica: La propagación de las teorías científicas contemporáneas producto de la herencia cultural del siglo XVII, y la transmisión de la ciencia que continuamente fue introducida en Europa. En el primer caso, permitió que diversos trabajos que se elaboraron un siglo antes fueran consultados, para posteriormente continuar realizando estudios en la misma línea; como en el caso de la astronomía. El segundo, consistió en la imitación del estilo de divulgación científica europea que se llevó a cabo a través de publicaciones que iban desde diarios, semanarios, gacetas, revistas y periódicos que incluyeron desde artículos de difusión, hasta impresiones de libros de texto especializados [Saladino 1998, 54; Moreno Corral 1992, 322]

Para el siglo XVIII, en España aparecieron varios periódicos y diarios destinados a difundir los conocimientos científicos, principalmente de carácter práctico, como fueron: *Semanario económico*, *Correo de Londres*, *Correo Mercantil de España y sus Indias con noticias importantes de Comercio, Agricultura, Navegación*, *Correo Literario de Europa*, *Semanario literario y curioso*, *Diario Pinciano*, *Diario curioso histórico-erudito comercial, civil y económico* de Barcelona, *Diario de Barcelona*, *Diario de los literatos de España*, *Gazeta de Comercio, literatura y política*, *Mercurio de España*, y *Semanario Patriótico de España*, entre otros [Sarrailh 1981, 468; Saladino 1996, 65-66]. Incluso existieron periódicos en la Nueva España con la misma designación europea, como en el caso de Antonio Alzate que denominó *Observaciones sobre Física, Historia Natural y Artes Útiles* a uno de sus periódicos, que concuerda en nombre con el periódico francés que dirigió Jean Francois Rozier, *Observations sur la Physique, sur L'Histoire Naturelle et sur les Arts*. Algunas de las publicaciones mencionadas llegaron a la Nueva España, aunque también aquí se hicieron publicaciones de carácter científico y práctico; pero ante la falta de interés, el costo se vio subsidiado por los propios autores, lo que produjo una diversidad de publicaciones aunque de corta vida.

En la Nueva España las publicaciones científicas se clasificaron en: Diarios, semanarios, gacetas, revistas y periódicos diversos. Entre los autores que sobresalieron por su interés en difundir las teorías científicas innovadoras se encuentran: José Antonio Alzate y Ramírez, José Ignacio Bartolache, Diego de Guadalajara y Tello, Juan Benito Díaz de Gamarra, José Mariano Mociño, Francisco Javier Gamboa, Antonio de León y Gama, y Joaquín Velázquez Cárdenas de León [Saladino 1998, 55, Moreno Corral 1992, 322]. Las primeras revistas que aparecieron fueron la *Gaceta de México y Noticias de Nueva España* de Juan Ignacio de Castoreña y Ursúa en 1772, la cual a partir del sexto número se transformó en *Florilegio Historial de México y Noticias de Nueva España*; y la *Gaceta de México* de Juan Francisco de Sahagún de Arévalo Ladrón de Guevara entre 1728 y 1739. Ambas divulgaron asuntos de tipo científico, de manera descriptiva e histórica [Trabulse 1983, 73; Saladino 1996, 68].

En 1768, surgió la primera publicación periódica científica con el nombre de *Diario Literario de México*, publicada por José Antonio Alzate, de tres meses de vida. En 1772, él mismo publicó *Asuntos varios sobre ciencias y artes que dejó de publicarse a principios de 1773*. En 1787, apareció *Observaciones sobre la Física, Historia Natural y Artes Útiles* que terminó de publicarse en 1788, cubriendo catorce números. Y en 1788, *Gacetas de Literatura de México* (1788-1795). La mayor parte de los artículos que aparecieron en estas revistas fueron descriptivos, sin embargo hay otros donde se reportaron resultados originales realizados por mexicanos, principalmente de carácter astronómico [Pérez 1945, 53; Saladino 1998, 50]. Algunos de ellos serán analizados más adelante.

Entre 1772 y 1773, José Ignacio Bartolache publicó la primera revista periódica médica, *Mercurio Volante* con noticias importantes y curiosas sobre física y medicina. Como tuvo por propósito corresponder al cultivo de las letras, de los estudios y de las ciencias útiles, los contenidos de los dieciséis números no quedaron reducidos a la física y a la medicina, ya que albergó información relacionada con la alimentación, la tecnología, traducciones y hasta alguna disputa. En 1777, Diego de Guadalajara y Tello publicó *Advertencias y reflexiones varias conducentes al buen uso de los relojes* [García del Real 1921, 43-45; Piña 1994, 45]. Entre 1784 y 1809, Manuel Antonio de Valdés publicó su periódico titulado *Gacetas de México, compendio de noticias de la Nueva España*, también de carácter científico, con tendencias a analizar asuntos de biología y medicina. Respecto a física sólo se describieron algunas máquinas, como la aerostática y la de vapor. Más tarde, Carlos María Bustamante y Jacobo de Villaurrutia publicaron entre 1805 y 1817 el *Diario de México*, y nuevamente Manuel Antonio Valdés publicó en 1809 un *Correo semanario, político y mercantil de México* [Ramos Lara 1994, 33; Saladino 1966, 70-74]. Hubo también publicaciones científicas personales que refirieron trabajos realizados en México por novohispanos, y en pocas ocasiones intervinieron extranjeros. Generalmente fueron reportes de investigaciones u observaciones hechas en México. Así también existieron libros que llegaron a ser básicos o de texto para algunos colegios [Saladino 1998, 54].

Por otra parte, en esta época, se planteó la necesidad de hacer un inventario de la producción científica de la Nueva España para conocer las obras realizadas anteriormente por los mexicanos; en el terreno bibliográfico esta tarea fue emprendida por Juan José de

Eguiara y Eguren (1696-1763). En 1755, publicó el primer volumen de su *Bibliotheca Mexicana*, en la cual recogió y sistematizó la producción literaria y científica de México, desde antes de la llegada de los españoles hasta mediados del siglo XVIII, incluyendo tanto las obras publicadas como las inéditas y manuscritas, y de cuantos autores tuvo noticias, ya fueran nacidos o radicados en la Nueva España. José Mariano de Beristáin y Souza (1756-1817) continuó con esta labor en su *Bibliotheca hispanoamericana septentrional o catálogo y noticias de los literatos, que o nacidos o educados o florecientes en la América septentrional española, han dado a luz algún escrito o lo han dejado preparado para la prensa*, cuyos tres volúmenes aparecieron en México como fruto próspero de la colonia entre 1816 y 1821 [Saladino 1998, 19].

A través de las publicaciones, se observa que después de un periodo de divulgación, comenzó el de la producción de conocimientos prácticos o útiles. Los contenidos de las diversas publicaciones periódicas no sólo registran hechos, propagan información, crónicas sucesos, sino que expresan el espíritu de transmisión de contenidos científicos y técnicos útiles. Con frecuencia transcribieron artículos de pensadores y científicos europeos que fueron reproducidos mediante traducciones para apoyar situaciones de cambio que fomentaron los intelectuales, o para actualizar a los colegas y así dar testimonio del nivel alcanzado en determinado campo del saber científico. Claro que no sólo para imitar lo que se hacía en otras partes es que se presentaron los avances sino también para confrontar posiciones que fueron motivo de polémicas, como la de Alzate hacia los sistemas propuestos por Linneo y Lavoisier.

Respecto a los libros de texto, dos fueron los que se escribieron en la Nueva España para enseñar física en las instituciones escolares. El libro de *Elementos de Filosofía Moderna* de Benito Díaz de Gamarra, escrito en 1774 con la idea de enseñar física moderna, entre otras cosas, en la cátedra de filosofía del *Colegio de San Francisco de Sales*. El otro libro fue el de Francisco Antonio Bataller, *Principios de Física y Matemáticas* [Junco de Meyer 1973, 34]. Estos libros serán analizados más adelante.

Otra fuente importante de libros fueron las bibliotecas personales que tuvieron la virtud de contener libros de carácter científico. Cuatro pueden citarse como representativas [Saladino 1988, 59]: La de Juan José Eguiara y Eguren, integrada por mil ciento cuarenta y

un tomos; la de José Ignacio Bartolache con setecientos doce volúmenes, de los cuales dieciséis eran de ciencias naturales, diez de geografía, veinte de física, quince de matemáticas, setenta y cinco de medicina y veintiuno de química; la de Manuel Antonio Gorriño, discípulo de Benito Díaz de Gamarra, con doscientos cincuenta y nueve; la de Antonio de León y Gama con setecientos, donde fueron mayoría los de ciencias modernas y técnicas. Así también científicos como José Antonio Alzate, Vicente Cervantes, José Antonio Mociño y Joaquín Velázquez de León, entre otros, formaron ricos fondos

Tendremos ocasión de retomar estas obras para mostrar su importancia en el desarrollo de la ciencia moderna en la Nueva España, en especial cuando revisemos en qué se basaron nuestros intelectuales novohispanos para fundamentar las aplicaciones de la ciencia moderna a las necesidades coloniales; y en particular, el papel de Newton.

1.8 LAS MATEMÁTICAS Y LA FÍSICA EN EL SIGLO XVIII EN ESPAÑA Y EN LA NUEVA ESPAÑA

En la Europa del siglo XVIII el terreno de la investigación en matemáticas difiere de un país a otro, mientras que Francia y Suiza ejercieron supremacía, seguidos de Alemania, los Países Bajos e Italia, la escuela inglesa prosperó a comienzos de siglo con Newton. Los discípulos de Leibniz (1646-1716) desarrollaron el cálculo de diferencias, cuyos principales representantes fueron los hermanos Bernoulli, Jacob (1654-1705) y Johann (1667-1748), y L'Hospital (1661-1704). Por su parte, la escuela francesa sobresalió con los estudios de Maupertuis (1648-1759), Clairaut (1713-1765) y D'Alembert (1749-1822) y se consolidó a finales de siglo con las actividades matemáticas de Lagrange (1736-1813), Laplace (1749-1827) y Monge (1746-1819) [Collete 1979, 139-140].

En la centuria anterior, las investigaciones de Galileo (1564-1642) y de Newton (1642-1727) marcaron las líneas de investigación en física y astronomía, que siguieron los intelectuales del periodo ilustrado. Para ellos la mecánica celeste fue de gran interés ya que proporcionó diversos problemas nuevos que correspondieron a necesidades concretas del país y cuya solución requiere de nuevas matemáticas. Los matemáticos de esta época no se concentraron sólo en la teoría, sino trataron problemas prácticos y tecnológicos Euler (1707-1783) se interesó en náutica, balística, óptica y cartografía. El enciclopedista

D'Alembert (1717-1783) se ocupó de mecánica aplicada y astronomía; por su parte Monge (1746-1819) abordó problemas de excavación, terraplenes y molinos de viento, con la misma minuciosidad que con los problemas de geometría diferencial. Por lo que la actividad de este periodo no se limitó a un sólo campo [Lazo 2001, 380-381].

En el siglo de las luces, el álgebra, la geometría analítica y el cálculo infinitesimal sufrieron grandes cambios. Se manifestó un esfuerzo por parte de los científicos por utilizar nuevas herramientas y deducir otras, como por ejemplo: Series infinitas, ecuaciones diferenciales, ecuaciones en derivadas parciales, geometría diferencial, cálculo de variaciones y ecuaciones de grado superior a cuatro. Asimismo, se realizó la aplicación de números complejos y su representación gráfica, renació la teoría de los números con Euler y con Lagrange se conocieron las primeras aplicaciones del cálculo de probabilidades [Lazo 2001, 381; Rey Pastor 2000, 132-38]. Aunque hubo muchos esfuerzos individuales por difundir en Europa los adelantos científicos de la época, el proceso fue gradual. Por ejemplo, Francia y España iniciaron de forma distinta, lo cual se reflejó en su desarrollo cultural y científico [Cue 1975, 120].

En Francia, a mediados de siglo XVIII, aún se enseñaba la filosofía escolástica en los colegios y en las universidades. Esto produjo fuertes protestas de la gente que cultivaban las nuevas teorías y que quisieron implantarlas, como D'Alembert, Voltaire, Helvétius, Saverein, Deslandez y Diderot, entre otros. De 1748 a 1770, se dio una lucha entre los sistemas escolásticos y la física experimental [Mornet 1980, 160-63]. Fue hasta 1780 cuando esta generación revolucionaria llegó a amenazar seriamente el antiguo espíritu de los colegios. Después de esta década, algunos colegios compraron instrumentos de física, hubo capillas que se convirtieron en salas de física y surgieron prospectos de colegios dedicados a enseñar diversas disciplinas y lenguas modernas [Mornet 1980, 277].

En España, durante los reinados de Felipe V y Fernando VII, surgieron varios críticos que abogaron por un espíritu científico, como Jerónimo Feijóo. Fernando apoyó el progreso de la ciencia, pero Carlos III lo hizo con mayor intensidad; en su reinado se creó un jardín botánico y un museo de historia natural. En Madrid, se impartieron clases de física, química y mineralogía; se publicaron diversos tipos de periódicos científicos [Herr 1958, 37- 44], y se fundaron las *Sociedades Económicas de Amigos del País* en Madrid, Barcelona,

Zaragoza, Valencia, Sevilla y las provincias bascongadas. Los ilustrados españoles estuvieron fuertemente influidos por la ilustración francesa y, en menor escala, por la inglesa [Hamnett 1985, 33].

Carlos III, en su decisión por modernizar las universidades, intentó, en 1769, reorganizar los antiguos programas académicos exjesuitas, destruyendo el escolasticismo e introduciendo a Descartes. En 1770, el Consejo de Castilla ordenó a todas las universidades actualizarse; entre las materias que introdujo se encontraron las matemáticas y la física experimental [Palacio 1978, 113]. En 1774, el rey ordenó a los profesores de las universidades escribir sus propios textos, siendo Francisco Villapando el primero en escribir un libro de física [Herr 1958, 164-169]. Con la guerra de Independencia y el reinado de Fernando VII, sobrevino para el desarrollo científico español un periodo, que López Piñero [1969, 11] denomina de catástrofe, del que España se recuperó hasta mediados del siglo XIX.

Las matemáticas

El siglo XVIII, que comenzó en Europa con la asimilación de la obra científica de Newton y Leibniz, en especial el cálculo de las fluxiones del primero y la homóloga del cálculo de las diferencias del segundo, y que continuó con el reinado de los Bernoulli, encontró a la Nueva España con un atraso notable en adelantos científicos, que se agudizó a medida que el siglo avanzó con el lucimiento de la matemática en Europa, y que contrastó con el estancamiento de la misma en América [López García 1992, 28].

En Europa, este siglo tuvo una constelación de matemáticos: Bernoulli, Euler, Lagrange, Monge, D'Alembert, y Lambert, entre otros. Los cuales apoyados por las academias de ciencias de las ciudades más grandes de Europa, subsidiadas por el estado o directamente dependiente de él, y por los centros superiores de enseñanza que cada vez tuvieron más relevancia, hicieron que se desarrollaran en el ya frondoso árbol matemático nuevas y vigorosas ramas, o que se fortalecieran las antiguas; de tal manera que, para fines de siglo, se alcanzó un alto grado en la conceptualización del cálculo, se transformaron sus fundamentos y desarrolló su aparato operatorio y el campo de sus aplicaciones; se creó el cálculo variacional, la geometría analítica tridimensional (que alcanzó casi el desarrollo

actual), la teoría de los números, las premisas del álgebra moderna, la teoría de las probabilidades y la del análisis combinatorio, entre otras [Ribnikov 1987, 54].

También comenzó la era de los libros de texto: El primero de cálculo, al decir de Boyer [1986, 120] es el de L'Hospital quien se basó en los apuntes de Jean Bernoulli. Aparecieron varios de álgebra como los de Clairaut, Euler, McLaurin, Simpson; también de este último fueron los *Elementos de Euclides* del que llegaron a publicarse veinticuatro ediciones, hasta 1834, además de varias traducciones. Proliferaron los textos de geometría analítica, ya con este nombre, del mencionado Clairaut, de Euler y el *Cours de Mathématique* de Bezout, del que fue deudor intelectual Benito Bails [Ramírez 1982, 42].

Las matemáticas en España

Casi nada contribuyó España a este espectacular desarrollo de las matemáticas, la astronomía y la física en el siglo XVIII, pero merecen citarse algunos personajes destacados: Juan Caramuel (1606-1682), quien nació en Madrid, estudió en Alcalá y se doctoró en Lovaina. La mayor parte de su vida la pasó en el extranjero, incursionó en disciplinas como: Musicología, gramática, historia, filosofía y en ciencia en general, sin llegar a profundizar en ninguna de ellas; sin embargo su mérito estribó en ser un puente entre las corrientes matemáticas y astronómicas europeas y el entorno científico español. En su libro, *Cursus Mathematicus*, que consta de cuatro partes y está dedicado a astronomía, arquitectura y matemáticas, contribuyó a la elaboración de tablas de logaritmos perfectos que fueron los primeros en publicarse en español, se apoyó para sus escritos matemáticos en Descartes. José de Zaragoza (1627-1679), clérigo jesuita cuyo acervo de escritos aborda temas matemáticos y astronómicos. Entre sus obras se encuentran: *Aritmética Universal*, que no estaba al día –no incluye los logros de Cardano, Viète o Descartes–; *Geometría especulativa y práctica* y *Trigonometría española*, que estuvieron encaminadas a la enseñanza. Su obra principal fue *Geometría magna en minimis* [1674], primer texto español que presenta teoremas distintos a los de Euclides. En el campo de la astronomía es donde más sobresalió, incluyó sus propias investigaciones. Tanto Caramuel como Zaragoza fueron citados por Sigüenza y Góngora en su *Libra Astronómica*, donde los nombra sus amigos [López Piñero 1969, 15; Lazo 2001, 382].

Finalmente, terminado el siglo XVII, cabe citar a Vicente Mut (1614-1687) y Antonio Hugo de Omerique (1634-?). A decir de López Piñero [1969, 20], este último tuvo la matemática más valiosa del barroco español. Su *Análisis Geométrica* mereció los elogios de Newton, es de las pocas producciones que representa un progreso real no sólo frente a los clásicos sino con respecto a diferentes aspectos de Descartes y Viète, entre otros. Incluso algunos autores españoles como Navascues [1983, 30] y el mismo López Piñero [1969, 22] lo consideraron, exageradamente, el inventor de la geometría analítica; ya que cuestiona los procesos de análisis y síntesis al estilo newtoniano sin conocer la obra de Newton, esto irremediamente lo llevó a proponer un nuevo sistema de coordenadas para interpretar los puntos en el espacio [López Piñero 1976, 230-231].

A principios del siglo XVIII, Tomás Vicente Tosca (1651-1723) publicó su *Compendio de Matemáticas* (1697-1715) en nueve volúmenes, en el que recogió lo más avanzado del desarrollo científico inmediatamente anterior a Newton; constituyó una síntesis de los saberes matemáticos y físicos de la época con sus aplicaciones técnicas. La parte más valiosa se refirió a la física, donde en forma un tanto velada, se muestra partidario de la teoría heliocéntrica [Trabulse 1985, 140]. Su obra fue vehículo para la difusión en América de las nuevas teorías físico-matemáticas.

Mateo Calabro, director de la *Academia Militar de Matemáticas de Barcelona* desde su creación en 1720 hasta 1738, dejó sus manuscritos de matemáticas. En 1724, se fecha un trabajo titulado *Escuela de Matemáticas. Definición y división de la Matemática*, que recogió en letra de su alumno Blas de Lana sus clases dictadas entre 1720 y 1724. Contiene una primera parte de geometría pura: Axiomas, definiciones, ángulos rectilíneos, triángulos, razones y proporciones, y de los sólidos; la segunda parte se integra con elementos de geometría práctica. Un segundo manuscrito de época posterior fue dedicado a la geometría especulativa y se denomina *Tratado de fortificación o Arquitectura Militar dado por el capitán de infantería D. Matheo Calabro, ingeniero en 2ª de los ejércitos de S. Majestad y director general de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona* [Capel 1988, 223-224]. Ya en pleno siglo XVIII, la figura de Jorge Juan y Santacilia (1713-1773), inició el movimiento para la actualización de la matemática española a la época postnewtoniana. Como resultado de la expedición científica organizada por la *Academia de Ciencias de*

París al Perú, juntamente con Ulloa, escribió *Observaciones astronómicas y físicas* [1748] en la que por primera vez se utilizó el cálculo infinitesimal en un texto escrito en español –esta asignatura fue introducida por Benito Bails (1730-1797) en las universidades españolas hasta 1772–; así como la física y la astronomía posteriores a Newton. Escribió *Examen Marítimo* [1774] su obra más renombrada, cuya edición fue ampliada por Ciscar y Ciscar en 1793, quien enriqueció la obra añadiéndole una amplia exposición de los principios del cálculo diferencial e integral y notas al texto [Méndez 1980, 32; Lazo 2001, 382]

Tomás Cerda (1715) dejó lista para publicar su *Álgebra aplicada a la geometría* que fue un excelente tratado de geometría analítica y que contiene métodos para calcular las áreas que se encuentran bajo una curva sin recurrir a fluxiones, y trató los logaritmos hiperbólicos [López García 1992, 32; López Piñero 1983a, 149] A continuación, debe citarse la obra de Benito Bails, seguida de la de Juan Justo García y Mariano Vallejo, pero se analizarán más tarde por su trascendencia en el desarrollo de la enseñanza de las matemáticas y la física en la Nueva España.

Pedro Giannini, profesor del *Colegio de Artillería* de Segovia, publicó en 1803 su *Curso Matemático* en cuatro volúmenes, de los que el tercero fue dedicado al cálculo diferencial e integral. Tadeo López y Aguilar (1753-1802), maestro del *Real Seminario de Nobles* de Madrid, fue autor de un *Curso de Matemáticas* (1749-1798) del que se publicaron tres tomos; su obra mostró los avances de la matemática de Europa al utilizar las obras de Lagrange, Euler, D. Bernoulli y otros. También tradujo la *Física* de Sigaud de la Fond, usada en el *Seminario de Minería* de la Nueva España [Capel 1988, 246].

José Chaix (1766-1811), vicerrector del Real Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos del Estado, publicó en 1801, *Instituciones del cálculo diferencial e integral*, con aplicaciones principalmente a las matemáticas puras y mixtas, donde analizó el método de fluxiones de Newton, de los infinitamente pequeños de Leibniz, el método de límites de D'Alembert y después, siguiendo a Euler, Clairaut y Gaspar Monge, desarrolló la teoría de las superficies curvas de doble curvatura [López García 1992, 33; López Piñero 1983b, 206, 392].

Cipriano Vimercati (1764-1800), profesor del *Colegio de artillería* de Segovia, de la Real Compañía de Guardias Marinas del Ferronal y examinador matemático de la *Universidad de Santiago de Compostela*, redactó un *Curso de Matemáticas* que no publicó, compuesto de ocho tratados, entre ellos el de cálculo infinitesimal [López Piñero 1983, 69-70]

De esta manera, las contribuciones españolas fueron muy inferiores a las del resto del continente, fue hasta principios del siglo XVIII que inició su modernización, como lo muestra la obra de Tomás Vicente Tosca, que refleja el estado de los conocimientos matemáticos en el periodo inmediatamente anterior a Newton, fue la obra más moderna en España, con la que se enseñó también la nueva física [Sarrailh 1981, 158]. El aspecto de la enseñanza de las matemáticas en España será analizado brevemente a continuación, enfatizando la enseñanza del cálculo diferencial e integral por referencia directa a Newton.

En la *Real Academia de San Fernando* de Madrid, donde impartió clases de matemáticas Benito Bails, tomaron forma sus primeros textos de aritmética que culminaron en cuatro tomos de sus *Principios de Matemáticas*, antecesor del tratado en castellano más importante del siglo XVIII, *Elementos de Matemáticas*, publicado entre 1779 y 1787. En el primer tomo de los *Principios de Matemáticas*, desarrolló aplicaciones a: Dinámica, hidrodinámica, óptica, astronomía, geografía, gnomia (se encarga del modo de hacer relojes solares), arquitectura, perspectiva y el calendario; mientras que el segundo se dedicó a las siguientes disciplinas: Aritmética, álgebra, secciones cónicas, dinámica, estática, hidrodinámica, óptica, elementos de astronomía, astronomía física, arquitectura civil, arquitectura hidráulica, tabla de logaritmos y el diccionario de arquitectura [Navascues 1983, 67].

En 1972, se encontraron en la *Academia de Historia* de Madrid, varios manuscritos que le atribuyen al jesuita Tomás Cerdá unas lecciones sobre el *Método de las Fluxiones directo e inverso*, lo que sería el primer texto de cálculo escrito en español, incluso anterior a Bails, pero permanecieron inéditos. Después de Bails, empezaron a proliferar en la península obras didácticas de matemáticas escritas por españoles, entre ellas [López García 1992, 60-65]: Agustín Pedrayes y Foyo, *Nuevo y Universal Método de Quadraturas Determinadas, usado en la Real Casa de Caballeros y Pages de Madrid* [1777] y *Tratado*

de matemáticas [1799]; Pedro Giannini, *Curso de Matemáticas para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería de Segovia* [1779] en cuatro volúmenes, el tercer tomo es de cálculo infinitesimal; Juan Justo García, *Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría* [1782], usado en el *Real Seminario de Nobles* de Madrid y en la *Universidad de Salamanca*; Cipriano Vimercati, *Curso de Matemáticas* [1790] en ocho volúmenes, uno dedicado al cálculo infinitesimal siguiendo a L'Hospital, fue manejado en el *Real Colegio Militar de Artillería* de Segovia; Tadeo López y Aguilar, *Curso de matemáticas para la enseñanza de los caballeros seminaristas del Real Seminario de Nobles de Madrid* [1794]; José Chaix, *Instituciones del cálculo diferencial e integral con sus aplicaciones principales a las matemáticas puras y mixtas* [1801], se utilizó en el estudio de la inspección general de caminos; José Mariano Vallejo, *Adiciones a la geometría de Benito Bails* [1806], *Memorias sobre curvaturas de las líneas* [1807] y *Tratado elemental de matemáticas* [1813] en cinco volúmenes, uno dedicado al cálculo infinitesimal, y *Compendio de matemáticas* [1819]. Las obras de este autor fueron usadas en el *Real Seminario de Nobles* de Madrid y la *Real Academia de San Fernando*; en 1818, Fernando Travesedo M. y Rebolledo Morales traducen al español el *Tratado de Matemáticas* de Lacroix, que fue usado en varias universidades españolas.

En el *Real Seminario de Nobles* fue profesor Juan Justo García, y al agregarse la *Real Casa de Pajes*, impartieron clases Agustín Pedrayes y Foyo, Tadeo López y Aguilar y José Mariano Vallejo. En el *Instituto de Estudios de Inspección General de Caminos*, José Chaix fue profesor. En el *Real Colegio Militar de Artillería* fue profesor Cipriano Vimercati y lo sustituye después, Pedro Giannini. En 1789, llega a la Nueva España José Rodríguez, futuro catedrático de matemáticas del *Real Seminario de Minas* [SEFI 1987, 24].

Las matemáticas en la Nueva España

En la Nueva España no aparecieron los avances matemáticos europeos del siglo XVIII hasta después de la primera mitad del mismo, por lo menos en la universidad, único centro superior que pudo haber recogido los adelantos de la época, ya que recordemos que los colegios jesuitas impartieron preferentemente educación a un nivel inferior por decreto real. El aislamiento de la universidad y las trabas de tipo estatal y religioso se lo impidieron; pero el obstáculo principal fue la estructura mental de los docentes, prudentes de aceptar

innovaciones que les perjudicara con la inquisición o los desacreditara con sus colegas [Izquierdo 1955, 65].

En los primeros cincuenta años del siglo, no surgió alguien de la talla de Diego Rodríguez, quien estuvo al día de los conocimientos de su época; ni de Sigüenza y Góngora que citó con fluidez a los cartesianos y novatores, sus contemporáneos. En esta primera mitad del siglo XVIII, se elaboraron algunas obras. La mayoría no llegó a las imprentas o repetían textos de Pérez de Moya (1514-1573), Caramuel y Tosca. Sólo se encontró una *Aritmética Elemental* [1715] de la que quedaron fragmentos, escrita por Pedro Antonio Vázquez [Izquierdo 1955, 65]

En 1748, se menciona al poblano Antonio de Alcalá, miembro de la comunidad científica, quien escribió un tratado de *Problemas de geometría* [1748] inspirado en el español Zaragoza, que presenta soluciones propias. En 1753, escribió *Geometría fundamental* donde propone tres soluciones erróneas al problema de la cuadratura del círculo. Más adelante, el jesuita Francisco Javier Alegre, escribió sus apuntes de clase *Elementos de Geometría*, una disertación sobre cónicas [Trabulse 1984, 146].

En la segunda mitad del siglo mejoraron las aportaciones matemáticas. Al decir de Alzate [Trabulse 1984, 431], el poblano Agustín de La Rotea escribió *Elementos de Geometría* [1774], texto tradicional, a solicitud de Díaz de Gamarra. También por una serie de referencias se tuvo noticias de que escribió una *Geometría no euclidiana*, lamentablemente perdida. En 1769, José Ignacio Bartoloache publicó sus *Lecciones de matemáticas*, donde expuso algunos conceptos sobre el método matemático y la naturaleza de la matemática, se consideró deudor intelectual de Descartes [De Gortari 1963, 253]. Antonio de León y Gama contestó en forma docta a un artículo anónimo publicado en *La Gaceta* sobre una demostración de la cuadratura del círculo, puso en evidencia sus conocimientos y recapituló las soluciones propuestas desde Arquímedes hasta Leibniz; además de otros trabajos astronómicos que ya mencionamos. Velázquez de León participó con sus conocimientos de matemáticas en la expedición astronómica del paso de Venus por el disco solar, en 1773 practicó la triangulación del Valle de México que fue la primera medición geodésica precisa que se realizó en la Nueva España. Uno de los matemáticos importantes de la época fue Díaz de Gamarra, su texto para los alumnos de filosofía del

colegio de San Felipe fue el primer libro mexicano que introdujo de manera abierta el sistema copernicano y la conceptualización de la física newtoniana para explicar científicamente los movimientos del cosmos [Trabulse 1984, 147; Lazo 2001, 384].

En cuanto al cálculo diferencial e integral, el libro de Juan Justo Garcia se adoptó como libro de texto en la *Real y Pontificia Universidad de México*, aunque no se tiene fecha exacta, y se acoge como texto para la enseñanza de las matemáticas en el *Real Seminario de Minas* a partir del veintinueve de enero de 1793; los otros libros que también se convirtieron en textos de base en Minería y San Carlos fueron los de Benito Bails y Mariano Vallejo [Ramírez 1982, 112; López García 1992, 36]. Así, en la Nueva España, la enseñanza de las matemáticas en lengua castellana estuvo restringida a tres autores: Benito Bails con *Principios de Matemáticas*, Juan Justo García con *Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría*, y José Mariano Vallejo con *Compendio de Matemáticas Puras y Mixtas*. Estas obras serán analizadas posteriormente para establecer la forma de influencia de la física y las matemáticas newtonianas.

Las publicaciones periódicas fueron medios para acrecentar la cultura por sus roles educativos, dentro de esta perspectiva apareció gran variedad de información matemática. En sus páginas se encuentran aludidos los más conspicuos representantes, las principales ramas que componen su estudio, las instituciones que la enseñaron, el valor y utilidad de su cultivo, ciertos temas que sostuvieron a las matemáticas como prototipo y punto de partida para otorgar científicidad a todo conocimiento que pretendiera o se preciara de verdadero. El científico de moda era Newton, quien fue citado prolíficamente. En los diferentes periódicos encontramos referencias recurrentes de matemáticos y libros de matemáticas; autores y libros se usaron para respaldar información o interpretaciones. Entre los matemáticos que fueron citados encontramos [Saladino 1996, 162-163]: Arquímedes, D'Alembert, Benito Bails, Juan Barrenechea, Bernoulli, Cosme Bueno, Lacaille, Descartes, Euclides, Euler, Fontanelle, Galileo Galilei, Diego de Guadalajara, Huygens, Leibniz, Maupertius, Newton, Pascal, Pitágoras, Andrés José Rodríguez y Viète, entre otros.

Las publicaciones que citaron textos de matemáticas fueron [Saladino 1996, 163; Moreno Corral 1992, 325]: *Diario Literario de México: Diccionario matemático y filosófico* de Saverien, y *Centurias de invenciones* de Worcester. *Mercurio Volante*:

Tratado de instrumentos de matemáticas de Bion, y *Diccionario de matemáticas y física* de Saverien. *Asuntos varios sobre ciencias y artes: Tratados de matemáticas* de Jerónimo de Capmany y de Benito Bails, *Principios matemáticos de filosofía natural* de Newton, y *Método de matemáticas*, sin autor. *Gazeta de México: Principios de matemáticas* de Benito Bails, *Aritmética y álgebra aplicada* de Juan Bautista Blanes, *Elementos de geometría* de Clairaut, *Geometría subterránea elemental, teórica y práctica* de Duhamel, *Tablas logarítmicas* de Gardiner, *Lecciones elementales de matemáticas* de Diego de Guadalajara, *Cuadernos de principios de aritmética* de José Martínez de Lizárraga, *Instituciones matemáticas* de Roselli y *Curso de matemáticas* de Sauri. *Gaceta de Literatura de México*: La parte geométrica del *Curso de filosofía* de Díaz de Gamarría compuesta por Agustín de la Rotería, *Geometría subterránea elemental, teórica y práctica* de Duhamel e *Introducción a la filosofía de Newton* de S'Gravesande. *Diario de México: Principios de aritmética* de Benito Bails y *Diccionario matemático y físico* de Saverien. Algunos de los libros incluso se escribieron en la Nueva España, lo que comprueba el creciente cultivo de las matemáticas. Los textos tuvieron una función escolar, pero revelan el dominio de los tópicos de las diversas ramas de las matemáticas.

Las publicaciones periódicas también otorgaron espacios para cubrir los eventos académicos desarrollados en las instituciones que enseñaban matemáticas, como la *Real Academia de San Carlos*, el *Real Seminario de Minería* y la *Real y Pontificia Universidad de México*. No sólo se interesaron en las cuestiones teóricas sino también por ponerlas en práctica, como los alumnos de geometría de la *Academia de San Carlos* que hicieron públicas sus actividades con dos globos aerostáticos en 1785, o las tablas trigonométricas que formuló Juan Bautista Blanes para solucionar problemas en las minas. Se hizo patente su carácter útil y benéfico en múltiples aplicaciones: conteos estadísticos, política, máquinas y herramientas, balística y astronomía, entre otras, y su carácter propedéutico para acceder a la comprensión de otras áreas de conocimiento, y en especial para otorgar científicidad a otros conocimientos [Saladino 1996, 165-185].

Los novohispanos antes mencionados, incluyendo incluso a los que agrupamos en científicos criollos y peninsulares, muestran que existió en la Nueva España una comunidad que se mantuvo actualizada respecto a los adelantos de la época; los productos de sus

trabajos son muestra de ello, por lo que un análisis posterior lo hará evidente. Es de relevancia observar que la universidad a través de su cátedra de astrología y matemáticas fue una opción, no oficial en planes de estudio, para estudiar las matemáticas modernas y en particular de la física newtoniana, aunque también existieron algunos colegios religiosos que apoyaron este fin. Pero otra vía menos formal para adquirir conocimientos la constituyeron los gremios de agrimensores, relojeros, constructores, arquitectos, calendaristas y mineros, como lo muestra la lista de miembros de la Sociedad de Amigos del País [Lazo 2001, 384].

La física

Los problemas de física que fueron colocados en primer plano por el desarrollo del transporte, la industria y la actividad militar parten desde el siglo XVI hasta la segunda mitad del XVIII; la mayoría fueron de naturaleza mecánica: Los problemas de las máquinas simples, el plano inclinado y de los problemas generales de la estática expuestos por Leonardo da Vinci, Cardano, Ubaldo, Galileo y Stevin; la caída libre de los cuerpos y la trayectoria de un cuerpo impulsado, compilados en las obras de Tartaglia, Piccolomi, Galileo, Ricciolo y Gassendi; las leyes de la hidrostática y aerostática, la presión atmosférica, la bomba de aire y el movimiento de los cuerpos en medios resistentes presentados por Stevin, Galileo, Torricelli, Pascal, Guericke y Boyle; problemas de la mecánica celeste y de la teoría de las mareas con Kepler, Galileo, Gassendi, Wren, Halley y Hook.

Estos problemas físicos incluyeron las dificultades de los aparatos para la elevación de pesos y de los mecanismos de transmisión, de importancia para la industria minera y de construcción; los problemas de balística básicos para la artillería; la extracción del agua de las minas y la ventilación de éstas, la fundición de minerales en altos hornos, la construcción de canales y esclusas para la balística interior y para el cálculo de la forma de los navíos [Hessen 1989, 94-100]. En todos ellos Newton aportó importantes resultados, pero serán tratados a parte.

Al mismo tiempo, comienza a desarrollarse la óptica y surgen las primeras observaciones de la electricidad estática y el magnetismo, estas últimas en relación a los

campos magnéticos de la tierra que se observaron en la brújula durante ciertos viajes marítimos; mientras que la óptica recibió impulso gracias a la navegación [Mason 1988, 9-20]. Estos intereses dieron origen a un esfuerzo organizado y consciente por utilizar la ciencia con propósitos prácticos. La *Royal Society* de Londres y la *Académie des Sciences* de París, se crearon bajo el amparo del Estado y los comerciantes, con el fin de resolver problemas técnicos de navegación, artillería, mecánicos e hidráulicos. La industria minera, por ejemplo, requirió del uso de bombas y éstas a su vez del conocimiento del vacío y las leyes de los gases; leyes que fueron útiles también para el perfeccionamiento de la máquina de vapor [Kamen 1986, 104].

La ciencia, hacia finales del siglo XVII, se había fortalecido al incorporar la observación, la experimentación y las representaciones matemáticas. Se conocían los trabajos de Galileo, Huygens, Kepler, Copérnico, Mariotte, Torricelli, Fermat, Leibniz, Tartaglia, Descartes y Newton, entre otros. Para el siglo XVIII, la física experimental se empezó a perfilar como una ciencia matematizada que proveía de suficiente precisión en el uso de diversos objetos mecánicos: Fusiles y cañones, utilizados en la artillería; diversos instrumentos destinados a la realización de observaciones astronómicas, manejados en las cuestiones navales; máquinas neumáticas e hidráulicas, empleadas en la minería, instrumentos con diversos usos como el termómetro, el barómetro, la brújula y demás. El apoyo que la física experimental brindó en estos aspectos permitió establecerla como disciplina en los colegios de artillería, minería y navales. Estos colegios se fundaron, a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, en diversos países europeos para impulsar la producción y la militarización con el apoyo de la ciencia [Ramos Lara 1992, 104].

La física que se enseñó en estos colegios fue la mecánica basada en la síntesis de Newton de sus *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*, aunque por la complejidad de su comprensión se recurrió a libros de texto de sus principales difusores: Nollet, Gravesande, Muchenbroek y Paulian, entre otros. Pero, la física newtoniana, en el siglo XVIII, no representó el conocimiento absoluto. Surgieron muchos trabajos no relacionados estrictamente con cuestiones prácticas que permitieron el avance de la física, como los de Varignon, Daniel Bernoulli, Mairán, Euler, Jacques Bernoulli, D'Alembert, Maupertuis, Clairaut, Mariotte, Chevalier de Borda, Abbé Bossut, Du Buat, Coulumb, Lazare Carnot,

Luis de Lagrange y Laplace, entre otros [Ramos Lara 1992, 105; Hamnett 1985, 107; Palacio 1978, 20]

Los monarcas europeos estimularon el quehacer intelectual. Además de apoyar las academias, crearon otros centros de saber experimental: Museos, observatorios, jardines botánicos y las bibliotecas se multiplicaron al igual que las expediciones científicas. El campo más apropiado para llegar a estas metas fue el de las ciencias experimentales, las físico-naturales y las matemáticas, que aseguraron el progreso, por lo que fueron las de mayor interés en el siglo XVIII [Palacio 1978, 19-20]. Francia fue el país que mayor influencia ideológica tuvo en la Nueva España, después de la metrópoli [Cardozo 1973, 123; Saladino 1998, 10]. Como resultó difícil modernizar las universidades, que heredaron una tradición escolástica de siglos, se crearon nuevas instituciones con disciplinas e intereses diferentes; de esta manera, se establecieron diversos colegios, como el *Colegio de Minas de Freiberg*, en Alemania; la *Escuela Politécnica* y la *Escuela de Minas* de París, en Francia y el *Colegio de Minas de Vergara y Aladén*, en España, entre otros. En particular en España, ocurrió lo mismo que con las matemáticas, la introducción de la nueva física no tuvo lugar sin menoscabo de su propio alcance y contenido. La reciente explicación del mundo físico penetró en España con bastante retraso y tímidamente, en el marco de un discurso filosófico de estructura tradicional, aunque por lo menos pusieron las bases para que fuera posible la incorporación sistemática de la nueva ciencia, entre los más representativos estuvieron: Baltasar de Iñigo, Tomás Vicente Tosca y Juan Bautista Corachán.

Corachán en su libro *Avisos del Parnaso* [1690, publicado hasta el siglo XVIII] introdujo algunos de los temas de la física innovadora: Boyle y la máquina neumática, Grimaldi y las experiencias de óptica, entre otras, incorporando un fragmento del *Discurso del método* de Descartes; añoró las recién creadas sociedades científicas europeas. Vicente Tosca, inspirado en las distintas obras producidas en Europa para reforzar la enseñanza de las ciencias, en especial de los jesuitas Dechaux y Schotto, intentó reunir en su *Compendio Matemático* los conocimientos científicos de la época, incluyendo las aportaciones españolas de Omerique, Caramuel y Zaragoza, entre otros. Anteriormente mencionamos que es una obra prenewtoniana, por ejemplo, invalidó los argumentos mecánicos contra el

movimiento de la Tierra recurriendo a la distinción entre movimiento absoluto y relativo, y a la consideración de la Tierra como sistema físico; en los temas más polémicos de física, como la teoría de la luz, adoptó una posición cautelosa [López Piñero 1976, 247-249].

Mientras que en astronomía, se encuentran excelentes cultivadores de esta ciencia pero sólo a nivel instrumental y pragmático, ya que negaron muchas de las más importantes implicaciones cosmológicas y físicas. Vicente Mut fue considerado el mejor astrónomo español, mantuvo relación con científicos extranjeros como Kircher y Ricciolo, llevó a cabo una incorporación sistemática de los métodos y técnicas recientes en astronomía, sus observaciones fueron muy precisas, destacando la descripción de la trayectoria parabólica del cometa de 1664. Sin embargo, aunque conoció bien la obra de Kepler y recomendó la aplicación de su primera ley a los cálculos astronómicos, se declaró partidario de Tycho Brahe y afirmó que en realidad los planetas se mueven en círculos. Análoga postura adoptó José de Zaragoza, astrónomo reconocido por su publicación en el *Journal des Savants* sobre el cometa de 1677, desarrolló una importante labor de divulgación de los conocimientos astronómicos a través de su obra *Esfera en común celeste y terráquea* [1675], sin embargo su concepción fue instrumentalista, ecléctica y conciliadora entre la cosmología tradicional y la nueva [López Piñero 1976, 233-235].

La física en la Nueva España

Aunque la economía de la Nueva España fue fundamentalmente agrícola, en el siglo XVIII, la minería adquirió un impulso tal que se convirtió en la actividad económica fundamental [Cue 1975, 66]. Entre las reformas más importantes que se realizaron destacan algunas de orden fiscal, la creación del *Tribunal de Minería*, del colegio metálico, y de un banco de avíos, con recursos económicos del mismo gremio minero [León Portilla 1978, 16]. Los propios novohispanos se encargaron de la difusión de las teorías científicas contemporáneas, con la tradición que provenía del siglo XVII. En el siglo XVIII cultivaron, propagaron y aplicaron tales teorías, como hemos mencionado y ejemplificaremos más adelante. Algunos de los que contaban con medios económicos empezaron a publicar revistas periódicas, redactaron libros de texto, crearon academias privadas, entre otras actividades que ya indicamos [Larroyo 1982, 200; Saladino 1998, 16]. Varios fueron los factores económicos, políticos, sociales y culturales que se conjugaron para impulsar el

desarrollo tanto teórico como práctico de la ciencia en la Nueva España, al grado de llegar a 'institucionalizarla'³ [Menegus 1998, 150; Pérez 1945, 29-30]

Para analizar el tipo de física y de matemáticas que se conoció y manejo en la Nueva España se deben tener en cuenta dos aspectos: La enseñanza de estas disciplinas en las instituciones educativas más representativas y las publicaciones científicas más destacadas del siglo XVIII sobre el tema.

Dos periódicos que circularon en la Nueva España tuvieron el propósito explícito de difundir información científica acerca de cuestiones de física: De José Ignacio Bartolache, *Mercurio volante con noticias importantes y curiosas sobre varios asuntos de física y medicina* [1772-1773] y de José Antonio Alzate, *Observaciones sobre la historia natural, física y artes útiles* [1787-1788], se buscó publicar en español en sustitución del latín para ganar adeptos, se refirieron al demérito de la física aristotélica y la superioridad de los contenidos de la física moderna, en particular la newtoniana; poniendo énfasis en su función social

Diferenciar la física aristotélica de la física moderna no se reduce a la temática sino a la manera de abordar los problemas, en la concepción metodológica que sirvió de soporte para la formulación de nuevos resultados. En el siglo XVIII, el estudio de la materia, ya no de la naturaleza en general, vino a constituirse en la razón de la actividad científica de los físicos. Se conservó la división aristotélica de física particular y física general, la primera estudió el comportamiento de los cuerpos, su naturaleza y singularidades, mientras la segunda se asoció a la mecánica y su uso [Saladino 1996, 130-145; Mason 1988, 34-42] El contacto de Alzate con las comunidades científicas europeas lo hicieron un conocedor de los experimentos más comentados, siendo el único en citar a Benjamín Franklin y Alejandro Volta; aunque en general son frecuentes las referencias a los trabajos de Newton

³ Por este término entendemos el conseguir que las teorías modernas tuvieran una aceptación social y se desarrollaran bajo ciertas normas, costumbres, profesiones, y términos, en función de intereses no sólo educativos, sino también políticos, sociales y económicos

La redefinición de los contenidos de física en la Nueva España, según lo divulgado por la prensa, se centró en el estudio de la materia, el cuerpo, la luz, el calor, la electricidad, el movimiento, el color y el ruido. Esto fue una muestra del interés de los intelectuales novohispanos por estar en contacto con las obras de los científicos más connotados y difundirlas como una tarea pedagógica fundamental, por lo que resulta interesante enlistar a los físicos citados más frecuentemente, las obras reseñadas, los instrumentos y 'os aparatos más usados porque representan fuentes para comprender los resultados de los científicos criollos, hecho que revelaremos posteriormente.

Entre los científicos citados en las publicaciones científicas de la Nueva España estuvieron: Aristóteles, Bassenso, Biot, Bonnet, Hermann Boerhave, Casollion, Cuvier, Demócrito, Desaguliers, Descartes, Deslandes, Du Carla, Duhamel, Sigaud de la Fond, Fontanelle, Franklin, Galileo, S'Gravesande, Gassendi, Ingen-Housz, Leibniz, Macquer, Malebranche, Maupertius, Muchenbroek, Newton, Nollet, Priestly, Réaumur, Regis, Rohault, Rozier, Saverien, Le Seur, Thenard, Vauquelin y Volta [Saladino 1966, 146-148; Ramos Lara 1994, 16-20]. Como puede apreciarse, esta selección de físicos muestra un contacto directo por parte de los editores y autores de artículos de física.

Mientras que los textos que aparecieron citados o reseñados en los periódicos fueron: en el *Diario Literario de México*: Desaguliers, *Curso de física experimental*; Duhamel, *Astronimia phisica*; Fontanelle, *Pluralité des Mondes*, y Saverien, *Diccionario de matemáticas y física*. En el *Mercurio volante*: Aristóteles, *Physica auscultatione* y Saverien, *Diccionario de matemáticas y física*. En *Asuntos varios sobre ciencias y artes*: Deslandes, *Colección de varios puntos de física* y Newton, *Principios matemáticos de filosofía natural*. En *Observaciones sobre la historia natural, física y artes útiles*: Paulian, *Diccionario de física*. La *Gaceta de México*: Desaguliers, *Curso de física experimental*; Marsegli, *Historia de la física del mar* y S'Gravesande, *Elementos matemáticos de física confirmada por experimentos o introducción a la filosofía de Newton*.

La publicación que mencionó el mayor número de libros sobre física fue la *Gaceta de Literatura de México*: Biblioteca físico-económica de Londres; Brisson, *Diccionario de física*; Isidoro de Celis, *Curso de filosofía*; Piquet, *Física*; Regnaul, *Origen antiguo de la física moderna*; Rochon, *Mecánica y física*; Romas, *Memoria acerca de los preparativos*

para liberarse de los funestos efectos del rayo; Para, *Tratado de mecánica*; Roziet, *Diario de física* y Toaldo, *Memoria acerca de los conductores que deben preservar a los edificios del efecto del rayo Advertencias y reflexiones sobre el buen uso de los relojes*: Muchenbroek, *Essai de physique*; Saverien, *Diccionario matemático y físico y l'Horlogerie Mechanique* El *Diario de México*: Nollet, *Ensayo sobre la electricidad y Física experimental* y Paulian, *Diccionario de física* *Jornal Económico Mercantil de Veracruz*: Brisson, *Diccionario de física y Memorias de la Real Academia de las Ciencias de Paris de 1772*; Reaumur, *Historia de la Academia de Ciencias de París de 1772*.

Los títulos citados muestran el intercambio continuo y la difusión de información científica, consideradas como actividades pedagógicas reconocidas por los propios editores. Además de manifestar siempre la utilidad de la física para enfrentar situaciones agrícolas, médicas, mineras, económicas y urbanísticas, entre otras. Ahora presentaremos brevemente las publicaciones y libros de texto usados en las principales instituciones educativas: la *Real y Pontificia Universidad de México*, los colegios jesuitas, la *Academia de San Carlos* y el *Colegio de Minería*.

Las publicaciones periódicas que se citaron en la universidad fueron: La revista *Correo Literario de la Europa, de las Investigaciones, y adelantamientos hechos en Francia y otros reynos extranjeros pertenecientes a las Ciencias, Agricultura Comercio, Artes y Oficios* [1780], donde con respecto a la ciencia, se proporcionó una breve relación de los libros nuevos que salieron en Europa, explicando su contenido y aceptación en Francia, y si podían ser adaptadas al reino de España. En algunos números describieron la utilidad de algunos instrumentos de física y los ganadores de premios de física en Europa [Papeles Varios 1780].

Entre 1784 y 1786, apareció la revista *Biblioteca periódica anual para utilidad de los libreros y literatos*, que incluyó índices generales de los libros y ensayos que se imprimieron y publicaron en Madrid; se anotaron además las librerías donde se vendían [CESU, Doc. 108]. En 1784, llegaron noticias de que en Francia se empezaron a hacer globos aerostáticos y naves atmosféricas, de las que se explicó su funcionamiento y el porqué se elevaban. Se habló también de la aceptación que allá gozaban Descartes, Wolff, Galileo y Newton, entre otros [Papeles Varios 1784].

Los que quisieron saber más sobre la filosofía natural que llegaba de España y Francia tuvieron que hacerlo de manera autónoma, ya que aún no se concebía cambiar los planes de estudio, aunque tuvieron el antecedente jesuita. Entre los que formaron esta incipiente comunidad científica estuvieron: Joaquín Velázquez de León, José Antonio Alzate, José Ignacio Bartolache, Antonio de León y Gama, José Mariano Mociño y Manuel Antonio Valdés, entre otros [Navarro 1967, 19; Menegus 1998, 56; Sosa 1884, 56].

Por su parte, los jesuitas introdujeron en sus colegios los nuevos métodos experimentales en las ciencias y modernizaron los planes de estudio de filosofía y teología, tradicionalmente escolásticos. Después de ser expulsados, se continuó con esta tendencia pero se combinaba con la filosofía aristotélica. Entre las obras de física y matemáticas que utilizaron los colegios jesuitas encontramos: En el *Colegio de San Gregorio*, de Feijóo su *Teatro crítico y Cartas eruditas*, de Vicente Tosca su *Compendio de Matemáticas*. En el *Colegio de San Ildefonso*, de Descartes su *Geometría y Principios de Filosofía*, de Newton sus *Principios Matemáticos de Filosofía Natural y Opúsculos Matemáticos y Filosóficos*, de Nollet las *Lecciones de Física*, de Sigaud de la Fond los *Elementos de física* y de Jacquier las *Instituciones filosóficas*, entre otros. Del *Colegio Máximo de San Pedro y San Pablo* aparecen *Opera omnia* de Marcelo Malpighi, y *Del compás geométrico y militar* de Galileo Galilei; mientras en el *Colegio de San Juan* sólo se encontró el *Teatro Crítico* de Feijóo [Espinoza Sánchez 1994, 29-34].

Así que, en realidad, la mayoría de las teorías contemporáneas se conocieron mediante los diversos apuntes que los jesuitas realizaron para sus clases, de entre los libros que citaron estuvieron [Ramos Lara 1991, 23; CESU, Doc 108]: Arena F. Juan, *Ciencia del Cristianismo*; Kirker, *Physologia y Archemologia*; Rollin, *Artes y Ciencias*; Iriarte, *Arte Teórica*; Kicker, *Art Magna Scienci*; Saverien, *Ciencias Exactas*; Corsini Eduardo, *Filosofía*; Martínez, *Controversia o tratado de la Materia de Ciencia*; Momtelle, *Cosmografía Elemental*, Rene Descartes, *Geometría, Epístolas Filosóficas, Principios de Filosofía y De Homine*; Muchenbroek, *Ensayos de Física y Elementa Physic*; Ponce, *Epistolas Filosóficas*; Cerón, *Epistolas Filosóficas*; Fontenelle, *Lis Obras*; Roblin, *Historia de las Artes y Ciencias*; Jacquier, *Transactiones Filosóficas*; Martínez F. Nicolas, *Scienci dei*; Martínez Marin, *Filosofía Scéptica*; Newton, *Opúsculos Matemáticos Filosóficos*.

Filológicos, Principios Matemáticos de Filosofía Natural; Nollet, Lecciones de Física, Arte de Experiencias, y Electricidad; Regnanto, Instrucciones y Entretenimientos Físicos; Rohando, Tratado de Física; Rollin, Historia de Ciencias y Artes; Sigaud de la Fond, Elementos de Física; y unas Tablas Cronológicas [Libro de Juntas, 260, 120, 164, 283, 346, 317, 5, 81, 207, 234; CESU].

En cuanto al *Colegio de Minería*, podemos considerar una lista de instrumentos de física que formaron el gabinete de física experimental. Elhuyar la hizo basándose totalmente en los *Elementos de Física* de Sigaud de la Fond [Minería Informes 1789-1800, 14]. También pagó las suscripciones a las revistas: *Gaceta de España, Gaceta de literatura* [Cuentas Mensuales de 1792] y *Nuevos descubrimientos de física*, entre otras [Libro de Cuentas Mensuales del Colegio]. Y los libros que solicitó fueron: El primer tomo de Bails para las clases de matemáticas y física [Libro de Almacén, 72]; los *Elementos de Física Teórica y Experimental* de Sigaud de la Fond, traducidos al castellano en seis tomos [Minería, Informes, 48-49]; tres tomos del curso de física en francés de Muchenbroek; *Maquinaria y maniobras a bordo de los navíos* de Gabriel Ciscun; *Historia crítica del barómetro y termómetro* de Juan Andrés de Luc; *Optica* de Smith; *Diario de Física* del abate Rosier; además de libros de Desaguliers, Muchenbroek, S'Gravesande y Nollet [Ramos Lara 1991, 24]. Los alumnos y profesores no sólo usaron este material como textos de sus cursos, sino que pusieron en práctica este conocimiento en el manejo, diseño y construcción de diversas máquinas. Incluso los exámenes o pruebas que se realizaron a fin de curso por materia incluyeron evaluar estas actividades; esto nos da una idea del tipo de física y de matemática que conocían

De los libros que se conservaron permanentemente en el almacén del colegio desde 1794 hasta 1804 fueron [Libros del Almacén del Colegio de Minería: 1794, 1799, 1797, 1796, 1798, 1802, 1803, 1804; Gamboa 1761, 10]: *Gramática* (castellana y francesa), *Tablas de Logaritmos, Elementos de matemáticas y Principios de matemáticas* de Bails, *Elementos de Orictognosia* de Andrés Manuel del Río, *Historia de España*, y el de *Orhographia* de León y Gama (desde 1796). Había otros libros que sólo aparecieron ciertos años como: Los libros de García de 1796 a 1801; *Licuas de Matemáticas* de 1797 a 1801; *Diccionario de la Academia Francesa* de 1794 a 1799; *Diccionario de Seformout* de 1796 a

1799; *Atlas Géographe* de 1797 a 1799; *Gramática* de Orellana en 1797, 1799 y 1801; libros de García en 1796; *Elementos de Ciencias* de Chavañon y los *Elementos de Euclides* en 1794 y 1796; *Física y Transacciones Filosóficas* de Nollet en 1799; *Elementos de Química* de Chaptal de Frurcroy; y la obra de Garzes de 1802 a 1804; *Estuches de Matemáticas* en 1801; *Instrumentos de Medir Minas* en 1801, y *Física* de Sigaud de la Fond en 1794.

Además de estos libros, el colegio tuvo en su biblioteca varias publicaciones que recién se habían impreso en Europa, como fueron [Ramos Lara 1992, 72]: de Newton, *Opuscula Matemática, Philosophica et Philologica* [1744]; Bails, *Opera Matemática* [1744]; Bails y Company, *Tratados de Matemática* [1772]; Mariotte, *Traite du Mouvement des eaux* [1718]; Cassini de Thury, *La Meridienne de l'observatoire* [1744]; Bouguer, *La figure de la terre* [1749]; Regnault, *Les entretien physiques d'ariste et d'endoxe ou physique nouvelle en dialogues* [1750-1755]; Condamine, *Mesure des trois premiers degre's du meridian dans l'hemisphere austral* [1751]; Condamine, *Journal du voyage fait par ordre du roi a léquateur* [1751]; Christiani Wolfii. *Elementa matheseos universe* [1741-1749]; Ozanam, *Recreations Mathématiques et Physiques* [1725]; Becherid, *Physica Subterranean* [1703]; Castel, *L'Optiques des Couleurs* [1740]; Saverien, *Dictionnaire Universel de Mathématique et de Physique* [1753]; D'Alembert, *Traité de Dynamique*; Lehemanns Johann, *Physicalisch* [1761]; Paulian Aime Henry, *Dictionnaire de Physique dédié* [1761]; Caille, *Le ons Elémentaires d'optique* [1764]; Arcet, *Memoir sus l'action d'un feu egal, violent* [1766]; Smith Robert, *Cours complet d'optique* [1767]; Pluche, *Espectáculo de la naturaleza* [1771-1773]; Giannini, *Curso matemático para la enseñanza de los caballeros cadetes del real Colegio Militar de artillería* [1779]; Cotes, *Le ons de Physique Experimentale* [1742]; Nollet, *Le ons de Physique Experimentale* [1783]; Muchenbroeck, *Cours de Physique* [1749]; Etxleben, *Elementos de Física* [alemán, 1777]; Desaguliers, *Cours de physique experimentale* [1751]; Nollet, *L'Art des Experiences Physiques* [1770]; Regnault, *Les Entretiens Physiques* [1775]; Para du Phanjas, *Cours de Physique* [1772]; Sigaud de la Fond, *Description d'un cabinet de physique* [1784], *Essai sur diferentes especes d'air, qu'on désigne sous le nom d'air fixe* [1779], *Elementos de fisica teórica y experimental* [traducida por Tadeo López, 1787], *Resumen histórico y experimental de los fenómenos eléctricos* [1792]; Model, *Recreations Physiques* [1774]; Goyut, *Nouvelles aux observations sur la physique* [1779]; Rozier, *Introduction aux*

observations sur la physique [1785]; S'Gravesande, *Eléments de physique mathématique* [1746]; Newton, *Optice* [1740]; J. A. de Luc, *Traité du barometre* [1784]; Laussure, *Essai sur l'higrométrie* [1783] y *Essai sur l'air pur* [1788]; Caballo, *Tratado sobre el aire puro* [alemán] y *Teoria de la electricidad*; Leipzig, *Descripción del barómetro y el termómetro* [1778]; Mahon, *Principles of electricity* [1779]; Bertholon, *De l'electricit du corps humain* [1786], *Des Vegetaux* [1783]; Fabre, *Machines hydrauliques* [1783] y Ramelli, *L'artifice machine* [1588].

Mientras que entre las obras de matemática que utilizó la *Real Academia de San Carlos* a lo largo de este periodo estuvieron: para 1785, *Elementos Geométricos* de Euclides; en 1791 uno de los alumnos, José Esteba, inventarió la biblioteca de San Carlos, con cuarenta y nueve libros del área, entre los que se aludieron el *Compendio de matemáticas* de Bails, y un volumen de la *Geometría* de Euclides. En 1792, la junta superior compró treinta libros donde la única obra de matemáticas es la de Bails [Baez 1974, 110; Brown 1976, 10]. Para 1856, aparecieron obras de Galileo Galilei; aunque con anterioridad se conocían sus escritos. En 1860, se mencionaron: Adhemar con diez volúmenes y ocho atlas; Bargery con *Geometría de las curvas*, y un tratado de física; Bourons con *Elementos de Aritmética* y *Elementos de Álgebra*; de Arquímedes un volumen; Bezout con *Curso de matemáticas*; D'Alembert con *Obras*. En 1861, estuvieron: Lagrange con *Teoría de Funciones Analíticas*; Coussinet con *Geometría del Compás*; Vieille con *Curso de Mecánica y Cálculo*; *Elementos de Álgebra* de Euler; *Geometría* de Feysedere; *Cálculo diferencial e integral* de Coussin; *Geometría y mecánica* de Dopin; *Curso de matemáticas* y *Elementos de matemáticas* de Wolff; *Elementos de Mecánica* de Boucharlat; *Elementos de geometría* de Euclides; *Matemáticas* de Marolois; *Tablas logarítmicas* de Callet; y *Principios de Física y Matemática Experimental* de Francisco Antonio Bataller [Baez 1976, Docs. 6317, 188-190; Saladino 1998, 98-102].

A groso modo, este es un inventario de publicaciones, incluyendo libros, periódicos y semanarios, entre otros, con los que contaron los intelectuales novohispanos y los alumnos de las instituciones de mayor renombre. El hecho de enlistarlas o que estén referenciadas en sus escritos no aporta elementos esenciales hasta que hagamos un análisis de ellos,

mostrando las contribuciones originales a la ciencia del siglo XVIII en la Nueva España; y en particular, el uso de la física newtoniana.

1.9 ASPECTOS GENERALES DE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LAS MATEMÁTICAS

En los siglos XVI, XVII y parte del XVIII, tanto en la Nueva España como en algunos lugares de Europa, la teología y las ciencias estuvieron relacionadas. Las ideas acerca de Dios, de sus atributos y perfecciones, marcaron profundamente la concepción científica del mundo natural [Capel 1985, 9]. Este fue el ambiente intelectual que impregnó la educación en la Nueva España. El clero tuvo a su cargo la evangelización de la población indígena, y hasta el siglo XVIII, la enseñanza oficial fue la escolástica, basada en tesis aristotélicas [Díaz de Ovando 1985, 29-31]. La física y las matemáticas como disciplinas científicas, aún no eran conocidas como tales en el siglo XVI. Comenzaban a surgir de contribuciones a la filosofía aunque de manera clandestina, ya que fueron penadas por el Santo Oficio. La filosofía generalmente se enseñó en las universidades en las áreas de artes, de aquí que sólo llegaba a un grupo muy reducido de individuos [Hamnett 1985, 36].

En la Nueva España, la educación estuvo dirigida por clases raciales. Esta se impartió de diferente manera dependiendo del estrato social. Los criollos, a diferencia de los indígenas y mestizos, recibieron especial atención, para ellos se crearon colegios donde se impartieron los mismos estudios que en España. Por ejemplo, en 1551, se creó la *Real y Pontificia Universidad* que impartió estudios superiores con programas equivalentes al de la *Universidad de Salamanca*. Es decir, se impartieron cátedras de teología, sagrada escritura, cánones, artes, retórica y gramática [Ramos Lara 1991, 22; Larroyo 1982, 190]. En las artes se enseñó lógica, matemáticas, física, astronomía y ciencias naturales. Varios de los textos utilizados para las cátedras fueron escritos en México: *Lógica Mexicana* del jesuita Antonio Rubio (1548-1615), *Resumen de Sumulas* de fray Alonso de Veracruz (1504-1584), *Explicación Dialéctica e Investigación Física* y varias obras de Aristóteles [Navarro 1967, 12].

Los jesuitas, a partir del siglo XVI y hasta el XVIII, impartieron la educación media y superior. La primera se impartió en la facultad de artes, donde se enseñaba filosofía. Esta se basó en doctrinas escolásticas y se dividió en tres partes: Lógica, física y metafísica. En

física, se enseñaron las teorías aristotélicas sobre la naturaleza y los principios de los seres físicos, sobre las causas, el movimiento, el tiempo, el espacio, el infinito, y demás; y en metafísica, se impartieron las doctrinas del ente y del ser [Díaz de Ovandó 1985, 14]. En general, en los colegios jesuitas se impartió mejor educación que en la universidad, y llegaron a formar los mejores canonistas y teólogos de la colonia. Además, sus egresados fueron bien recibidos para ocupar cargos públicos. Esto produjo serias fricciones entre ambas instituciones, al grado de que el rey Felipe II, para reestablecer la concordia, expidió una cédula real donde le daba a la universidad el privilegio de ser la única en conferir grados académicos [Cortés 1985, 9]. Algunos de los textos obligatorios fueron: Los discursos de Aristóteles y el *Anima* para el curso de física, el de *Física* para lógica, y *Coelo et Mundo* para metafísica. Así como los cursos de Juan Antonio Goudín de filosofía tomista y aristotélica en cuatro volúmenes [Cortés 1985, 11]

Algunos de los difusores de la filosofía moderna del siglo XVII fueron: Fray Diego Rodríguez (1596-1668), Sor Juana Inés de la Cruz (1631-1695) y Carlos de Sigüenza y Góngora (1645-1700). En las obras que publicaron destacan las citas que hacen de autores como: Copérnico, Descartes, Galileo, Kepler, Tycho Brahe, Tartaglia, Gilbert, Stevin, entre otros. Diego Rodríguez y Sigüenza y Góngora fueron profesores de matemáticas de la *Real y Pontificia Universidad*, donde además de enseñar aspectos tradicionales, también incorporaron otros de corte totalmente moderno, en particular, los que tenían que ver con la astronomía, la interpretación del cosmos y el mundo. Además de tratar la astronomía de Sacrobosco y Ptolomeo, anexaron temas de Pedro Apiano, Cristóbal Clavio, Tycho Brahe, Copérnico, Galileo y Kepler. En matemáticas, además de exponer a Euclides y Juan de Monterregio, se referieron a Tartaglia, Cardano, Bombelli, Nepen y Stevin. Estudiaron como parte de las matemáticas impuras a la mecánica, el magnetismo y la hidrostática. Tanto Rodríguez como Sigüenza participaron en la propuesta para dar solución a problemas urbanos, como el del desagüe de la ciudad [García Stahl 1978, 23; Larroyo 1982, 173-176]

Otro factor importante dentro de la difusión fueron las publicaciones de las obras relacionadas con los temas de física y matemáticas. Durante el siglo XVI, sólo se llevaron a cabo reproducciones de textos europeos o de aquellos escritos por europeos en la Nueva España. Las publicaciones de textos relacionados con física y matemáticas en la Nueva

España surgieron hasta el siglo XVII, algunos ya con contenidos científicos innovadores, procurando, por supuesto, no comprometerse al grado de llegar a ser juzgados por el Santo Oficio [Saladino 1998, 26].

Las publicaciones no fueron periódicas, sino generalmente fueron artículos, cuadernos, o tratados que se referían a algún tema en particular, entre ellos: *Arte menor de Arithmética* de Pedro de Paz [1623]; *Comentarii in octo libros Aristoteles de physico auditi seu de physica auscultatione* de Ildefonso Guerreiro [1621]; *Disputationes in octo physicorum libros Aristotelis stagiritaie* de Diego Martín de Alcázar [1668]; *Arte menor de Arithmética y modo de formar campos* de Atanasio Reaton [1649]; *Tractatus proemialium mathématices y de geometría, Tratado de las equaciones, fabrica y uso de la tabla algebraica discursiva, De los logaritmos y aritmética; Tratado del modo de fabricar relojes; Modo de calcular cualquier eclipse de Sol y Luna, Doctrina general repartida por capitulos de los eclipses de Sol y Luna; Discurso metheorológico del nuevo cometa, visto en aqueste hemisferio mexicano; y generalmente en todo el mundo* de fray Diego Rodríguez [1652]; y *Libra Astronómica y Phylosophica* de Carlos de Sigüenza y Góngora, entre otros [Ramos Lara 1994, 27].

El interés no sólo fue de carácter abstracto, sino también de problemas urbanos y técnicos que exigieron el empleo de los conocimientos adquiridos, ya fueran hidráulicos, astronómicos, cartográficos, de medidas de tierras, de aguas, de minas, y demás. Entre las publicaciones de este tipo estuvieron: *Extracto de los autos de las diligencias y reconocimiento de los ríos, las lagunas, vertientes y desagües de la capital de México y su valle* de José Francisco de Cuevas Aguirre y Espinosa [1748]; *Relación universal legitima y verdadera del sitio en que está fundada la muy noble y leal ciudad de México* de Fernando de Cepeda y Fernando Alonso Carrillo [1673]; *Tratado de las medidas de tierras* del matemático y astrónomo Gabriel López Bonilla (mediados del siglo XVII); *Reducciones de estancias de ganado a caballerías de tierra, hechas según reglas de aritmética y geometría* de Sigüenza y Góngora, y demás obras [Saladino 1998, 75].

Como indicamos anteriormente, la enseñanza superior en la ciudad de México, hasta mediados del siglo XVIII, se impartió en los colegios jesuitas y en la *Real y Pontificia Universidad*. La doctrina oficial era aún la escolástica, aunque se empezaron a introducir

las teorías de la época. El conocimiento matemático y físico de mediados del siglo XVIII, adquirido por una incipiente generación de científicos novohispanos, partió de sus estudios de filosofía precisamente en los colegios jesuitas y en la universidad; a algunos de ellos ya los hemos mencionado dentro del apartado de científicos criollos y peninsulares: León y Gama, Alzate, Bartolache, Velázquez de León, Díaz de Gamara, Alegre, Clavijero y Guadalajara, entre otros. Estos intelectuales no sólo intervinieron en la vida académica de sus instituciones de origen sino incluso en las de nueva creación, se relacionaron entre sí a través de trabajos o comisiones oficiales (expediciones, obras públicas, y demás), mediante las publicaciones periódicas donde podían polemizar y como miembros de sociedades como la Bascongada. Por lo que, los elementos hasta aquí presentados sirven de sustento al análisis de las producciones científicas de estos científicos, aunque aún nos falta puntualizar lo que viene a ser el tema de esta tesis, la ciencia newtoniana.

Las teorías de la época se institucionalizaron hasta finales del siglo XVIII, con la erección de dos nuevos colegios en particular, el *Real Seminario de Minería* y la *Academia de San Carlos*, fundados por intereses económicos de los novohispanos y mediante negociaciones con España [Bargallo 1966, 48]. Poco después de mediados del siglo XVIII, empezaron a surgir de los mismos colegios jesuitas, jóvenes interesados en las teorías modernas, que para 1754 se integraron al cuadro de profesores y empezaron a difundirla en sus cátedras. Entre ellos destacaron José Rafael Campoy (1723-1777), Francisco Javier Clavijero (1731-1787), Agustín Castro (1728-1790), Diego José Abad (1727-1779), Francisco Javier Alegre (1729-1788), Raymundo Cardán, Mariano Soldevilla y Pedro Bolado, entre otros.

La mayoría de ellos escribió cursos filosóficos (*Cursus Philosophicus*) para enseñar física moderna. En estos cursos se defendió la nueva filosofía mediante argumentos y se comparó con la antigua para poder desplazarla [Ramos Lara 1991, 20]. Los jesuitas se caracterizaron por ser los primeros que intentaron implantar la física y las matemáticas en la Nueva España. Crearon sus propios libros y tratados enseñando, de esta manera, lo que cada uno creyó conveniente. Al ser los primeros tuvieron que mostrar las ventajas de la nueva filosofía y los errores de la antigua [Moreno 1985, 154]. Esta búsqueda de dar paso

al saber innovador en diversos colegios, dio la pauta para introducir a numerosos autores de gran importancia, entre ellos figura Newton como nuestro objeto de estudio a analizar

Sin duda, la manera en cómo se difundió la física experimental y las matemáticas en Europa influyó en la Nueva España, pero a pesar de las semejanzas, el proceso siguió pautas diferentes ya que las condiciones locales tanto sociales como culturales, fueron distintas a las europeas. La institucionalización de estas ciencias en Minería y San Carlos, adquirió rasgos similares a lo que aconteció en Europa, tanto los libros de texto utilizados para impartir la cátedra, los instrumentos y máquinas de los laboratorios, entre otros, fueron similares. Si comparamos los instrumentos que se usaron para enseñar las cátedras de física y matemáticas en España, con la lista de instrumentos que se pidieron para formar el gabinete de física en el *Real Seminario de Minería*, notaremos que son los mismos. También se comparte el interés por los gabinetes de física y el suscribirse a revistas de carácter científico, algunas ya mencionadas, para conocer las novedades de la disciplina.

La difusión del pensamiento ilustrado a través de publicaciones periódicas, tratados, ensayos extensos y libros de texto fue una característica importante que produjo la aceptación social de la ciencia. Los libros de texto que en un principio se utilizaron para enseñar en las cátedras de física experimental y matemáticas en el *Real Seminario de Minería*, fueron los mismos que en España: El libro de Bails de matemáticas, los de física de Sigaud de Fond, Nollet, S'Gravesande y Muchenbroek, principalmente; hecho que analizaremos detalladamente. Esto cambió momentáneamente cuando Bataller escribió el libro *Principios de física matemática y experimental*, ya que fue el único país que enseñó con base en este texto. Al morir Bataller, el nuevo catedrático Salvador Sein utilizó nuevamente un libro de texto que en Europa fue popular para enseñar física experimental, el de Brisson, *Traité élémentaire ou principes de physique fondés sur les connaissances les plus certaines et confirmés par l'expérience* [1789].

En el archivo del *Colegio de San Ildefonso* se encontró un documento que contiene la bibliografía que se recomienda para el colegio (véase pág. 59). Entre los que se mencionan de Newton estuvieron: *Opúsculos Matemáticos Filosóficos y Filológicos*, *Principios Matemáticos de Filosofía Natural y Óptica*, sin duda del hecho de que se mencionen no se deduce que tengan una influencia significativa, habrá que examinar los estudios que sobre

estos trabajos se realizaron para valorar la influencia newtoniana en la Nueva España, que será lo que más adelante realizaremos.

Se puede contrastar que utilizaron libros que fueron el pilar para las clases de física y matemáticas de la mayoría de los colegios, como lo hemos indicado precedentemente, entre ellos están los de tendencia newtoniana como los de Sígaud de la Fond, Muchenbroek, Nollet y S'Gravesande, además de una serie de publicaciones periódicas que hacen alusión a la física útil, la newtoniana. Así, no sólo contaron con libros que sirvieron para introducir la teoría newtoniana sino incluso tuvieron las fuentes originales del mismo Newton. Sin lugar a dudas se enseñó la física newtoniana al igual que la aristotélica en la mayoría de los colegios jesuitas.

A finales del siglo XVIII, se empezaron a dar cambios en el ambiente universitario de la *Real y Pontificia Universidad de México*. No fueron cambios académicos, sino más bien de difusión, puesto que empezaron a llegar noticias en relación a las nuevas máquinas y la nueva física de Europa (mecánica analítica, cálculo de variaciones, y demás). En especial, sobre personajes científicos, premios, revistas, libros y nuevos descubrimientos, entre otros. En 1784, llegaron noticias de que en Francia se empezaron a hacer globos aerostáticos y naves atmosféricas, se habló también de la aceptación que allá gozaron Descartes, Wolff, Galileo y Newton, entre otros [López García 1992, 4-8].

Esto, aunado a lo que presentamos en el apartado anterior, nos da una idea de la información científica que llegó de España y Francia a la Nueva España, de cómo las mismas noticias empezaban a sembrar en los novohispanos la inquietud por conocer más sobre la filosofía natural, sin necesidad de que se viera reflejado en los planes de estudio [Trabulse 1985, 485-88]. El trabajo de los intelectuales novohispanos comenzó a dar frutos con la introducción de las teorías científicas contemporáneas y la búsqueda de su aplicación en la realidad mexicana. El estudio de sus trabajos es lo que arrojará elementos de análisis para sustentar la influencia newtoniana en la Nueva España durante este periodo, no sin antes presentar cuáles son los elementos que nos interesa resaltar de la aceptación y uso de la ciencia newtoniana.

1.10 RECEPCIÓN DE NEWTON EN EUROPA Y EN LA NUEVA ESPAÑA

La construcción de canales, esclusas y embarcaciones, de galerías y minas, la ventilación y extracción de agua de éstas, el diseño y construcción de armas de fuego y de fortalezas, los problemas de balística, la producción y diseño de instrumentos para la navegación, la elaboración de métodos para la orientación de los barcos, entre otros, constituyó la materia prima de la temática física y los problemas técnicos de la época en que Newton escribió los *Principios matemáticos de filosofía natural* [1687 en latín]. En las definiciones, axiomas y leyes del movimiento expuso los fundamentos teóricos y metodológicos de la mecánica. En el primer libro recogió las leyes generales del movimiento bajo la acción de fuerzas centripetas, con lo que estableció los principios de la mecánica iniciada por Galileo. Las leyes de Newton fueron un método general para la solución de la mayoría de las tareas de tipo mecánico [Hessen 1989, 104; Cohen 1978, 5].

En el siglo XVII, Newton logró realizar la unificación de la mecánica en su obra: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. En esta época, tanto la mecánica celeste como la terrestre estuvieron involucradas con problemas prácticos de índole económica. La primera, por ejemplo, estuvo estrechamente relacionada con los problemas de navegación. Los países más avanzados como Francia, Inglaterra y Holanda emplearon gran cantidad de recursos económicos y militares en aventuras marítimas, pero la navegación exigió tener precisión en dos aspectos: La determinación de la posición de un buque en altamar y la medición del tiempo. Es a raíz de estos problemas que se crearon otras instituciones científicas: El *Observatoire Royal* de París en 1672 y el *Royal Observatory* de Greenwich en 1675, ambas sostenidas económicamente por el Estado [Hessen 1989, 79-81]. Newton empezó por definir en los *Principia* los conceptos que necesitará más adelante, como [Newton 1987, 10-15]:

Cantidad de materia: Es la medida de la misma originada de su densidad y volumen conjuntamente;

Cantidad de movimiento: Es la medida del mismo obtenida de la velocidad y de la cantidad de materia conjuntamente;

Fuerza insita de la materia: Es una capacidad de resistir por la que cualquier cuerpo, por cuanto de él depende, persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo;

Fuerza impresa: Es la acción ejercida sobre un cuerpo para cambiar su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo;

Fuerza centrípeta: Es aquella en virtud de la cual los cuerpos son atraídos, o de algún modo tienden hacia un punto como a un centro;

Magnitud absoluta de la fuerza centrípeta: Es la medida mayor o menor de la misma según la eficacia de la causa que la expande desde un centro en todas las direcciones en torno;

Magnitud acelerada de la fuerza centrípeta: Es una medida proporcional a la velocidad que genera en un tiempo dado;

Magnitud motriz de la fuerza centrípeta: Es la medida de la misma proporcional al movimiento que genera en un tiempo dado.

Después delimitó tiempo absoluto y verdadero, espacio absoluto, lugar y movimiento absolutos, siguiendo con la definición de sus tres leyes del movimiento:

Ley I: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado;

Ley II: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime; y

Ley III: Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas

En síntesis, describió la teoría general del movimiento de los cuerpos en condiciones ideales, es decir, los cuerpos tienen materia, pero no forma ni volumen, los medios no presentan resistencia y no hay problemas de elasticidad ni de viscosidad [Chandrasekhar 1995, 17-20; Fauvel 1988, 45].

El segundo libro estuvo dedicado al problema del movimiento de los cuerpos e interpreta temas relacionadas con los problemas indicados. Las primeras tres secciones de este libro se refirieron al movimiento de los cuerpos en un medio resistente, para los diferentes casos en que la resistencia depende de la velocidad (resistencia lineal, resistencia proporcional al cuadrado de la velocidad y resistencia proporcional a la primera y segunda potencias de la razón de la velocidad).

En las lecciones de la sección I, Newton indicó que los casos lineales tienen un interés más bien matemático, inherente a los fenómenos naturales, y transitó hacia un examen detallado de los casos con el movimiento real de los cuerpos en el aire. En relación con los problemas físicos de la balística, cuyo desarrollo está enlazado con el de la artillería pesada, las cuestiones planteadas y resueltas por Newton tuvieron una importancia esencial para la balística exterior.

La quinta sección del segundo libro se refirió a los fundamentos de la hidrostática y de la flotación de los cuerpos. En esta misma sección se examinó la presión de los gases y la compresión de líquidos y gases bajo presión. Al analizar los problemas técnicos que surgieron de la construcción de navíos, canales e instalaciones para la extracción de agua y ventilación, toda la temática física de estos problemas se redujo a los fundamentos de la hidrostática y aerostática [Hessen 1989, 104-105; Gjertsen, 1986, 130-134; Fauvel 1988, 45-49].

Para resolver el problema de la medición del tiempo, Galileo propuso la utilización de péndulos, dado que el periodo de su oscilación era constante. No obstante, esta propuesta resultó ser ineficaz para la navegación, porque en los barcos el péndulo se vio perturbado; por lo que Hooke inventó un volante de equilibrio controlado por una muelle. Más tarde, Huygens, gracias a su excelente conocimiento del movimiento oscilatorio de los cuerpos, fue quien construyó un instrumento de precisión y estableció las bases del primer cronómetro en su obra, *De Horologium Oscillatorium* de 1673 [Boyer 1986, 106].

La sexta sección tiene que ver con el movimiento del péndulo en un medio resistente. Las leyes de oscilación del péndulo matemático y físico en el vacío fueron descubiertas por Huygens en 1637 y aplicadas a la construcción de relojes de péndulo. La importancia del estudio de los relojes radicó en su uso para la determinación de longitudes. El uso de los relojes condujo a Huygens al descubrimiento de la fuerza centrífuga y de los cambios en la aceleración de la fuerza de gravedad. Cuando en los relojes de péndulo transportados por Richer en 1673 de París a Cayena se observó retraso, Huygens pudo explicar el fenómeno como un resultado del cambio en la aceleración de la fuerza de gravedad. Huygens le otorgó gran importancia al estudio de los relojes de péndulo [De Gandt 1990, 176; Cohen 1980, 69-70].

Los trabajos de Newton fueron más allá en la misma dirección y, de manera similar a lo que sucedió con la resistencia en que paso del caso matemático al estudio de los cuerpos en un medio resistente, reflejo del caso real de movimiento, en esta ocasión del examen de un péndulo matemático pasó al movimiento real de un péndulo en un medio resistente.

La séptima sección la dedicó al problema del movimiento de los líquidos y a la resistencia de los cuerpos impulsados. Se estudiaron cuestiones de hidrodinámica, entre ellas el flujo de líquidos y, en particular, del agua en los tubos. Esto tuvo una significación cardinal para la construcción de canales y esclusas, y en el cálculo de instalaciones de extracción de agua. Las leyes de la caída de los cuerpos en medios resistentes (agua o aire) que se examinaron en esta sección, tuvieron gran importancia para la determinación de la trayectoria de cuerpos lanzados, como los proyectiles de artillería [Hessen 1989, 106; De Gandt 1995, 28]. En este segundo libro, ya no consideró condiciones ideales, introdujo parámetros en el movimiento, de tal manera que se acercó más a la realidad: Resistencia, viscosidad, densidad, elasticidad, entre otras. Analizó, también, el movimiento de los fluidos e hizo un tratamiento corpuscular de las ondas en fluidos.

El tercer libro de los *Principios* está dedicado al sistema del mundo y trató del movimiento de los planetas, del Sol y la Luna, de la aceleración de la fuerza de gravedad y sus variaciones, en vinculación con el problema de la marcha asincrónica de los cronómetros durante la navegación y el problema de las mareas. El movimiento de la Luna tuvo, hasta la invención del cronómetro, un valor fundamental para la determinación de longitudes ya que a partir de las leyes del movimiento de este astro se confeccionaron tablas exactas para la determinación de longitudes, por lo que el *Consejo de las Longitudes* de Inglaterra estableció un premio para los trabajos relacionados con el movimiento de la Luna, Newton fue un destacado participante.

También en este tercer libro, Newton estudió la cuestión del péndulo utilizable para marcar segundos, analiza la marcha de los relojes en toda una serie de expediciones navales: La de Halley a Santa Elena en 1677, la de Varenne y Dé Hais a Martinica y Guadalupe en 1682, la de Couplé a Lisboa y Paraíba, la de Hais a América en 1700. Al examinar las causas del flujo y reflujo de las mareas, Newton analizó la altura de los flujos en diferentes puertos y desembocaduras de ríos y la cuestión de la altura de estos flujos en

dependencia de la localización de los puertos, también estudió la forma del flujo [Hessen 1989, 106; Chandrasekhar 1995, 477]. En este tercer libro, reconstruyó el sistema copernicano de acuerdo con las leyes de Kepler, haciendo correcciones mediante su ley de la gravedad. De esta manera, logró explicar el movimiento de las mareas considerando el efecto de la gravedad hacia el Sol y hacia la Luna, predecir algunas irregularidades en el movimiento de la Luna y los planetas, así como explicar la trayectoria de los cometas, considerándolos como cuerpos que gravitan en torno al Sol [Ramos Lara 1991, 80].

Este breve resumen del contenido de los *Principios matemáticos de filosofías natural* muestra una correspondencia con la temática física de la época, surgidas de las demandas de la economía y la técnica, y cómo estos problemas fueron por su carácter mecánicos, la obra principal de Newton fue una fundamentación de la mecánica terrestres y celeste.

En el primer libro de los *Principia* manipuló construcciones matemáticas exclusivamente, donde se hace abstracción sistemática de la masa en todos los llamados ‘cuerpos’, que por eso son puros puntos y no cuerpos efectivamente físicos. No obstante la matemática de Newton aparece impregnada por conceptos totalmente físicos, nacidos del legado de sus antecesores (Galileo, Kepler y Descartes, entre otros). El método geométrico que expuso presentó aspectos que forman parte de la geometría griega y de la geometría contemporánea (del siglo XVII): Rescata los métodos empleados por los griegos (análisis y síntesis), la ‘elegancia’ de la geometría griega que tuvo como prototipo la coherencia lógica de la obra de Euclides, y que se ve plasmado en la forma en que estructura el libro

La geometría de los antiguos también se relaciona con magnitudes, por lo que Newton afirma que sólo extiende esta idea a sus trabajos. Cuerpos con fuerza, velocidad y movimiento no pertenecen a la geometría pero pueden ser expresados por medio de representaciones geométricas, y en este punto Newton aseveró que se reducen a la geometría. Para él, la forma natural de extender los principios de la geometría antigua más allá de líneas rectas y círculos a otras curvas fue su método de fluxiones y momentos, en especial, las razones primeras y últimas de puntos en movimiento, presentado en la primera parte de este tratado [Martínez Reyes 1998, 27-38; Westfall 1980, 403]

Para Newton, la aritmética tiene que ver con números y objetos numerables, la geometría con medidas y con todo objeto que tenga largo, ancho y profundidad; la mecánica con la fuerza y el movimiento de un lugar a otro. Y las soluciones a preguntas aritméticas tienen que ver con las operaciones de adición, sustracción, multiplicación, división y extracción de raíces; las geométricas con aquellas realizadas con operaciones de trazo de líneas y construcción de figuras exactas condicionadas por postulados; mientras que mecánicas son aquellas operaciones de aplicación de fuerzas y cuerpos en movimiento que siguen líneas asignadas; por lo que Newton estableció la geometría como una especie particular de mecánica condicionada por definiciones, axiomas, postulados y construcción de problemas. Las cantidades geométricas y mecánicas pueden ser expresadas por números y tratadas entonces como en aritmética.

El método para resolver problemas en aritmética y geometría fue dual para Newton: Por composición o por resolución; se compone cuando se deduce directamente de un resultado dado algo buscado (análisis), y se resuelve cuando se supone lo que se busca como resuelto y luego llegamos a algo conocido, desde donde es posible regresar a lo supuesto (síntesis). Entonces el método propuesto por Newton representa la recapitulación de ello [Whiteside 1969, 173-176; Martínez Reyes 1998, 26-38].

Newton logró hacer suyos los conocimientos físicos, matemáticos y mecánicos de su época gracias a Descartes, Gassendi, Boyle, Kepler, Galileo, Huygens, Copérnico, Mariotte, Torricelli, Fermat, Leibniz, y Tartaglia, entre otros. La revisión de estas teorías lo llevó a formular con precisión la estructura matemática de los problemas de velocidad, espacio, tiempo y movimiento. Ya en 1664, logra un dominio del álgebra (Viète), la geometría analítica (Descartes) y el análisis infinitesimal (Wallis), vislumbrando estrategias para sintetizarlos. Siguió un proceso en el que mejoró la estructura algebraica (Viète, Descartes) y por tanto, la generalidad y rigor de lo estudiado, refiere la perspectiva mecánica relacionada con la imagen de puntos en movimiento (Barrow), incorporando con precisión variables de tiempo, velocidad y espacio. Newton, entonces, consideró imprescindible saber matemáticas y considera no menos imprescindible disponer de técnicas instrumentales capaces de permitir experimentar, concepto donde se combina una interrogación hecha por la naturaleza y una combinación de las premisas implícitas en el

investigador, tal y como su concepción de la filosofía natural lo exigía [Westfall 1980, 38; Guicciardini 1989, 83]

La filosofía natural que descubrió en Cambridge no fue demasiado ortodoxa, lugar dominado por la filosofía de Descartes, la autoridad del químico Boyle, el neoplatónico Henry More y su maestro, Isaac Barrow, que influyó en él para concebir los números como marcas o signos de magnitudes geométricas [Whiteside 1969, 25; Westfall 1980, 178] y las magnitudes geométricas como entes generados por el movimiento [Newton 1987, 123]. La filosofía natural, hacia finales del siglo XVII, se fortaleció al incorporar la observación, la experimentación y las representaciones matemáticas [Navarro 1967, 116]:

Los hechos empezaban a encajar acá y allá como piezas sueltas de un rompecabezas, hasta que aparecieron partes de un esquema. Newton continuó este movimiento formulando las leyes de la gravedad, que construyeron la primera gran síntesis científica; luego los enciclopedistas franceses del siglo XVIII posiblemente llevaron esta tendencia demasiado lejos con su exagerada filosofía mecanicista [Dampier 1972, 173; Arboleda 1995, 31-32].

Por filosofía natural se entendió la problematización del funcionamiento del mundo, desde una perspectiva física, mecánica y matemática, pero donde la intervención divina fue central; comprende la óptica, el análisis y la alquimia. La filosofía natural tuvo tanto de metodología como de filosofía, pues no fue un mero arsenal experimental al que se recurrió sino también una concepción de la verdad y, por supuesto, una concepción del mundo; debido a ello es que la filosofía natural tomó como punto de partida la solución matemática para, desde ella, avanzar hacia una explicación física, sistema adoptado por Newton [Whiteside 1969, 25; Westfall 1980, 47]

Resulta importante resaltar la forma de interpretar la geometría como puntos en movimiento por ser la manera en que Newton extiende toda su matemática para explicar fenómenos mecánicos; en las obras por analizar debemos establecer si este método geométrico es usado por los novohispanos, o más bien es de manera analítica, con los trabajos de Euler, los Bernoulli y demás difusores newtonianos, que se da la aceptación y uso de la física newtoniana

Difusión de la mecánica newtoniana

Huygens y Leibniz criticaron los *Principia* y lo interpretaron como un libro que trató sobre los efectos y no relativo a las causas, escrito además con excelentes matemáticas pero nada de física. Hubo quienes lo aceptaron como una filosofía mejor que la escolástica, como Joseph Saurín; no fue el caso de Fontenelle y Regnault, quienes le exigieron una respuesta a la causa de la gravedad [Dampier 1972, 41]. Otros divulgaron y difundieron su obra absorbiéndola como estaba escrita, como Algorotti en 1737 y Voltaire en 1738; mientras que S'Gravesande, Desaguliers y Richard Bentley (en la edición de 1713 que financia y es llevada a cargo por Roger Cotes) eliminaron el obstáculo de la crítica de Fontenelle y Regnault, quitando la idea de la gravedad para asignarla como atracción. En diversas traducciones del latín de libros como la *Óptica* de Newton o el texto de física cartesiana *Traité de Physique* de Rohault, Samuel Clarke se declara partidario de Newton [Heilbron 1982, 47; Ramos Lara 1994, 129-131].

A pesar de que Newton tuvo muchos seguidores, los cartesianos no aceptaron su teoría. Clairaut, D'Alembert y Euler encontraron dos fenómenos con los cuales cuestionaron por algún tiempo la filosofía newtoniana (ya que ésta no los podía explicar), y con los cuales, más tarde, a su vez triunfó por completo y tuvo que ser aceptada por los matemáticos franceses, quienes la difundieron, como Maupertuis, Bouguer, Clairaut y D'Alembert, al reconocer el error en sus cálculos. Los dos problemas fueron los siguientes [Heilbron 1982, 49-51]: Según las teorías de Newton, la Tierra debería ser oblata, más achatada en los polos que en el ecuador; pero según las dimensiones que calculó Jacques Cassini, jefe del observatorio de París, tenía forma oblonga, más larga en los polos que en el ecuador. Esto atrajo la atención de todo el mundo, al grado de que se mandaron expediciones al Ecuador en 1735 y a Laponia en 1736 [Bouguer 1749, 13]. De aquí se encontró que la teoría de Newton predijo bien la forma de la Tierra.

El segundo problema se refirió al cálculo del movimiento de la Luna. Clairaut, D'Alembert y Euler calcularon, en 1747, el valor para la precesión (retraso) del movimiento de la Luna, y mostraron que la ley de la gravedad fallaba pero su cálculo correspondía a una fuerza que fuera como r^3 . Buffón defendió las ideas de Newton, pero no consiguió mucho. Fue hasta 1749, que Clairaut encontró los errores de los cálculos, y al

corregirlos observó que concordaban perfectamente con la ley de los cuadrados de la teoría de Newton. D'Alembert, a pesar de su fuerte espíritu cartesiano, empezó a cambiarse al newtonianismo, convirtiéndose posteriormente en uno de sus difusores. La obra matemática de Newton se desarrolló en el siglo XVIII, gracias al análisis de Euler, que permitió entender mejor la matematización newtoniana de la naturaleza [Woods 1995, 82; Ramos Lara 1994, 131-135].

Para Arboleda [1987, 12-14], el proceso de domesticación de la filosofía newtoniana tuvo sus orígenes en el gusto intelectual y la necesidad psicológica de unos cuantos ilustrados de exponer los saberes útiles de la filosofía newtoniana a la verificación experimental. Y poco a poco, a través de la enseñanza, los laboratorios y las publicaciones se fueron convirtiendo en una práctica institucionalizada como consecuencia del trabajo profesional de los experimentalistas holandeses como Boerhaave, S'Gravesande y Muchenbroek, y de sus seguidores en Francia, el abate Nollet, el abate Sigorgne y Sigaud de la Fond. La clave del éxito estuvo en que la física se despojara del pensamiento metafísico de la matemática formal y de la especulación filosófica.

Para enseñar física experimental, fue necesario contar con instrumentos y máquinas. De esta necesidad surgieron diversos diseñadores como S'Gravesande y Nollet, entre otros. Así, nacieron grandes compañías alemanas, francesas e inglesas que empezaron a comercializar los instrumentos de medición creados principalmente por Muchenbroek, S'Gravesande, Nollet, Sigaud de la Fond, y demás [Heilbron 1982, 70; Ramos Lara 1994, 135]. También se escribieron textos y libros en forma de cursos de física, para esta materia. De entre los más famosos y que fueron distribuidos por varias partes del mundo, se encontraron los escritos por Nollet, Jacques Brisson, Sigaud de la Fond, S'Gravesande, Desaguliers y Muchenbroek, que se caracterizan por seguir el esquema newtoniano para sus libros [Heilbron 1982, 150; Guerlac 1981, 105-117]. Es importante resaltar la difusión que estos personajes realizaron de la física newtoniana, ya que los *Principios* resultaron muy complicados de entender, por lo que el enfoque de estos hombres permitió una mejor recepción de las teorías entre los intelectuales.

Difusión en Francia

En Francia, el debate entre cartesianos y newtonianos frenó momentáneamente la difusión de la física newtoniana. Los primeros promotores de esta corriente surgieron en otros países como Inglaterra con Desaguliers y en Holanda con Muchenbroek y S'Gravesande. Aunque no se difundió la física newtoniana, en Francia se escribieron libros, a principios del siglo XVIII, que pretendieron hacer llegar a un público más numeroso la física moderna. Destacaron el *Traité de physique* de Jacques Rohault, *Expériences de physique* de Pierre Polinière y *Récueil de observations sur la physique* de Bougeant. También, se crearon academias y surgieron periódicos científicos como el *Journal des Savants* y las *Philosophical transactions*, para promover el mismo fin. Si bien estas revistas no tuvieron un público numeroso y estuvieron dirigidas exclusivamente a hombres de ciencia, sin duda permearon el ambiente intelectual para facilitar la introducción del newtonismo [Woods 1995, 118; Arboleda 1987, 15].

En los colegios, los jesuitas se destacaron por su disposición a difundir la física moderna. Cuando la mecánica newtoniana fue aceptada en Francia, algunos jesuitas se apoyaron en los trabajos de los principales difusores extranjeros, para continuar con esta tarea en su país. El abate Nollet se destacó por la disposición y el entusiasmo que le prestó a esta actividad; Nollet fue alumno de Desaguliers en Inglaterra y de S'Gravesande y Muchenbroek en Holanda, escribió *Leçons de physique expérimentale* [1738] para utilizarlo como libro de texto en cursos de física. Pretendió hacer de la física un placer para aficionados y un entretenimiento divertido y a la moda. Con su habilidad como experimentador ganó muchos aficionados y se convirtió en uno de los principales promotores de la física experimental [Woods 1995, 118; Heilbron 1982, 75]. Otros de los personajes que sobresalen como difusores de la ciencia newtoniana en Francia fueron Voltaire, a través de su *Física Newtoniana*, y Boerhaave con su *Método de estudiar física*.

Varios países coincidieron en la creación de algunos colegios destinados a resolver problemas de carácter práctico, estrechamente relacionados con los medios de producción. La instrucción en estos colegios fue netamente científica y la enseñanza de la física newtoniana fue imprescindible, por su carácter experimental. Tal es el caso de las escuelas de artillería y de ingenieros en Francia [Taton 1986, 10]. Entre los libros que se utilizaron



como textos para enseñar física experimental destacaron: *Elementa Physicae* [1734] e *Introductio ad philosophiam naturalem* [1762], de Muchenbroek; *Physices elementa mathematica experimentis confirmata* [1746] y *Philosophiae newtonianae institutiones in usus academicos* [1723], de S'Gravesande; *Eléments de la philosophie de Newton*, de Voltaire; *Leçons de physique expérimentale* [1738], de Nollet; *Dictionnaire de physique* de Paulian, entre otros [Heij,1 ,bron 1982, 70]. Nollet se convirtió en el 'gran organizador de la victoria' de la institucionalización de la física experimental en el siglo XVIII [Ramos Lara 1994, 135]. Tanto este proceso como el de profesionalización se vieron fortalecidos hacia 1790, por la "profusión de cátedras y de costosísimos gabinetes y museos en colegios, academias y en instituciones privadas, la aparición de obras divulgativas de todo género, la construcción de aparatos, etcétera" [Arboleda 1987, 13-17].

Difusión en España

Las teorías de Newton se introdujeron en España por medio de Feijóo, gran admirador de Newton y de Bacon, mediante su famoso *Teatro crítico universal* [1726], fue este ilustrado el que defendió empeinadamente el método experimental. Otros personajes como el doctor Pique y Luis Antonio Verney suscitaron grandes polémicas pero fueron acogidos por los ilustrados españoles a través de sus libros *Física Moderna racional y experimental* [1795] y *Verdadero método para ser útil a la República y a la Iglesia, proporcionado al estilo y necesidad de Portugal*, respectivamente. El estudio de la física tomó otros rumbos con los autores propuestos por Pique y Verney, entre otros: Galileo, Newton, Descartes, Malebranche y Bayle. En la nueva cultura que vivía España en el siglo XVIII se consideró prioritario la modificación de los estudios universitarios y Feijoo defendió infructuosamente la reforma.

Uno de los primeros proyectos de reforma universitaria fue el que presentó Gregorio Mayans en 1767 para Valencia, donde recomendaba a Wolff (quien daba a conocer las teorías de Newton), pero es en el plan de estudios de 1768 propuesto por Pablo Olavide para la universidad de Sevilla, donde aparecen propuestos los textos de Newton. Por otro lado, la *Universidad de Salamanca* se mostró renuente a incluir a Newton en su reforma de 1770, como hemos visto. En las universidades penetraron las teorías de Newton pero con reticencias, aunque los libros circularon entre los interesados de verificar la utilidad de la

física newtoniana. Para 1779, la mayoría de los centros de enseñanza introdujeron los libros de Jacquier, Muchenbroeck, Newton, Gassendi y Descartes, entre otros. Merecen mención el seminario de San Fulgencio en Murcia, los carmelitas descalzos y los agustinos que para el periodo de 1774 a 1780 examinaban a Newton en la mayoría de sus estudios superiores [Arboleda 1995, 31-35; Ramos Lara 1994, 131-137].

Podemos mencionar algunas de las instituciones que apoyaron los ilustrados españoles y por donde circularon y se utilizaron, en mayor o menor grado, la teorías de Newton: Las academias médicas que desde 1740 se fundaron en Cartagena, los colegios de cirugía que se establecieron en Cádiz (1748), Barcelona (1760) y Madrid (1787). Las reales academias de ciencias y artes que se crearon en Barcelona (1770), los reales jardines botánicos que se fundaron en Madrid (1755), Valencia (1756) y Barcelona (1782) Algunos integrantes de tertulias literarias y científicas hicieron en 1748 un reglamento en el que los lunes analizaron cuestiones de matemáticas, los martes de física, y así sucesivamente; de estas reuniones surgió la *Sociedad Bascongada de Amigos del País*, al igual que la de Barcelona, que se dedicó a cuestiones de física experimental. Las tertulias de mayor actividad científica fueron: Las del marqués de Villatorcaz, Vicente Tosca, Andrés Piquer, Martí y Miñana en Valencia, y la del duque de Montellano en Madrid. Piquer junto con Feijoo representaron la primera generación que impulsó las teorías newtonianas en España [Sarrailh 1981, 231; Arboleda 1995, 36-37]

En la difusión de la mecánica newtoniana, Muchenbroek fue muy famoso en toda Europa, en particular en España, su libro encabezó la colección de experimentos de la *Academia del Cimento* de Florencia [Sarrailh 1981, 430]. En 1753, el conde de Peñaflores decidió difundir el conocimiento de la nueva física, basándose en las obras de Nollet, Regnault, S'Gravesande, Madame de Chatellet y otros. Realizó, junto con un amigo, extractos de estas obras y los publicó como discursos en su ensayo [Sarrailh 1981, 436]. A mediados del siglo XVIII, un grupo de ilustrados españoles difundieron a Muchenbroek, S'Gravesande, Newton y Nollet, logrando que una incipiente comunidad científica se interesara por las ciencias naturales y las matemáticas. También realizaron traducciones de libros como *El espectáculo de la naturaleza* de Pluche y un *Diccionario castellano con voces de ciencias y artes* del jesuita Terreros y Pando. Nollet fue el que gozó de más fama

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

en Europa, así que los españoles coleccionaron sus tratados de física y la sociedad bascongada recomendó sus obras; también se realizaron traducciones de las mismas [Arboleda 1987, 14-17].

La obra de Newton y la física en general, se difundieron incluso a través de la poesía; por ejemplo, Gabriel Ciscar compuso un poema físico astronómico, donde el personaje principal fue Newton. También en los periódicos destinados a difundir los conocimientos científicos se habló constantemente del sistema newtoniano. Exponentes como Viera y Clavijo, admirador de la física experimental newtoniana, Meléndez Valdés y Quintana, le dedicaron dentro de su producción literaria algunos poemas [Cruz 1988, 85; Arboleda 1995, 38].

En la segunda mitad del siglo XVIII, la física, y en especial la mecánica newtoniana, se utilizaron en problemas prácticos. Por ejemplo, en 1789, Jovellanos solicitó al rey su autorización para fundar una escuela de mineralogía con la que se fomentaría la explotación y el comercio del carbón de plata en el principado de Asturias. El instituto se inauguró en 1794, con las materias de matemáticas, dibujo, náutica, mineralogía, francés e inglés. En el primer año se enseñó matemáticas; en el segundo, elementos de álgebra, de mecánica y de hidrodinámica; la óptica y la acústica se impartieron en el curso de física general; el libro de texto fue el de Benito Bails. En náutica, se enseñó durante un año cosmografía, astronomía, navegación y maniobras. El curso de mineralogía se impartió en tres años; en el primero se enseñó física general, basándose en el tratado de Chabaneau, donde el estudio de las ciencias físicas tuvo como único fin la práctica. La escuela contó con apoyo económico, ya que la política real consideró que ningún dinero estaba mejor empleado que el destinado a adquirir instrumentos y máquinas necesarias para la enseñanza. En el segundo año, se enseñó química general y finalmente en el tercer año se estudió la mineralogía práctica. Al final de los cursos los alumnos visitaron las minas más cercanas a Gijón [Sarrailh 1981, 223].

En el *Seminario de Nobles* de Madrid, se enseñó la mecánica newtoniana cuando, a fines del siglo XVIII, este colegio adquirió un carácter militar [Sarrailh 1981, 205]. Lo mismo sucedió en el *Colegio de San Telmo* de Sevilla, en el *Colegio Imperial*, y en la *Casa de Contratación* [Hamnett 1985, 149-191]. De esta manera, mediante su difusión, la física

experimental fue introducida en España con el interés de adquirir aceptación; después de sufrir algunas dificultades para su introducción, no sólo se admitió e institucionalizó, sino que se utilizó para resolver problemas prácticos. La mecánica newtoniana se caracterizó por ser la más útil y se aplicó en tres aspectos importantes para España: La náutica, la minería y la artillería. Los libros de texto utilizados en las instituciones para formar al personal adecuado a estos fines fueron los de Nollet, Sigaud de la Fond, Muchenbroek, S'Gravesande y Bails, quienes manifestaron estar influenciados por las teorías newtonianas. Éstos son elementos que serán analizados para determinar la forma en que el pensamiento de Newton se introdujo en la Nueva España. Asimismo existe similitud en los planes de estudio de las instituciones españolas, que fueron copia de las del resto del continente, con las de la Nueva España, como veremos en el siguiente capítulo.

Difusión en la Nueva España

En la Nueva España, el primer personaje preocupado por la ciencia moderna fue Sigüenza y Góngora, que divulgó la teoría cartesiana en nuestro país [Cruz 1988, 81]; su *Libra astronómica y filosófica* [1690], respondió a las condiciones de la época y aún más: Vislumbró el llamado siglo de las luces, con todos los adelantos tecnológicos que implicó. Hemos mencionado que como profesor de la universidad realizó disertaciones teóricas donde hace uso de la física contemporánea de su época; para 1729, la *Gaceta de México* promovió el *Compendium philosophicum* de Vicente Tosca, que junto con su *Compendio matemático*, son los representantes del pensamiento cartesiano. Para esta fecha hacía mucho que habían aparecido en Inglaterra, los *Principios matemáticos de filosofía natural* [1687], la *Óptica* [1704] y el *Sistema del mundo* [1728] de Newton, que no fueron inmediatamente asimilados en la Nueva España.

Para 1739, se publicó en París la *Historie du ciel* del abate Pluche, obra en que redujo la filosofía natural de Newton a tres principios: La existencia del vacío, las leyes del movimiento y la teoría de la atracción [Reyes 1959, 34]. Esta obra fue muy solicitada en la Nueva España, según un edicto de la Inquisición novohispana [Pérez 1945, 36]. Por otra parte, entre 1726 y 1739, aparecieron los ocho tomos del *Teatro crítico universal* de Feijóo, que junto con los cinco tomos de sus *Cartas eruditas y curiosas* fueron conocidos en la colonia entre 1742 y 1760, donde expresa su preferencia por la física experimental de

Newton [Morayta 1910, 218]. Por primera vez lo cita en 1728, en el tomo II, discursos catorce y veintitrés del *Teatro*: “el Caballero Newton, famosísimo matemático inglés y sutilísimo filósofo[...]. No tengo de Newton sino las *Instituciones* de su filosofía que compiló S’Gravesande”. Y más adelante, en 1736, en el discurso cuatro del tomo VII, hizo mención del sutilísimo inglés Isaac Newton. En 1745, en las *Cartas*, tomo II, mencionó a Newton y su teoría de los colores expuesta en la *Óptica*; en 1750 dedicó la carta veinte del tomo III, a destacar los progresos del sistema astronómico de Copérnico; y en 1753, habló de los *Principios matemáticos de filosofía natural*, edición en latín del caballero Newton. Además se refirió a él en los siguientes términos [Feijóo 1781, 40]:

Bacon y Boyle fueron filósofos originales y profundos; más profundo y más original que los dos, Newton Bacon, descubriendo la Naturaleza en el atrio de su magnífico palacio puso a la vista las puertas por donde se podía entrar a los jardines interiores [...] Boyle entregó la llave de una de las principales puertas por donde entró al salón de la anatomía de los cuerpos inanimados. Newton dio una antorcha de vivísima luz, con que pudo registrar amplísimos espacios de aquel edificio, en que todos los filósofos anteriores nada habían visto sino tinieblas.

Los escritos de Feijoo y Pluche repercutieron en hombres como Francisco Javier Clavijero, que entró en contacto con la obra de Feijóo desde 1743, siendo hasta 1751 cuando decidió leer obras de autores como: Descartes, Gassendi, Newton y Leibniz. La influencia de Clavijero se dejó sentir en aquellos que compartieron con él el deseo de conocer las teorías modernas: Rafael Campoy, Francisco Javier Alegre, Diego José Abad, Agustín Pablo Castro, Pedro José Márquez, Rafael Landívar y Andrés de Guevara y Basoazabal [Méndez Plancarte 1941, 183; Cruz 1988, 82]. Y ni qué decir de estudiosos como Joaquín Velázquez de León, que para 1754 leyó a Newton, según lo reporta el testimonio de Humboldt [1978, 82]. Bartolache conoció la nueva metodología newtoniana, el método inductivo-deductivo para la enseñanza de las matemáticas en la *Real y Pontificia Universidad de México* entre 1768 y 1770 [Espinoza Sánchez 2002, 70]. Así, la Nueva España participó en la difusión de la mecánica newtoniana, principalmente a través de los jesuitas a mediados del siglo XVIII y antes de su expulsión en 1765.

Para 1772, recibieron en la *Real y Pontificia Universidad*, unos ejemplares de las *Academias filosóficas* de Jacquier, cuyos cargos de impresión corrieron a cargo de José Ignacio Bartolache [Fernández 1953, 260]. En la dedicatoria apareció el nombre del caballero Newton, de donde se desglosa la noción que se tuvo de Newton a través del autor

francés. Bartolache plasmó su conocimiento de Newton en el *Mercurio Volante*; por ejemplo, el 28 de octubre de 1772, al tratar de la verdadera idea de la buena física y de su grande utilidad [Bartolache 1983, 21-22]. Días después, Bartolache [1983, 24, 27] mencionó a los dos insignes astrónomos del siglo pasado, Domingo Casinni y el gran Newton, este último fallecido en Inglaterra en el año del sarampión, año del 27.

El siguiente en referirse a Newton fue Gamarra, en su *Elementa recentionis philosophiae* [1774], donde expresó su preferencia por la doctrina newtoniana en lugar de la cartesiana, en relación con la teoría de la luz y los colores. En este libro que fue utilizado como texto de la cátedra de filosofía en el *Colegio de San Francisco de Sales*, buscó la modernidad con Boyle, Newton y Leibniz frente a la tradición escolástica [Junco 1973, 86, 90, 125]. Otro escrito donde se manifestó newtoniano fue los *Errores del entendimiento humano* [1781] [Gaos 1947, xxxvii-xi]. Estableceremos con precisión la influencia de Newton en estos escritos en el siguiente apartado.

Alzate [1980, 9] fue de los más entusiastas difusores de Newton en la Nueva España. En su *Diario Literario de México* del 18 de marzo de 1768, un año después de la expulsión jesuita, lo señaló en relación a la emanación de la luz, no sólo como doctrina sino como una teoría que requería más fundamentos. Las fuentes que le sirvieron a Alzate de modelo fueron: *Mémoires de Trévoux*, revista jesuita que fue la principal fuente de divulgación newtoniana; *Transacciones filosóficas*, revista de la *Royal Society* de la cual Newton fue presidente hasta su muerte; y las *Memorias* de la *Academia de Ciencias de París*, entre otras [Alzate 1980, 3-4]. Finalmente, en su *Oración fúnebre en las exequias del Ente de la razón* [Alzate 1980, 246], expresó su aprobación de la teoría newtoniana de la luz al coincidir con sus propios experimentos.

Aunque fue de todos conocido que Newton así como tuvo admiradores también tuvo detractores, en especial antes de terminar el siglo XVIII, como el jesuita José Mariano Vallarta y Palma que vio contradicciones entre Newton y las sagradas escrituras [Anderson 1970, 157-158]. También hubo quienes lo halagaron al grado de componer poemas, como Francisco Eduardo Tresguerras [1962, 51]:

Aquel Zoilo inexorable,
torpe desertor de Delos;
en los estrados Newton,
Góngora entre los cajeros [...]

El siglo XVIII fue considerado newtoniano por las citas a sus obras o a su persona. Pero habría que establecer hasta donde estas referencias son tan sólo eso, sin que los novohispanos llegaran a entender y poner en práctica las teorías newtonianas; o por el contrario, sirvieron de fundamento a su producción científica.

El que para 1754 cayeran en manos de Joaquín Velázquez de León las obras de Newton y Bacon decidió su gusto por la astronomía y el conocimiento de los verdaderos métodos filosóficos [Humboldt 1983, 82]. El escritor Joaquín Fernández de Lizardi [1959, 36] publicó en 1816 su *Periquillo Sarmiento*, donde dio cuenta del estado de la educación en los siglos XVIII y XIX, que en las aulas todavía resonaba Aristóteles y no se mencionaron a grandes hombres como Cartesio, Newton o Muchenbroeck. Así, la teoría newtoniana se abrió paso más bien entre los amantes de la ciencia, gracias a obras como: *Física experimental* de los abates Para y Nollet, *Recreaciones filosóficas* del padre Teodoro de Almeida, *Diccionario de física* y *Tratado de física* de Brisson, *Espectáculo de la naturaleza* de Pluche, e *Historia natural* de Buffón [Fernández de Lizardi 1959, 47]. En cuanto a libros de texto que se usaron en la Nueva España, Alzate refirió los *Tratados de matemáticas* [1772] de Benito Bails y Jerónimo Campany, llegado desde Madrid, como lo mejor que estaba escrito en español. Para 1779, llegaron los *Elementos de matemáticas* de Bails, en cuyo prólogo se leyó: El portentoso, divino e inmortal Newton, que así como era el mayor de los matemáticos también fue el más modesto.

Pero la institucionalización de la física experimental se logró totalmente, en el siglo XVIII, en el *Real Seminario de Minería*, con la cátedra de física experimental impartida por primera vez en 1793 por Bataller, donde se difundió oficialmente la mecánica newtoniana. Esta cátedra se utilizó como auxiliar en la formación de los mineros. Fue necesario conocer las leyes de Newton para explicar el funcionamiento de las máquinas útiles en la minería, así como el estudio de la hidráulica y la hidrodinámica. Éstas fueron materias indispensables en el seminario, ya que estudiaron el comportamiento de los fluidos, en especial, el agua y el azogue.

En el *Seminario de Minería* se inició la tradición de la enseñanza de la física experimental en México, no como ciencia teórica sino como ciencia práctica y útil. El libro que redactó Bataller contiene ejemplos y ejercicios que resuelven problemas de minería. No se trató sólo de divulgar la teoría sino de difundirla a un medio social y cultural específico, entre los alumnos de Minería, con fines pragmáticos. Los autores que se consultaron para difundir la mecánica newtoniana fueron casi los mismos que en Europa: S'Gravesande, Desaguliers, Nollet, Sigaud de la Fond, Muchenbroek, los Bernoulli y Jacquier, entre otros, que son prácticamente newtonianos. Todos ellos dieron a sus libros la misma estructura que le dio Newton a sus *Principios matemáticos de filosofía natural*.

En el libro de Muchenbroek [1796], se introdujeron otros temas como electricidad, magnetismo, óptica y algunos relacionados con el aire, el fuego, la luz y los meteoros. Respecto a la obra meramente experimental de Desaguliers [1751], el primer tomo se dedicó a mecánica y el segundo a hidrodinámica. S'Gravesande [1746] y Muchenbroek [1796] en sus obras realizaron varios experimentos aunque su tendencia fue principalmente de vincular las matemáticas con ejemplificaciones prácticas. Entre los libros de texto que se utilizaron para la enseñanza de la física se encuentran: El de Francisco Bataller y el de Benito Bails. Este último dividió a las matemáticas en puras (aritmética, geometría práctica, trigonometría plana y esférica) y mixtas (álgebra, mecánica e hidrodinámica) [Bails 1772, 10]. Más adelante tendremos ocasión de analizar esta obra en detalle.

Las obras de Nollet fueron las que mayor impacto tuvieron entre los novohispanos, éstos lo citaron constantemente. Casi todos los libros que editó fueron utilizados en el *Real Seminario de Minería*, entre ellos: *Lé ons de physique expérimentale* [1789], *L'art des expériences ou avis aux amateurs de la Physique* [1770 y 1784], *Lettres sur l'électricité* [1764], *Récherches sur les causes particuliers des phénomènes électriques* [1754], y *Essai sur l'électricité des corps* [1745]. El primero de ellos fue el más popular, de contenido newtoniano, pero fue más experimental que matemático [Woods 1995, 144].

También fue experimental el libro de Sigaud de la Fond, *Elementos de física teórica y experimental* [1787], cuyos cuatro primeros tomos fueron de contenido newtoniano. De

esta obra, Elhuyar hizo la primera lista de máquinas y herramientas para el gabinete de física experimental; tuvo gran popularidad en el *Real Seminario de Minería* [Larroyo 1982, 194].

Los libros con los que se difundió la mecánica newtoniana en la Nueva España estuvieron escritos principalmente en francés y sólo algunos en español, lo que mostró la influencia de la ilustración francesa en México. Este proceso se dio en la Nueva España en dos formas: La divulgación de la imagen de Newton y la difusión de las teorías del mismo. En la divulgación de la imagen de Newton se dieron dos situaciones; por un lado, estuvieron aquellos novohispanos que conocieron y aplicaron sus teorías, y, por el otro, aquellos que únicamente veneraron su imagen desconociendo completamente sus teorías, síntoma de ello fueron los grandes elogios que plasmaron en sus escritos. Esto ha quedado patente en las referencias a las citas de Newton que hemos mencionado por parte de los diversos pensadores novohispanos. Entre los que lo elogiaron estuvieron Antonio Alzate y José Ignacio Bartolache, ejemplo de ello es la siguiente cita [Bartolache 1983, 21-22] del *Mercurio Volante*:

En fin la gloria de filosofar con solidez y conocer la misma naturaleza que Dios creó, sin atenerse a sistema imaginarios, demostrar con evidencia la conexión de los efectos más admirables con sus respectivas causas, hacerse dueño del mundo físico, poner en admiración a todas las gentes y dar celos á las naciones más ilustradas, que creyeron tener a fines del siglo próximo en los inventos del caballero Isaac Newton repetidas pruebas de lo sumo a que puede aspirar el ingenio humano: todo esto estaba reservado a aquel celeberrimo filósofo matemático inglés, en cuyo elogio nada me ocurre que no parezca muy inferior a la idea de sus raros talentos. Diré solamente, que su física es ya por consentimiento universal lo que hay que saber de bueno, la más bien fundada, la sola útil de un modo efectivo y la sola que no ha desmentido la razón, ni la naturaleza, ni ninguna experiencia. Son pocos y sencillos sus principios, el método rigurosamente geométrico y las consecuencias interesantes a las ciencias y artes; cualquiera de estas cosas que faltase, se echaría de menos y ya no puede pedirse más

Alzate lo menciona en su revista *Asuntos varios sobre ciencias y artes*, en “Introducción de aire en las minas”, cuando habla del aire como formando por átomos, y que al perturbar este aire se produce un movimiento ondulatorio, y añade [Alzate 1980, 101]: “Esto lo tengo experimentado repetidas veces en que se me ha ofrecido observar con el microscopio solar o con el prisma, para divertirme con el gran descubrimiento de la luz del sublime Newton” El poeta Alexander Pope resume la actitud aduladora de los contemporáneos de Newton en el siguiente verso [Woods 1995, 144]: “La naturaleza y sus leyes estaban en la oscuridad. Dios dijo: que sea Newton, y se hizo la luz”.

La aplicación práctica de las teorías newtonianas (física, astronomía, mecánica, matemática y óptica) circularon en las expediciones científicas, en las actividades de medición de límites, de observaciones astronómicas y de construcción de obras públicas. Bajo el régimen de los borbones la colonia presentó varios problemas, entre otros, la defensa de estas tierras, la fijación de límites, la protección del comercio, el desarrollo de nuevas vías de comunicación, y la explotación de sus riquezas minerales y botánicas. Por lo que la corona española recurrió a los avances científicos y técnicos que proporcionaron ventajas a ingleses y franceses. Mencionamos ya una serie de expediciones donde en los trabajos que realizaron sobre historia, demografía, urbanismo, salud, minería y ganadería aparecen referencias a Newton, además en las citadas expediciones circularon en forma práctica las teorías de Copérnico y Newton, acompañados de abundante instrumental científico y de un grupo importante de astrónomos. Las teorías de Newton circularon en el *Real Seminario de Minería* y en el *Real Jardín Botánico*, y entre criollos como Alzate, Mociño, Bartolache, Gamboa, Velázquez de León y del Río, entre otros. Esto será motivo de un análisis más profundo en las siguientes secciones.

La difusión de las teorías de Newton se dio principalmente en los libros de texto para la cátedra de filosofía, como en el caso de Gamarra, y en los de física, como con Bataller. También se encontró una serie de escritos que trataron sobre problemas prácticos de desagüe de ríos, determinación de posiciones y longitudes de ciertos espacios geográficos, entre otros, como la obra de Antonio de León y Gama, que explicó el fenómeno de la aurora boreal en función de las teorías ópticas de Newton; por lo que tenemos una serie de artículos en publicaciones periódicas que debemos analizar. En resumen, podemos mostrar que la difusión de la mecánica newtoniana se dio a través de los siguiente autores, con sus respectivas obras, como una muestra representativa.

1.11 LAS TEORÍAS DE NEWTON EN LOS TRABAJOS PUBLICADOS EN EL SIGLO XVIII, RELACIONADOS CON FÍSICA Y MATEMÁTICAS

Respecto a astronomía aparecieron publicaciones relacionadas con observaciones de eclipses de Sol, de Luna, del paso de Venus sobre el disco del Sol, y estudios de los satélites de Júpiter, entre otros, para obtener la latitud y longitud de alguna ciudad. Dentro de meteorología surgieron publicaciones relacionadas con el uso del termómetro y el barómetro, para determinar el estado del tiempo y las altitudes, respectivamente. Se

presentaron escritos sobre fenómenos naturales como auroras boreales, temblores, terremotos, erupciones volcánicas y demás. Sobre cosmología se refirieron a disertaciones metafísicas de la creación del universo [Cardozo 1973, 46; Díaz de Ovando 1985, 120].

En la segunda mitad del siglo XVIII los novohispanos estudiaron tres fenómenos celestes: 1) El tránsito de Venus por el disco del Sol en 1769, observado por la expedición franco española en la península de Baja California, a cargo de Chappe d'Auteroche, quien observó el fenómeno en Siberia. Velázquez de León se encontraba en California en una comisión (buscando minerales) junto con el visitador José de Galvez, por lo que se unió a la expedición. Chappe usó el método de Lalande para calcular la distancia del Sol a la Tierra, al mismo tiempo que Velázquez de León construyó sus propios instrumentos para observar el fenómeno. Mientras que en la ciudad de México fue observado por Bartolache y Alzate 2) El eclipse total de Sol de 1778, fue pronosticado por León y Gama y estudiado conjuntamente con Velázquez de León. El primero publicó sus resultados en la *Descripción Orthographica Universal* mientras que el segundo calculó la longitud del Valle de México; Alzate también estudió el fenómeno construyendo sus propias lentes, lo reportó en *Observaciones sobre el eclipse total de Sol*. 3) La aparición de la aurora boreal que suscitó una polémica entre Alzate, León y Gama y Rangel. Alzate sólo describió el fenómeno sin dar un análisis físico-matemático del mismo. León y Gama redactó un discurso anónimo en la *Gaceta de México* para desmentir el comentario de Alzate respecto a la naturaleza de la aurora boreal como un meteoro, León y Gama se inclina por la ley de la gravitación para explicar la formación de la aurora boreal y continúa criticando a Alzate; éste, a su vez, responde proponiendo como causa de la formación de la aurora un fluido eléctrico León y Gama contestó con un libro que es una de las más grandes aportaciones astronómicas de la ciencia novohispana, *Disertación física sobre la materia y formación de las auroras boreales* publicado en 1790 [Espinoza Sánchez 1994, 58-65; Saladino 1996, 99-113].

Cursus Philosophicus
Francisco Javier Alegre

Escribió sobre el movimiento de los cuerpos en general, del movimiento de los cuerpos elásticos, la fuerza de gravedad, el movimiento oscilatorio de los péndulos. En física, trató de los cielos, el sistema solar, ecuaciones que describen los movimientos de los planetas y

eclipses, para explicar el cosmos con la teorías de Copérnico y Thycho Brahe. Trató sobre óptica, dióptrica y catióptrica con la teoría de Descartes. En su correspondencia con Clavijero se declara seguidor de Descartes, y un antinewtoniano [Espinoza Sánchez 1994, 28; Ramos Lara 1994, 159]. Sin embargo, quedó como precedente de difusión de la física newtoniana.

De las dificultades para aceptar la tesis heliocentrista

Francisco Javier Clavijero

Describió la teoría del sistema del mundo de Copérnico, analizando sus errores: Comenzó diciendo que Copérnico derrumbó el sistema tolemaico, basándose en la antigua teoría de Aristarco y perfeccionándola en el tiempo. Mencionó el orden de los planeta; que giran alrededor del Sol: Mercurio, Venus, Tierra (la Luna gira a su alrededor), Marte, Júpiter (cuatro satélites a su alrededor) y Saturno (cinco satélites a su alrededor). Además le atribuyó a la Tierra tres movimientos: El diurno (rotación), el anual (traslación) y el de paralelismo (cuatro estaciones). Termina mencionando que no se puede aceptar esta teoría porque parece oponerse a las sagradas escrituras, los jueces romanos de la fe la juzgaron absurda y herética, y fue puesta entre los libros proscritos por los jesuitas y porque se tenían ejemplos de que no se cumplían sus supuestos [Trabulse 1985, 483-84]

Cursus Philosophicus

Francisco Javier Clavijero

Presenta la división aristotélica de la física en general y particular. La primera está perdida, mientras que, en la segunda, explicó los principios y propiedades de los cuerpos, critica a Ptolomeo y Copérnico, acepta el sistema de Thycho Brahe, concibe a Galileo como defensor de la tesis heliostática del sistema solar y explica la teoría gravitacional de Newton. Le interesaron las manchas solares, por lo que manejó las teorías de Kepler, Dechales, Galileo, Copérnico y Newton. Cita a Galileo, Kepler, Gassendi, Lozada, Tosca, Purchot, Duhamel, Leibniz, Newton y Sigüenza y Góngora. No se le puede considerar newtoniano, pero nuevamente es un agente de infiltración de las teorías de éste [Espinoza Sánchez 2002, 73-74; Trabulse 1994, 145].

Estado de la geografía de la Nueva España y modo de perfeccionarla

José Antonio Alzate

En este trabajo, Alzate criticó el mal estado de la geografía en la Nueva España, lo que atribuyó a la falta de elaboración de mapas de calidad de los europeos. Elogió tanto el mapa como el valor obtenido de la longitud de la Ciudad de México que Sigüenza y Góngora realizó un siglo antes, así como el esfuerzo de Velázquez de León y de él mismo para rectificar el valor de la longitud y la latitud, mediante observaciones de los satélites de Júpiter y de los eclipses, respectivamente. Una característica de la cartografía que desarrolló es la incorporación de las matemáticas a través de las observaciones astronómicas para fijar la latitud y longitud de cierto lugar, si bien no tiene referencias directas a Newton en este trabajo posee antecedentes como veremos al término del análisis de algunas de sus obras [Ramos Lara 1991, 48; Saladino 1996, 288, 300]

Gaceta de Literatura de México del 28 de febrero de 1789

José Antonio Alzate

Donde relata las comprobaciones de los científicos europeos sobre el achatamiento del globo terráqueo, y las observaciones de Herschell sobre los volcanes de la Luna. Como una prueba de los esfuerzos por demostrar los alcances de la teoría de la gravitación de Newton, llegaron a sustentar que la rotación de la Tierra alrededor de su eje debe ocasionar el abultamiento en el ecuador y su aplanamiento en los polos. Esto fue comprobado por dos expediciones: La de La Condamine al ecuador de América, y la de Maupertius, Clairaut y Celsius al Ártico. Por otra parte, William Herschell, impulsor de la astronomía física, diseñó y construyó los mayores telescopios reflectantes de su época en Inglaterra, con lo que logró descubrir no sólo volcanes y montañas en la Luna, sino la ubicación del planeta Urano [Saladino 1996, 96-97].

Observaciones sobre el eclipse total de Sol del año de 1778

José Antonio Alzate

Es un artículo corto donde discutió que Antonio Ulloa observó en 1778 un eclipse total de Sol que presentó un extraño fenómeno, un punto luminoso en la Luna. Afirmó que él publicó en 1770 el reporte de un eclipse de Luna donde no se observó algún agujero sobre ella, sino más bien emersiones a las que Herschell llamó volcanes. Mencionó en esta obra a

Herschell, al físico Beccaria y al meteorólogo Saussure, y llegó a la siguiente conclusión: No se observó ninguna luz en la parte oscura de la Luna ni en el telescopio, ni a simple vista se podía distinguir el cuerpo de la Luna más que aquella parte que no estaba eclipsada [Trabulse 1985, 481-82].

Eclipse de Luna del 12 de diciembre de 1779, observado en la capital de México
José Antonio Alzate

Describió con detalle la forma en que realizó las observaciones de este eclipse. Empezó por dar una descripción general de la Luna, después lo que tuvo que hacer para saber la precisión del reloj que usó, luego una tabla describiendo el tiempo y los sucesos. Con un barómetro y un termómetro comprobó que su reloj no se encontrara influido por los cambios de clima. Explicó con la teoría gravitacional los movimientos de la Luna en torno a la Tierra, además de citar a newtonianos como Desaguliers, Lalande, Lacaille y León y Gama, entre otros [Trabulse 1985, 455-61; Espinoza Sánchez 2002, 78]

Observaciones físicas sobre el terremoto acaecido el cuatro de abril del presente año
José Antonio Alzate

En la Nueva España, el temblor del 4 de abril de 1768 fue observado por Alzate. Entre los efectos que registró fueron los cambios de clima antes y después, y tiempo aproximado de duración. Con estos datos proporcionó una explicación de las causas del fenómeno; su teoría fue que los terremotos fueron causados por fuegos subterráneos que hicieron que la materia se fermentara, calentara e inflamara, produciendo que el aire hiciera presión por todas partes tratando de salir, al lograrlo levantó la tierra y formó un nuevo volcán, produciendo temblores [Moreno Roberto 1953, 373; Saladino 1999, 78].

Gaceta de Literatura de México de junio de 1791
José Antonio Alzate

En un ejemplar de esta fecha dio noticias sobre actos de física y de matemáticas del *Colegio de San Juan de Letrán*, defendido en la *Real y Pontificia Universidad* por Juan Nepomuceno Sánchez y Francisco Colín, presidido por su profesor José Eduardo Cárdenas, quien además de discutir las más sublimes reglas de la física newtoniana, introdujo la costumbre de manifestar la utilidad de la física. El otro acto de física fue realizado por

varios alumnos del *Real y Tridentino Colegio Seminario*, presidido por Manuel Gómez [Saladino 1996, 127].

Cuestiones teológico-físicas defendidas en la ciudad de Querétaro por el R.P. Fray José de Soria en enero de 1768 años

José Antonio Alzate

Es un resumen que contiene seis colecciones, donde en cada uno trató de explicar mediante conceptos físicos los días de la creación del mundo. Empezó con el primer día, mencionando todo lo que se creó según la Biblia y aceptando el sistema de Newton respecto a la luz y sus fenómenos (reflexión, refracción, propagación); el segundo día explicó la creación del firmamento mediante la teoría de la evaporación causada por el calor; para el tercer día, cuando se juntan las aguas en un lugar, siguió el sistema de Descartes para su explicación. Para el cuarto día, cuando se adornó el segundo cielo con los astros y se establecieron otros tres cielos, describió el Sol, la Luna, cinco planetas (Venus, Mercurio, Marte, Júpiter con cuatro satélites, y Saturno con cinco) y se adoptaron las hipótesis del sistema copernicano y ticoniano; en el quinto día explicó la formación de las aves y peces por evaporación; y el sexto día refirió la creación de los animales terrestres, entre ellos el hombre, y los insectos, además de otras cosas. Con base en demostraciones de los físicos, negó la generación espontánea [Ramos Lara 1991, 59]. Se debe mencionar que las publicaciones periódicas de Alzate presentaron notas que pecan de superficialidad y falta de información, por ejemplo lo que acabamos de presentar aparece en el segundo número del *Diario Literario de México*, donde manifestó que el sistema de Newton era una continuación de la física aristotélica y más adelante critica la teoría de la gravedad, donde manifiesta su falta de información.

Los diferentes escritos presentados ponen de relieve la tendencia a tratar contenidos de la astronomía moderna, como los movimientos de rotación y traslación de los planetas y las fuerzas de atracción y proyección, que tienen que ver con el sistema del mundo propuesto por Newton. La labor de Alzate en matemáticas fue difundir su importancia en el estudio de la geometría por su utilidad en la física subterránea, es decir en minería, por ejemplo cuando explicó la circulación del aire en las minas, llegó a utilizar algunos conceptos del lenguaje newtoniano como gravedad, masa, peso, tiempo y experimenta con el prisma para obtener la descomposición de la luz como manifestó Newton. El otro aspecto

que resaltó fue la elaboración de mapas, su labor cartográfica fue amplia: Elaboró un mapa geográfico de la América Septentrional en 1767 y lo insertó en un atlas eclesiástico del Arzobispado de México, con copia para la *Academia de Ciencias* de París; en 1769 realizó un plano donde señaló los viajes de Hernán Cortés a la Nueva España; en 1772 reformuló su mapa del arzobispado y elaboró un plano de las provincias de Osturimi, Sonora y Sinaloa; para 1775 preparó el plano de la América Septentrional y al siguiente año el plano de México; en 1778 obtuvo el mapa para el reconocimiento de las minas de azogue; en 1784 publicó el mapa de la laguna de Texcoco; y en 1789 preparó el plano de Tenochtitlan [Espinoza Sánchez 2002, 77-78]. Finalmente, recomienda para estudiar matemáticas las obras de Benito Bails. Alzate refiere [1972, 223-30] la influencia de Newton a través de su *Gaceta* con comentarios como el de Mociño en los siguientes términos: “Posteriormente vine a conocer que aún el citado físico francés Nollet, era muy inferior a los newtonianos que supieron fundar su filosofía sobre los incontestables principios de las matemáticas”.

Determinación orhográfica particular y universal del eclipse de Sol del día 24 de Junio de 1778

Antonio de León y Gama

Mencionó cómo elaboró el mapa para representar las fases del eclipse de Sol y situó los lugares que cubrió el tránsito de la sombra y penumbra de la Luna sobre la superficie de la Tierra: Alemania, Cuba, las colonias inglesas de Norteamérica, España, Francia, Inglaterra, Italia, Laponia, Noruega, Nueva España y el océano Atlántico. Utilizando los datos de tiempo verdadero y civil del novilunio verdadero en México, tablas de fases boreales, australes y tablas del eclipse al nacer el Sol y al ponerse; finalmente obtuvo la longitud del Valle de México en seis horas, cuarenta y cinco minutos y cuarenta y nueve segundos al occidente de París. Fue el primer americano en pronosticarlo y lo estudió conjuntamente con Velázquez de León [Trabulse 1985, 469-81]. León y Gama no ocupó ningún cargo en la educación novohispana pero colaboró con los virreyes Manuel Antonio Flores y Revillagigedo. Flores se asesoró en cuestiones de astronomía y le encomendó investigar sobre la aparición del cometa de 1788, pronosticado por el astrónomo inglés Masklenine. Mientras que Revillagigedo le ordenó colaborar con la expedición de Malaspina.

Gaceta de México de 1785

Antonio de León y Gama

La *Gaceta* publicó una propuesta de solución al problema de la cuadratura del círculo, que refutó ampliamente León y Gama, hizo una recapitulación de las posibles soluciones desde Arquímedes hasta Leibniz, con énfasis en los trabajos de Wallis, indicó que incluso se valieron del cálculo diferencial y el método analítico de los infinitos, logrando por este medio cuadrar varias curvas pero nunca consiguieron encontrar con exactitud aritmética o geométrica la cuadratura del círculo. El autor de la supuesta solución, estableció una demostración matemática citando a Montucla con resultados que le permitieron cuadrar el círculo: Utilizó trigonometría para calcular una diagonal del círculo y medir su área por cuadrados, el diámetro de la circunferencia lo calculó en 3.14 para finalmente obtener la razón de 113/355 como cálculo 'erróneo' de la cuadratura; León y Gama consideró una inútil pérdida de tiempo continuar con estas aproximaciones. Trató de manera breve sobre el uso del método analítico de los infinitos, que viene a ser el método de fluxiones y momentos de Newton.

Disertación física sobre la aurora boreal

Antonio de León y Gama

Surgió de la controversia con Alzate y con Francisco Rangel para explicar el fenómeno de la aurora boreal; ellos explicaron el evento mediante la teoría de Lavoisier. Hizo alarde de su erudición sobre física newtoniana, empleando el lenguaje de Newton sobre masa, peso, espacio, tiempo, fuerza, inercia y teoría gravitacional; utilizó la matemática y la experimentación. En esta obra aparecieron gran cantidad de citas a dos obras de Newton, la *Óptica* y los *Principia*, además de autores apegados a los principios de la mecánica newtoniana como Muchenbroek, Maupertuis, Euler, Franklin, Clarke, Lacaille, Lalande, Bernoulli, S'Gravesande y demás. Aunque en la parte matemática conservó el uso de la geometría sin hacer uso del método de fluxiones. El trabajo se encuentra dividido en cuatro partes: 1) Diferencias que se observaron en las auroras boreales, propiedades y análisis de la materia de que se forman. Describió con detalle cómo es la aurora boreal que se observó en la ciudad y mencionó las características de otras auroras que han sido reportadas; 2) Varias opiniones acerca de la materia de que se forma la aurora boreal. Describió algunas de las teorías sobre formación de auroras, entre ellas la de Halley, Franklin y Marian, se

inclina por la última; 3) Varias noticias de algunos lugares de este reino donde se vio la aurora boreal la misma noche del día 14 de noviembre de 1789. Resumió las observaciones de las personas que presenciaron este fenómeno, para saber la extensión de la Nueva España, cuánto duro en cada lugar y si se observó de la misma manera; y 4) De la materia y formación de la aurora boreal, dice que para explicar este fenómeno fue necesario hacerlo por cálculos matemáticos o por experimentos [Ramos Lara 1991, 53]. Al final apareció una réplica de José Francisco Dimas Rangel a este trabajo y la correspondiente contestación de León y Gama.

Para explicar cómo se forman y de qué están compuestas las auroras boreales, León y Gama se refirió al método matemático de Newton como el más confiable para no caer en errores; literalmente dice [Trabulse 1983, 249]:

Es principio asentado entre filósofos modernos, que para indagar las obras de la naturaleza no se hayan de fundar en fingida hipótesis o ligeras conjeturas, sino en demostraciones claras deducidas por cálculos matemáticos, o experimentos ciertos, para no incurrir en grandes errores: así se explica el célebre Samuel Clarke, interprete de la *Óptica* de Newton, al principio de su obra y el mismo Newton en ella. De manera, que todas aquellas opiniones que no tienen otra prueba ni matemática, ni física, que la débil conjetura de sus autores, se deben desterrar de toda buena filosofía, mayormente cuando las razones en se fundan tienen entre si cierta repugnancia, que no se pueden fácilmente combinar [].

Mientras que Newton en sus *Principios matemáticos de filosofía natural* afirmó [1982, 659]: “En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas por inducción general a partir de fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzca con otros fenómenos capaces de hacer más precisas estas proposiciones o sujetas a excepciones”. Algo similar estableció en la *Óptica* [1977, 319, 343]:

El objeto básico de la filosofía natural es argumentar a partir de los fenómenos sin imaginar hipótesis o deducir las causas a partir de efectos [. . .] Como en las matemáticas, en la filosofía natural la investigación de las cosas difíciles, el método de análisis consiste en realizar experimentos y observaciones, en sacar de ellas conclusiones generales por inducción y no en admitir otras objeciones en contra de esas conclusiones que aquellas salidas de los experimentos u tras verdades ciertas, pues las hipótesis no han de ser tenidas en cuenta en la filosofía experimental.

Después usó las teorías de Newton del peso del aire (es decir, que a mayor altura es menos denso) para demostrar que la altura de la atmósfera no es muy corta y que la aurora se forma arriba de ésta, donde se encuentra el éter. Empleó el termómetro y el barómetro para

calcular la altura de la atmósfera en 27, 096 pies y utilizando trigonometría calculó la altura de la aurora boreal en 104 ½ leguas [Trabulse 1983, 254; Espinosa Sánchez 1994, 73]:

Pero como este aire cuanto más se eleva sobre la superficie de la Tierra, es más tenue y ligero; de aquí es que su acción cese de elevar los vapores o exhalaciones a muy corta distancia de la Tierra [. . .] Mas supongamos que la acción de este aire vaporífero no cese de llevar consigo las exhalaciones emanadas de la Tierra; es necesario que ellas vayan siendo más y más tenues y sutiles, a proporción de la mayor rareza que va adquiriendo el aire en sus mayores distancias; porque como asienta Newton, va perdiendo éste su resistencia en la misma proporción que se enrarece, hasta no tener alguna. Y siendo esta rarefacción en razón cuádrupla de las distancia de la Tierra, en sentir del mismo Newton; de suerte que en la altura de 210 millas inglesas, que componen solamente 76 leguas comunes de Francia y 792 toesas, es 1 000 000 000 000 000 000, esto es, un trillón o tricucto de veces más raro que en la superficie de la Tierra [. . .] No habiendo en la naturaleza otra más rara y más tenue que aquella materia sutilísima que ocupa los dilatados espacios celestes nombrada éter; y este segun el mismo Newton es solamente 700 000 veces más raro que nuestro aire; se infiere ser imposible la existencia de un otro fluido tantos millones de veces más raro que el éter

Esto fue con el fin de establecer que la aurora boreal tiene su asiento superior en la atmósfera de la Tierra. Newton utilizó el éter como hipótesis para explicar la naturaleza de la atracción a distancia, en su *Óptica* expresa [1977, 306]: “el eter es 700 000 veces más elástico que nuestro aire y más de 700 000 veces más raro” Para explicar de qué está compuesta una aurora boreal y por qué se observa muy luminosa, León y Gama tomo la teoría de Newton de que el vacío está lleno de éter y la luz es una manifestación del éter que se produce al vibrar éste; al respecto [Trabulse 1983, 258]:

Después que el gran Newton, con repetidas observaciones y demostraciones matemáticas destruyó el sistema de Descartes, ya no queda duda sobre la existencia del vacío en los inmensos espacios que hay desde nuestra atmósfera hasta las estrellas fijas; y que los cuerpos celestes se mueven en virtud de las leyes de su gravedad y atracción mutua que les imprimió el Creador al tiempo de su creación, sin que se encuentren obstáculos que les retarde o destruya su movimiento; porque si este se hiciera por un medio resistente, irían perdiendo parte de su fuerza y velocidad, y se observarían muchas irregularidades en él, contra lo que se tiene experimentado en tantos miles de años, en que han mantenido una uniformidad constante [. . .] El célebre Newton expresamente lo declara, hablando de la proporción que tiene la cantidad de la materia de los cuerpos, con la resistencia del medio por donde se mueven; de que excluyen los cuerpos celestes, como no se mueven por un fluido corpóreo, sino por unos vapores tenuísimos y rayos de luz que ocupan los espacios celestes. Pero en otra parte dice que estos espacios celestes están ocupados del éter, luego el éter no es otra cosa que unos vapores sutilísimos, a la luz. Se prueba evidentemente ser la luz la materia del éter, por la definición que le da Honovio fundada en la doctrina del mismo Newton, diciendo, ser la causa de ella una gran copia de vibraciones de éter.

Continuó experimentando con el barómetro y la máquina neumática para demostrar que el éter se manifiesta en un lugar oscuro y las vibraciones que se producen en el éter por el peso de un objeto a través de él, son responsables de que se observe una luz, así que el desplazamiento de la Luna es el agente que pone en movimiento los sutiles vapores del éter, causando vibraciones para representar la aurora boreal. Posteriormente, expuso que la Luna influye en los movimientos de los mares y en los climas, siguiendo lo establecido en los

Principios matemáticos [Newton 1982, 744-745]. Por último, determina que la variedad de colores se produce cuando la luz blanca se proyecta sobre un prisma, como establece Newton, y extrapola este principio al cosmos al referir que la luz blanca se altera al penetrar las partículas heterogéneas y vapores de la atmósfera, por lo que la variedad de colores con que se presenta la aurora boreal depende de las condiciones de la atmósfera [Trabulse 1983, 260-262; Espinosa Sánchez 1994, 71-76].

Tanto Antonio Alzate como Francisco Dimas Rangel se manifestaron contra la obra de León y Gama, mientras éste último adoptó postulados newtonianos para la interpretación del fenómeno, Rangel se inspiró en Muchenbroeck y desarrolló a partir de sus propias ideas un cuerpo teórico que coincidió con el sistema que expuso Antonio Lavoisier: El origen de la aurora es producido por un fluido inflamable al contacto con la atmósfera. El *Tratado elemental de química* de Lavoisier no llegó a la Nueva España hasta una fecha posterior a la publicación de Rangel, hecho registrado por Alzate, por lo que establece una teoría innovadora similar a la del europeo. Para Rangel las auroras se forman dentro de la atmósfera, rebatió los cálculos de León y Gama y puso en duda la efectividad del barómetro para determinar la altura de la atmósfera, así como el que la Luna fuera el agente que hace vibrar el éter, Rangel creía que era un gas inflamable por medio de electricidad.

León y Gama difundió y utilizó la teoría de gravedad y el vacío newtonianos, tanto en mecánica como en óptica, en la forma que se ha expuesto. Puede observarse, en la primera parte del método usado, que el sentido de demostración que exige León y Gama es discursivo, pero fundamentado teóricamente. De este tipo de argumentaciones se dieron varias, como las de Alzate, Velázquez de León y demás personalidades que veremos. Este tipo de análisis nos aporta elementos para establecer una influencia directa de la obra de Newton en los intelectuales novohispanos como fundamento de sus trabajos, apr yándose en las obras originales de Newton y en los difusores principales del newtonismo. Resulta interesante preguntarse, qué tanto se manejó la teoría newtoniana o si solamente se menciona por influjo de la moda del momento. En las obras presentadas de León y Gama es claro que manipuló la teoría; sin embargo esto no fue el común de todas las publicaciones; de hecho, por ejemplo, Ramos Lara [1991, 89] y Saldaña [1988, 35] afirman que Alzate y Bartolache son ejemplos del uso de citas de Newton sin conocer la teoría.

Posición geográfica de México

Alejandro de Humboldt

Explicó cómo determinar el valor de la latitud y longitud de la ciudad de México. La latitud la obtuvo midiendo alturas meridianas del Sol y de las estrellas. La longitud la dedujo de los eclipses de los satélites de Júpiter, de las distancias de la Luna al Sol, del tiempo que tarda un transporte desde la capital hasta Acapulco, y de una operación trigonométrica para calcular los diversos meridianos entre México y el puerto de Veracruz; de estas observaciones el geómetra francés Oltmanns realizó los cálculos. Mediante un bosquejo histórico sobre las personas que en México determinaron el valor de la longitud y latitud de esta ciudad, Humboldt destacó los trabajos de: Velázquez de León (1772 y 1778), León y Gama (1778) y de Alzate (1791). Consideró los resultados de estos autores como los más cercanos a lo que él obtuvo [Trabulse 1985, 191-195]. Si bien no contamos con referencias directas a los trabajos de Newton, forma parte del estudio astronómico que tuvo como fundamento la mecánica newtoniana.

Elementos de filosofía moderna

Juan Benito Díaz de Gamarra

Este libro fue escrito para la cátedra de filosofía del *Colegio de San Francisco de Sales*, para los estudiantes del *Oratorio de San Felipe Neri* y fue utilizado en la cátedra de filosofía de la *Real y Pontificia Universidad de México*; atacó la ideología aristotélica y defendió la filosofía de Descartes, Wolff, Barbadillo y Newton, entre otros. Consta de dos libros: En el primero, se refirió a historia de la filosofía, describió los elementos de lógica, metafísica, ética y física. Sobre física refirió su objeto, utilidad, historia, división y las reglas de filosofar donde aseguró que seguirá las prescritas por Newton. Sobre los principios de los cuerpos, sus propiedades: Tiempo, espacio y vacío introdujo referencias al lenguaje newtoniano: Masa, peso, volumen e inercia, entre otros.

Se refirió a Newton en la sección relativa a historia de la filosofía en los siguientes términos: La ecléctica (iniciada por los griegos) surgió para sacar de muchas sectas la verdad que en una sola no se podía encontrar, con la escolástica perdió auge durante muchos siglos, hasta que Bacon en el siglo XVI la popularizó como filosofía moderna ecléctica, la cual perduró en Inglaterra hasta Newton [Junco 1973, 10-12], cuya autoridad

desplazó a la forma cartesiana de filosofar. La nueva filosofía fue llamada newtoniana o matemática, sus seguidores fueron [Junco 1973, 13]: Keill, Roger Cotes, S'Gravesande, Muchenbroeck, Clarke, Mac Laurin, Jurin, Desaguliers y Krafft; entre otros. En la parte sobre los autores a quienes debe seguirse, mencionó a todos aquellos que han contribuido a la filosofía natural, en particular a la astronomía [Junco 1973, 15-16]: Regiomontano, Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileo, Huygens, Hevelio, De la Hire, Newton, y Cassini, entre otros. Llamó la atención sobre Newton, con sus observaciones ópticas y su aplicación de la geometría a la ciencia natural.

En la sección de lógica clasificó las tres causas de obtener errores y no alcanzar la verdad: Los sentidos, la voluntad y la mente. Como ejemplo de los errores de los sentidos mencionó todas las corrientes que explicaron el fenómeno de los colores de la luz, hasta que Newton lo explicó con la verdad [Junco 1973, 64]:

[...] el excelso Isaac Newton, luz y ornamento de Inglaterra, parece haber tocado certeramente el asunto, al demostrar con experimentos clarísimos que todos los colores están contenidos en la luz misma, cuyos rayos consta que están dotados por su propia naturaleza de este o de aquel color [...] Nosotros, por tanto, aunque no queremos (ni es necesario) exponer aquí según su importancia la opinión newtoniana acerca de la luz y de los colores; sin embargo, no conocemos otra más verosímil. Pues no es leve argumento a favor de los newtonianos aquel de que cambiada la luz, se cambia el color [...]

Díaz de Gamarra afirmó que sólo los enfermos de oftalmia ven los colores en el Sol y se demuestra con un experimento de Newton [Ramos Lara 1994, 37]. Al respecto de la naturaleza de los colores, aceptó la teoría newtoniana de los colores que están en la luz blanca y rechaza la teoría de los cartesianos [Espinoza Sánchez 1994, 40]:

Isaac Newton [...] al demostrar con experimentos clarísimos que todos los colores están contenidos en la luz misma, cuyos rayos consta que están dotados por su propia naturaleza de éste o de aquel color. Por tanto ni se adhiere a los cartesianos, que defienden estar situados en la diferente textura y disposición de la superficie de los cuerpos; ni tampoco a los idealistas, que sostienen estar totalmente en el órgano visual, como si fueran meras ilusiones, y no haber nada fuera de la mente [...] Esto mismo se demuestra con un fácil experimento del célebre Newton. Si en un cuarto oscuro, por un orificio hecho en una ventana se reciben los rayos de luz es un prisma cristalino, al atravesar aquellos el cristal y el cuarto, no se ven coloreados; pero al chocar sobre un papel blanco puesto delante, al ser prolongado hasta la pared opuesta, se refractan y se afectan los ojos, de tal manera que excitan en nosotros las sensaciones de estos siete colores, a saber: violeta, púrpura, azul, verde, amarillo, anaranjado y rojo, con las cuales aparece pintada la pared, dispuestos en este orden que los enumeramos.

Esta descripción aparece en el libro de la *Óptica* [1977, 103, 110]. De los errores de la mente, dijo que uno es aquel que se adquiere de prejuicios de personas (de los maestros que enseñan una filosofía y descartan las demás, no con razones sino con ofensas y

vociferaciones), y otro se adquiere de los libros, por lo que se debe tener cierto juicio para poder escoger el mejor texto [Junco 1973, 77]. De donde, los *Principios de Filosofía Natural* de Newton superaron a todas las bibliotecas de los escolásticos en solidez, firmeza, y utilidad. En otra parte de la lógica, también habló de la pedantería filosófica. Dijo que el pedante era inepto entre los latinos, dentro de los pedantes colocó a los consecuenciaros, los que al no poder refutar con conocimientos, amenazan y ofenden para derribar al menos de rango y posición a los adversarios. Ejemplo de ello fueron los consecuenciaros que criticaron la investigación filosófica de Boyle, Leibniz, Newton, Lewenhoeck, Clarke y Kerham, como heréticos o sospechosos de herejía, que no deben ser oídos y que cuanta erudición de ahí dimana debe ser rechazada como perniciosa [Junco 1973, 87].

En la sección de metafísica habló sobre aquellos filósofos que han ido en busca de la verdad [Junco 1973, 149]: “quienes se glorían del nombre de filósofos deben estar de tal manera inflados por el deseo de buscar la verdad que, sin adherirse a alguna secta y sin seguir ni a Aristóteles, ni a Platón, ni a Leibniz o a Newton, sino siguiendo la verdad, no deben de jurar por las palabras de ningún maestro”. Mientras que en una parte de la sección de ética o filosofía moral, habló de las virtudes y de los vicios que impiden llegar a las metas, como ejemplo de una persona sin vicios puso a Newton [Junco 1983, 188]: “es fama que, preguntado Newton si alguna vez se había dado a los amores, respondió que nunca le había sobrado tiempo de las meditaciones filosóficas para pensar acerca de ese punto”.

En la segunda parte de este libro se refirió al movimiento: Propiedades, leyes newtonianas, tipos, estática, mecánica, hidrostática y electricidad. Mencionó cuestiones de física experimental, entre ellas los postulados de electricidad de Jallabet, Nollet y Franklin, el sistema del mundo de Copérnico, la mecánica y la óptica de Newton, contó con su propio gabinete para experimentar. El libro fue aceptado en la *Real y Pontificia Universidad de México* y en los colegios franciscanos y agustinos, de aquí su importancia como medio de tránsito entre la filosofía cartesiana y la newtoniana. En esta segunda parte expuso la naturaleza de las leyes newtonianas del movimiento de los cuerpos y un estudio teórico de la luz, Gamarra aceptó los postulados de Newton para explicar la mecánica de los cuerpos, la reflexión, refracción y propagación de la luz en línea recta. Además de citar los *Principios* y la *Óptica*, también usó el artículo publicado por la *Royal Society* de Londres,

Philosophical Transactions, donde Newton dio a conocer su nueva teoría de la luz y el color explicando con experimentos prismáticos la dispersión y composición de la luz solar y la naturaleza de los colores, expuso su nuevo invento, el telescopio catadióptrico, el cual se compone de dos lentes, un espejo metálico cóncavo y una lente plana convexa [Espinoza Sanches 2002, 81].

Así, Gamarra nos ha mostrado una forma concreta de influencia de Newton, por un lado, existen referencias teóricas que sustentan su trabajo, pero también existen desacuerdos respecto al tema de la gravedad y el sistema heliocéntrico de Copérnico, por lo que presenta una etapa de transición, su importancia radica en ser el vehículo para la difusión de la ciencia moderna, incluso el libro que acabamos de describir sirvió de fundamento para trabajos posteriores como el de sus discípulos José Vicente Cavadas y Jáso, *Academias Filosóficas* [1774], Agustín Caballero en Cuba, *Philosophia Electiva* [1797] y el también cubano Felix Varela, *Lecciones de Filosofía* [1804], que usaron toda la física newtoniana; también resultaron ser libros populares entre los novohispanos.

Mercurio Volante, con noticias importantes y curiosas sobre física y medicina
José Ignacio Bartolache

Sólo tres números, de los dieciséis, se refirieron a física, los demás trataron de medicina [Saladino 1996, 128-140]:

El número dos: *Verdadera idea de la buena física y de su gran utilidad*. Trató de hacer hincapié en la gente, instruida o no, sobre lo importante que es la física. Protestó ante muchas situaciones como el que se escribiera en latín, que las mujeres fueran consideradas como inútiles a la ciencia y que los graduados de arte se sintieran filósofos, cuando no se necesita estudiar para serlo. Por buena física entendió [Bartolache 1983, 10]: Una ciencia que explica la naturaleza de los cuerpos, sus propiedades y los efectos sensibles que resultan de la combinación de unos con otros, así como sus causas inmediatas. Su base y fundamento fue la historia natural, es decir, las exactas y bien averiguadas noticias de la existencia de los cuerpos que componen el mundo.

Dividió a la física en reinos: Vegetal, animal, mineral, celeste y terrestre (historia del globo o geografía). Afirmó que la física se vio auxiliada por la química, y que ambas son importantes para minería, metalurgia, vidriería y tintorería, entre otras. Aludió que para hacer buena física es necesario el previo estudio de las matemáticas, como la aritmética y la geometría. Después realizó críticas a diversos autores como: Aristóteles, de quien dijo ser un filósofo muy celebrado y digno de serlo, con tal de que regule su mérito por sus ocho libros de *Physica auscultationes*, que dejó escritos a propósito de que nadie los entendiera Renato Descartes, como hombre de vasto ingenio, buen geómetra y con cuantas disposiciones hacia menester para salir de gran físico, aunque cayó en la flaqueza de formarse muy de propósito y a su fantasía un sistema cabal de física. Newton, quien se hizo dueño del mundo físico, puso en admiración a todas las gentes y dio celos a las naciones más ilustradas, que creyeron tener a fines del siglo en sus inventos repetidas pruebas de lo sumo a que puede aspirar el ingenio humano. Identificó a Descartes y Newton como los fundadores de la nueva manera de trabajar en ciencia. De Newton señaló [Bartolache 1983, 16-17]:

Que su física es ya por consentimiento universal lo que hay que saber de bueno, la más bien fundada, la sola útil de modo efectivo y la sola que no ha desmentido la razón, la naturaleza, ni alguna experiencia. Son pocos y sencillos sus principios, rigurosamente geométrico y las consecuencias interesantes a las ciencias y artes.

El número tres: *Noticia y descripción de los instrumentos más necesarios y manuales que sirven a la buena física*. Indicó la utilidad del termómetro y del barómetro. El primero sirve para graduar el calor y el frío, mientras que el segundo para pesar el aire. Después de hacer una reseña histórica, describió el método de construcción de ambos instrumentos e insistió en su utilidad. Al final refirió los defectos que deben evitarse en la construcción del termómetro.

El número cuatro: *Continuación del pliego precedente*. Este número trató sobre el barómetro o baroscopio, narró cómo se inventó, hizo una descripción general de cómo se usa, así como los defectos de construcción y ciertas advertencias. Aceptó la teoría óptica newtoniana de la propagación de la luz, al verificarlo experimentalmente, uso los términos newtonianos de masa, peso, fuerza y volumen, entre otros [Ramos Lara 1994, 58; Espinoza Sánchez 2002, 83-85]. Gozó de gran aceptación en la comunidad novohispana

Lecciones Matemáticas
José Ignacio Bartolache

Presenta una dualidad en el conocimiento matemático. Por un lado, Bartolache admitió el método filosófico cartesiano al dar seis reglas de inicio, que simulan las seis meditaciones metafísicas de Descartes, para llegar a un conocimiento verdadero de la naturaleza, aplicando los conceptos de noción y deducción. Por otro lado, aceptó dos premisas metodológicas newtonianas: el proceso inductivo-deductivo, o análisis y síntesis en términos de Newton y del mismo Bartolache, y que la única manera de sistematizar las matemáticas es por medio de: Axiomas, definiciones, teoremas, problemas resueltos, corolarios y escolios, entre otros, proporcionando la manera correcta de hacer ciencia, incluso al producir y repetir un experimento. De manera que en el libro se tiene el método cartesiano por la manera de exponer los temas y el modelo newtoniano en la forma de estructurar el contenido de la obra [Espinoza Sánchez 2002, 83-85].

Bartolache argumentó que la obra matemática de Newton fue muy abstracta, compleja y difícil de enseñar para sus alumnos de la universidad. Así, las *Lecciones Matemáticas* cobran importancia como medio de transición de un modelo científico a otro. De hecho, existió un salto conceptual sobre la interpretación de la física newtoniana entre lo que publicó en el *Mercurio Volante* y en las *Lecciones Matemáticas*, en estas últimas expresó la dificultad de la teoría newtoniana mientras en el periódico se declaró seguidor de la física newtoniana y se separa completamente de la filosofía cartesiana.

Determinación de la situación geográfica del Valle de México
Joaquín Velázquez de León

Resaltó el trabajo de los mexicanos desde el siglo XVII, por establecer la posición de la ciudad de México, calculó la latitud y longitud de la ciudad, haciendo notar que era el valor más preciso hasta la fecha, incluyendo los cálculos realizados por extranjeros; explicó el método que utilizó para calcular la longitud del lugar. También observó algunos eclipses, pero encontró discrepancias entre el cálculo y la observación. Además observó los satélites de Júpiter y un eclipse de Luna, comparando sus resultados con los de Alzate. Al final mencionó a las personas que calcularon la posición de California y Veracruz, hizo una crítica de los errores que tuvieron y finalizó dando sus resultados. Extendió la premisa

newtoniana de la refracción de la luz en la atmósfera para explicar el amanecer y el ocaso del día, y el fenómeno de las lluvias [Trabulse 1985, 175-191; Ramos Lara 1994, 60].

Descripción histórica y topográfica del Valle, las lagunas y la Ciudad de México [1773-1775]

Joaquín Velázquez de León

Usó sus conocimientos de agrimensor en la triangulación y nivelación de Nochistongo colindante con la laguna de Texcoco, su capacidad como matemático se vio reflejada en el estudio topográfico del lugar, en el que empleó tres métodos: El de cordel, el de triangulación y el de nivelación. Empleó instrumentos científicos como el termómetro de Reamur y un goniométrico inglés, en el que puso de relieve sus conocimientos de óptica, pues realizó la observación en este instrumento evitando la refracción de la luz, obteniendo otros resultados. Su importancia radica en que sus deducciones permitieron los trabajos de desagüe de las lagunas de Zumpango y San Cristóbal llevadas a cabo por el catedrático de arquitectura Antonio Velázquez y el de matemáticas Diego de Guadalajara, ambos de la *Academia de Nobles Artes de San Carlos*. Reflejó la influencia de la ciencia newtoniana al explicar la comprensión y elasticidad del aire del Valle de México comparado con el aire a nivel del mar. Para dar paso al fenómeno natural de la lluvia usó los términos newtonianos de gravedad, fuerza, masa, peso y demás. Explicó la condensación del agua por la gravedad [Espinoza Sánchez 1994, 111-113]. Sus trabajos resultaron trascendentes por la influencia que ejerció en su academia de matemáticas, en la *Real y Pontificia Universidad de México*, y en las múltiples actividades y comisiones que realizó.

También aparecieron publicaciones sobre la utilidad de instrumentos y máquinas en diversas disciplinas. Estas más que referirse a la física o las matemáticas que intervienen en su funcionamiento fueron del tipo descriptivo de sus partes, su utilidad y su manejo; por ejemplo: *Del arte de la relojería* de Diego de Guadalajara; *Descripción del barreno inglés* de José Antonio Alzate; *Máquina fácil para apagar cualquier incendio* de Francisco Antonio Guerrero y Torres; *Método para probar la bondad de los relojes de bolsa* de José Antonio Alzate y de él mismo, *Máquina de Vapor*, *Máquina para deshuesar algodón*, *Introducción de aire en las minas* (explica cómo hacer una máquina), *Descripción de las cardas* (para trabajar el algodón), entre otras [Fernández 1968, Doc 115; Moreno Corral 1992, 322; Saladino 1998, 93]. Y, finalmente, la elaboración de textos de física y

matemáticas para la enseñanza, que ya se han mencionado, en especial el libro de Francisco Antonio Bataller, *Principios de Física Matemática y Experimental*, que por su importancia será revisado más adelante.

Sin duda, no realizamos una exposición exhaustiva de todos los escritos que aparecieron en la Nueva España del siglo XVIII que refieren a Newton o se sustentan en él, de hecho más adelante tendremos ocasión de examinar en detalle algunos otros trabajos novohispanos, por lo que lo anterior pretende ser tan sólo una muestra de la producción de los criollos novohispanos y el reflejo de la influencia de Newton en la Nueva España.

1.12 LA DIFUSIÓN DE LA FÍSICA NEWTONIANA EN LA REAL Y PONTIFICIA UNIVERSIDAD DE MÉXICO

La bipolaridad de la ciencia que se vivió en la universidad tuvo, por un lado, a las autoridades eclesiásticas que trataron de conservar las costumbres legislativas del siglo XVII, que corresponden a otra situación sociocultural diferente a la época de la ilustración, aún con las reformas impuestas por Carlos III, y por el otro lado, los criollos tratando de institucionalizar la enseñanza de la ciencia no sólo en la cátedra de astrología y matemáticas, sino también en medicina y filosofía [Méndez Arceo 1990, 38; Trabulse 1994, 86-101], de lo que daremos constancia

Ya hemos mencionado la labor de difusión de la física newtoniana en la universidad por parte de Bartolache y Velázquez de León como profesores, además de Alzate, León y Gama y Díaz de Gamarra que hicieron posible este proceso en la institución a través de sus publicaciones periódicas y tratados para resolver problemas de índole económico o de tipo astronómico. Sin embargo, una manera de demostrar la existencia de una comunidad científica que va más allá de estas personalidades son los actos de oposición y los exámenes de índole científica de sus alumnos.

Recordemos que la enseñanza universitaria se impartía en latín, de donde los alumnos escuchaban el relato del profesor para posteriormente realizar preguntas, por lo que las obras originales de Newton fueron leídas en dos sentidos diferentes. Por un lado, los catedráticos que usaron la teoría para aplicarla a problemas de su entorno. Por el otro, los alumnos que revisaron las obras para aprobar sus exámenes y realizar experimentos

conforme a lo marcado por los catedráticos. Sin duda el nivel de profundidad es distinto en cada caso. Los científicos novohispanos realizaron una lectura culta de los *Principios* y la *Óptica*, esto se dio entre las elites intelectuales de la época que tuvieron los medios socioeconómicos, políticos, religiosos y sociales para comprar libros y formar bibliotecas propias. Pero con la variedad de colegios en especial con los de nueva creación a finales del siglo XVIII, cada escuela contó con bibliotecas originándose el lector institucionalizado [Espinoza Sánchez 2002, 150; Méndez Arceo 1990, 30-45]

Cuando Velázquez de León renunció a la cátedra de astronomía en 1773, para atender sus negocios relacionados con minería y la comisión del desagüe de Huehuetoca, la universidad buscó de inmediato a su sucesor, sin modificar el proceso de selección. Entre los doce candidatos estuvieron: Manuel Ignacio Beye Cisneros Quixano y Alcocer quien se doctoró en cánones y ocupó varios cargos burocráticos importantes como abogado, desconocía la física ilustrada y su escrito fue una muestra escolástica de una descripción breve de la *Sphera* de Sacrobosco. Otro contendiente fue José Mariano Vargas Machuca, quien disertó sobre el círculo y el movimiento de los planetas, usó lenguaje matemático para describir el movimiento del Sol en una elíptica, por lo que conoció la física newtoniana ya que las otras cosmovisiones no emplearon el término de círculo excéntrico. La mecánica newtoniana se enseñó en la cátedra de filosofía, de la que Mariano Vargas fue alumno y asistió a la cátedra de Velázquez de León, además de que conoció los trabajos de éste y de León y Gama sobre astronomía.

El siguiente aspirante fue Francisco de Zúñiga y Ontiveros, quien dise tó sobre la concepción geométrica de la esfera celeste de Sacrobosco, declarándose contrario a estos postulados. Ignacio Bartolache disertó sobre lo mismo que Sigüenza había explicado en 1672, sobre la trayectoria de los astros, pero en esta ocasión le agregó experimentación: Empleando instrumentos científicos para demostrar la explicación teórica, satisfacer las réplicas de sus adversarios y la curiosidad de los asistentes, demostró ser seguidor de Newton.

Ignacio Lemus Martínez fue el siguiente opositor, se refirió al texto de la *Sphera* como una teoría que había sido superada sin refutarla. José Giral y Matienzo, al igual que Bartolache y Lemus, realizó una crítica de la obra de Sacrobosco al hablar sobre el

movimiento de los planetas alrededor del Sol y los movimientos de rotación y traslación de la Tierra; hizo referencia a la demostración matemática de una cónica y al círculo excéntrico, todo para explicar el cosmos. El último contendiente fue José García de la Vega.

Es evidente el rechazo de las teorías astronómicas medievales por esta comunidad y la aceptación de la mecánica newtoniana por parte de Bartolache, Lemus, Giral y Matienzo, Vargas, Zúñiga y Ontiveros y García de la Vega; e incluso en médicos como Peredo y Brizuela, como veremos en seguida, en este momento las autoridades universitarias aceptaron las críticas en base a la ciencia ilustrada, al proponer como profesor a Giral y Matienzo, sin ningún problema. En la elección pesó la Real Cédula expedida por Fernando IV del 3 de julio de 1757, relativa a que el catedrático de astrología y matemáticas debía ser doctor en medicina y haber aprobado antes de graduarse el curso de astrología [Espinoza Sánchez 1997, 116-140; Trabulse 1994, 86-101; García Stahl 1978, 112]

Entre los exámenes de oposición en medicina de 1771 estuvieron: Juan José Guerra (30 de enero), José Mariano Martínez Peredo (24 de mayo) y José Ignacio Brizuela (29 de agosto), los tres sobre ciencia newtoniana. Brizuela desechó la influencia de los astros como causa de las enfermedades, realizó disección de cadáveres y fue lector de las obras más actuales sobre medicina y física. José Peredo fue alumno de Velázquez de León y de Bartolache, se graduó en artes y medicina, realizó un examen con el método geométrico newtoniano enseñado por Bartolache, para exponer varias teorías de física experimental, anatomía, fisiología y patología; hizo una exhaustiva conclusión en torno al cuerpo humano siguiendo los conocimientos de Malpighi, Leeuwenhoek, Ruichi, Boerhaave y Hoffman [Trabulse 1994, 100]. Guerra, Peredo y Brizuela fueron reconocidos, al igual que su maestro Bartolache, en el prólogo de la segunda edición de las *Constituciones de la Real y Pontificia Universidad de México* de 1775, como los mejores alumnos del área de medicina [Espinoza Sánchez 1997, 100-116; Trabulse 1994, 87-92]. La influencia de Newton se extendió incluso en fisiología, al explicar las enfermedades de la pupila y la construcción del lente cóncavo.

En 1772, aparecieron las *Academias de Filosofía*, que fueron disertaciones de los alumnos de Díaz de Gamara, presididos por Bartolache en la universidad. Entre ellos, José

Manuel Pezuela expuso sobre lógica incluyendo los trabajos del cartesiano Malebranche y del doctor Martínez, difusor de la ciencia newtoniana en España mediante su obra *Medicina Scéptica*. José Ignacio Careaga y Fucifios disertó sobre las sagradas escrituras. José Fernández de Barbotin y Varela debatió sobre la filosofía cartesiana, haciendo mención de Malebranche y Leibniz [Trabulse 1984, 115]. Para 1774, uno de los alumnos más destacados de Díaz de Gamarra, José Ignacio Fernández del Rincón presentó un examen para el curso de artes donde aceptó la física newtoniana, la importancia de su trabajo radicó en la difusión del newtonismo en los estudios de jóvenes novohispanos antes de la creación de los colegios de Minería y San Carlos. En la parte de la física y las reglas de filosofar expresó la importancia de las tres leyes de filosofía de Newton, que enuncia como [Espinoza Sánchez 1997, 145]:

- 1era. No deben admitirse más causas de las cosas naturales, que las que sean verdaderas y sean suficientes para explicar los fenómenos
- 2da. Las causas de los efectos naturales de un mismo género son las mismas.
- 3era. Aquellas cualidades de los cuerpos que no pueden extenderse ni disminuirse y que se encuentran en todos los cuerpos en que es posible emprender experimentos han de ser tenidos como cualidades de los cuerpos.

También explicó las leyes del movimiento de los cuerpos acorde a los *Principios Matemáticos de Filosofía Natural* [Espinoza Sánchez 1997, 146]:

- 1era. Todo cuerpo preserva su estado de reposo o bien de movimiento uniforme en línea recta, a menos que por una aplicación de fuerzas sea obligada a cambiar aquel estado. Esta ley se funda en la fuerza de la inercia
- 2da. La mutación del movimiento es proporcional a la fuerza motriz aplicada, y se hace según una línea recta, por la cual se aplica en ella.
- 3ra. Para una acción (destruida) siempre hay una reacción contraria e igual; esto es, las acciones de dos cuerpos en sí son iguales mutuamente y se dirigen a partes contrarias.

Hace uso de la óptica newtoniana al afirmar que la luz está constituida por pequeñas partículas que presentan un movimiento en línea recta, pero también aceptó los postulados de Descartes y Huygens relativo a la propagación de la luz por medio de ondas. Paralelamente en Europa, los trabajos ópticos de Dollond, Hershell y Euler manejaron esta dualidad, es decir, para ciertos experimentos se aceptó la teoría óptica newtoniana, como en la propagación de la luz en el aire mediante una línea recta; en cambio, para otros casos se admitió la teoría ondulatoria, por ejemplo en la propagación de la luz en ondas a través del agua.

Los otros dos estudiantes discípulos de Díaz de Gamarra que realizaron exámenes en la universidad y fueron presididos por Bartolache en este periodo fueron: José Vicente Dávalos y José Lozano, pero se desconoce el contenido de sus réplicas. Lo que sí está perfectamente documentado es la difusión de la física newtoniana en el *Colegio de San Francisco de Sales* en la época en que fue catedrático de filosofía Benito Díaz de Gamarra [Trabulse 1973, 1984], los alumnos que presentaron exámenes son egresados de dicho colegio.

En las *Academias de Filosofía* de 1774, también aparecieron José Meléndez Casares con su disertación en torno a la física de Newton, José Ramón de Olaegui sobre la electricidad explicada con la teoría de Paulian, y José Vicente Cavadas acerca de la óptica teórica y práctica para la construcción de lentes, con los postulados newtonianos [Espinoza Sánchez 1997, 147-149; Trabulse 1973, 235-249].

De esta forma se difundió la ciencia newtoniana en la *Real y Pontificia Universidad de México*, desde 1774, como parte de la labor de una comunidad científica que además de difundir la física newtoniana en sus escritos también lo hacen a través de su quehacer educativo en las aulas, en las comisiones científicas y en los laboratorios, y el reflejo de esta tarea dio como resultado que sus discípulos defendieran tesis con sustento en los postulados newtonianos, ya sean orales o escritos en latín, para obtener un grado académico en la misma institución. También se realizaron actos académicos, como las conferencias impartidas por Bartolache en 1774, para explicar el funcionamiento de un medicamento denominado fierro sutil, a ella asistieron, entre otros, Díaz de Gamarra y alumnos del *Colegio de San Francisco de Sales* [Moreno 1994, 299], permaneciendo la universidad como recinto para exponer los adelantos de la ciencia, aunado a la realización de experimentos y el uso de instrumentos científicos, lo que muestra el grado de desarrollo intelectual de esta comunidad y su fin utilitario en beneficio de la sociedad. A partir de 1802, se dieron una serie de actos de física donde se usó de la obra de Gamarra, que ya había sido aceptada como libro de texto en las aulas universitarias [García Stahl 1978, 67].

Por su parte, los aspirantes a médicos siguieron realizando exámenes con las teorías más modernas de la época, como muestra Joaquín Pío Antonio Eguía y Muro, que además presentó un acto de oposición para la cátedra de astrología y matemáticas a la muerte de su

titular en 1785, Vicente Peña Brizuela. En dicho acto, negó los postulados geocéntricos del texto de Sacrobosco y aceptó el modelo que presenta la influencia copernicana, kepleriana y newtoniana, donde el Sol está en el centro del universo y el movimiento de los planetas alrededor del astro se da mediante una elipse. Los otros dos opositores a la cátedra fueron José Gracida y Bernal y José Francisco Rada y Fernández. Gracida fue alumno de Velázquez de León, Bartolache, Giral y Matienzo, Lemus y Rosales Velasco en la universidad, y de Miguel Constanzó en la *Real Academia de San Carlos*. Mientras que Rada fue electo para la cátedra por su habilidad en matemáticas, indispensable para el trabajo en minas [Espinoza Sánchez 1997, 157-160; Izquierdo 1955, 27-118] Esta generación de universitarios Eguía, Gracida y Rada, combatió la epidemia de viruela en 1797, poniendo en práctica lo aprendido en la institución.

CAPITULO II

DOS INSTITUCIONES EDUCATIVAS: REAL SEMINARIO DE SAN CARLOS Y REAL SEMINARIO DE MINERÍA

2.1 LA REAL ACADEMIA DE SAN CARLOS EN LA NUEVA ESPAÑA

La necesidad que determinó la fundación de la *Real Academia de las Nobles Artes de San Carlos* fue el establecimiento de un lugar que concentrara el arte mexicano, por lo que el rey Carlos III hizo que en 1778 se organizara una escuela de grabado en la *Casa de Moneda* y para 1781 una academia de pintura, escultura y arquitectura [Larroyo 1982, 193]. Con esta ampliación quedó establecida la academia.

Desde la fundación de la *Real Academia de San Carlos*, se designó presidente a José Fernando Mangino, quien permaneció en este cargo hasta su muerte en 1787. En orden de autoridad siguieron los conciliarios, que fueron elegidos entre los patrocinadores: el Consulado, el *Tribunal de Minas*, el Cabildo y demás protectores, hasta completar la docena [Brown 1976, 111-12]. Se agregaron los académicos de honor, que fueron personas de prestigio que favorecieron con donaciones o trabajo a la academia. El primero en recibir este cargo fue José Ignacio Bartolache, quien fungiera como secretario del consejo. Pero la carga de trabajo técnico recayó sobre el director general, los directores y los tenientes directores [Baez 1976, 127-141].

Los directores generales duraron en su cargo tres años, salvo el primero, Jerónimo Antonio Gil, quien estatutariamente y por sus méritos recibió el cargo a perpetuidad. Según los estatutos, debieron nombrarse diez directores, pero por las circunstancias del plantel se nombraron siete: Dos de pintura, uno de escritura, uno de arquitectura, uno de matemáticas y dos de grabado. Cada cátedra se remuneró con dos mil pesos anuales, salvo matemáticas que fue la mitad por ser la que tuvo menos trabajo según el criterio de los restantes profesores, argumentaron que a diferencia de los profesores de matemáticas, ellos debían revisar trabajos, corregir tareas y participar en la elección de obras para concurso, entre otras actividades. Los primeros directores fueron españoles, por considerar que en la Nueva España no había personal que reuniera los méritos necesarios [Brown 1976, 112-114].

Así, llegaron a México entre 1786 y 1788, Antonio González Velázquez (1729-1793) como director de arquitectura, Joaquín Fabregat (1748-1807) de grabado, Gines de Aguirre y Cosme de Acuña y Troncoso para pintura, y José Arias para la dirección de arquitectura. A la planta inicial se incorporó Miguel Constanzó, residente en la Nueva España, que junto con José Ortiz se hicieron cargo de la dirección de matemáticas. Las condiciones y las escasas posibilidades de desarrollo hizo que finalmente sólo quedaran Gil, González, Fabregat y Constanzó [Díaz de Ovando 1985, 45]; por lo que se consiguió una segunda remesa para cubrir las vacantes, así llegó Manuel Tolsá (1757-1816) como director de escultura, quien tuvo que entregar un encargo: Una estatua de yeso que donó el rey a la *Academia de San Carlos*, y que fue la base de la colección de más tarde exaltara Humboldt; el primer director criollo fue Diego de Guadalajara [Brown 1976, 114].

En 1796, Tolsá ganó el título de Académico de mérito en arquitectura al presentar los planos para el *Colegio de Minería*, que fue inaugurado hasta 1811; en 1803, erigió la estatua ecuestre de Carlos IV, el famoso caballito, y remodelo la fachada de la catedral. Cuando Tolsá llegó a la Nueva España sólo Constanzó tenía la misma reputación que él, la de grandes arquitectos. En cuanto a presupuesto, se proveyó a la academia de un fondo anual de veinte mil pesos, al que contribuyeron la caja real, el consulado de comerciantes, *el Tribunal de Minas*, y diversos ayuntamientos y particulares [López García 1992, 44].

En 1786, la academia tuvo habilitados siete salones en el segundo piso de *la Casa de Moneda*; tres para fines generales, uno de yeso, uno para dibujos al natural, y los dos últimos, fueron de geometría y arquitectura con sus respectivos utensilios: Compases distribuidos en todas las mesas de trabajo con sus estuches, placas y lentes para probar los trazos geométricos, grabados, dibujos, medallas, libros de pintura y arquitectura, y estuches de los modelos de yeso [Brown 1976, 102-103].

En el periodo colonial de 1785 a 1821, pasaron por la academia entre tres y cuatro mil alumnos, la mayoría artesanos pobres o jóvenes aspirantes a tenderos, que buscaron aprender matemáticas; muchos fueron de bajos recursos y la academia debió proveerlos de alguna ayuda. En 1795, de ochenta alumnos admitidos, veintisiete sólo quisieron aprender dibujo, treinta se inscribieron en matemáticas o aritmética, tres o cuatro fueron a pintura y

sólo uno se inscribió en arquitectura [Fernández 1968, 77] En 1810, catorce fueron a pintura, uno a modelos vivos, cuatro a grabados de lámina, cuatro a grabados de hueco y quince a arquitectura. De un total de noventa y dos alumnos, cuarenta y siete siguieron la carrera artística y el resto fueron artesanos aficionados, así se logró el objetivo de la academia, que fue: impartir conocimientos útiles y prácticos a la mayor parte de la población [Brown 1976, 103].

Ser alumno de San Carlos tuvo cierto prestigio, aunque no se comparó con el de ser universitario. La carrera completa fue terminada por muy pocos, en realidad no hubo estímulos suficientes. Se dieron ciertos premios para motivar a los estudiantes en su creación y ayudarlos para su sostenimiento; culminaban la carrera al obtener la orden de académico de mérito, comparable al grado de doctor en la universidad. El trabajo presentado para poder obtener el grado debía ser aprobado por mayoría; en caso contrario, el alumno tenía posibilidades de que se le otorgara solamente el título de académico supernumerario, para estimularlo y permitirle aceptar comisiones públicas, aunque sujetas al criterio de la academia; esto le permitía ejercer su profesión y se le confería la dignidad de hidalgo [Brown 1976, 81-82]. El estilo artístico a desarrollar en sus creaciones fue el del neoclásico.

La biblioteca

La *Academia de San Carlos* estableció por estatuto formar una biblioteca para el servicio de profesores y alumnos, así que para 1789 contó con los siguientes libros de las áreas de arquitectura y matemáticas [Espinoza Sánchez 2002, 158-160; Saladino 1996, 162-165]: *Anatomía*, Besalio; *Simetría del cuerpo humano*, Durero; *Compendio de matemáticas*, Benito Bails; *Historie des Mathématiques*, Moutela; *Historia de las Ciencias Exactas*, Saverien; *Le óns de Mathématique*, Lacaille; *Obras Matemáticas*, Daniel y Juan Bernoulli; *Opera Matemática*, Wallis; *Éléments de Algebre*, Clairaut; *Traité de la resolution des equations invariables*, Mouraille; *L'analyse des infinimens petits*, *Traité Analytique des sections coniques*, Marquis de L'Hospital; *Institutiones Calculi differentialis*, *Introduction in análisis infinitorum* y *Mechanica sive motus sciencia*, Euler; *Introduction a l'Analyse des lignes curbes*, Cramer; *Dictionaire de Physique*, Paulian; *Obras*, Maupertius; *Obras de Mecánica, Estática y las de Hidrodinámica*, Bousset; *Cours*

Complet d'Optique, Robert Smith; *Introducción a la Astronomía*, Carlos Le-Maux; *Astronomía*, Lalande; *Le óns de Physique Experimentale*, Cotes; *Cours de Physique Experimentale*, Muchenbroeck; *Lecciones de Física* (en español) y *Art des experience*, Nollet; *Le óns de Physique*, Sigaud de la Fond; *El examen marítimo*, Jorge Juan; *Opera Omnia*, Newton; además de las que ya se mencionaron en el primer capítulo (véase pág. 61). Los profesores Diego de Guadalajara en matemáticas y Antonio González en arquitectura, consideraron imprescindible saber matemáticas ya que se aplicaron a pintura, arquitectura y escultura, además se usó dinámica, óptica, perspectiva, estática e hidráulica para que un arquitecto reuniera los conocimientos científicos necesarios para ponerlos en práctica en el levantamiento de planos y la construcción de edificios, caminos y puentes.

El sistema de enseñanza

Se siguió cierto orden de aprendizaje: Sala de principios de dibujo, modelos de yeso, dibujos al natural, dibujos a color y así sucesivamente. La educación artística fue de tipo técnica, se basó en la práctica y conocimiento de las reglas del arte. El plan de estudios obligó intensamente, tanto a pintores como a escultores, a prepararse en anatomía, geometría, proporción y perspectiva, y en hacer de los estudiantes ágiles matemáticos. La pretensión fue dar una educación artística con énfasis científico, hasta entonces desconocido en la Nueva España, y así ponerse a la par de la enseñanza europea [Fernández 1968, 79]

Desde 1787, la academia tuvo la tarea de administrar el examen de agrimensura a los solicitantes. Los encargados de aplicarlo fueron los profesores de matemáticas y arquitectura; la prueba constó de aspectos teóricos y prácticos de repartimiento, nivelación, topografía, geometría y uso del grafómetro; dependiendo de quién lo aplicara se agregaron temas de trigonometría, estática, hidráulica y logaritmos. Durante el periodo de 1785 a 1821 la academia otorgó treinta y cinco títulos de agrimensores [Brown 1976, 107-108]

Pero, tal vez la función más importante de la academia fue regular el criterio artístico colonial, ya que sólo ellos, sus egresados y los académicos de mérito, realizaron obras oficiales. Los directores se formaron en las academias del neoclásico y los artistas egresados tuvieron este dogma, así que fue rechazado cualquier proyecto cuyo estilo no

fuera el de boga; y todos los edificios que ostentaban fachadas en estilo barroco fueron remodelados hacia este nuevo estilo. Además, fue la única escuela calificada para realizar obras y para autorizar el funcionamiento de cualquier otra escuela [Benítez 1987, 3].

Se establecieron las direcciones de pintura, escultura, grabado, arquitectura y matemáticas. Los alumnos que concurrieron fueron de dos clases, los que llegaron con el ánimo de estudiar determinada disciplina, preferentemente dibujo y matemáticas, para que esta formación les ayudara en el desempeño de un oficio, constituyeron la mayoría; la gran demanda fue para pintura. En proporción menor estuvieron los que quisieron prepararse en alguna de las otras artes, estos alumnos generalmente consiguieron pensiones [Fernández 1968, 88].

En un inicio, no se tuvo un verdadero plan de estudios, a pesar de que en los estatutos se determinó cierto número de indicadores que les permitió a los directores impartir sus clases [Romero de Terreros 1963, 24-25]. Las materias de matemáticas y arquitectura trabajaron en común acuerdo, la enseñanza teórica se centró en torno a las matemáticas, por medio de los libros de Bails: *Elementos de Matemáticas*, *Compendio de Matemáticas* y *Principios de Matemáticas*. El objetivo de la instrucción fue que los alumnos, por medio de las matemáticas, logaran realizar planos que conjugaran belleza y precisión [Tank de Estrada 1982, 61-62; Brown 1976, 55].

En 1796, los directores de pintura, escultura, grabado, arquitectura y matemáticas, Jerónimo Antonio Gil, Antonio González Velázquez, Joaquín Fabregat, Manuel Tolsá y Diego de Guadalajara propusieron al virrey un plan de estudios para la academia; fue el primero que apareció y que ofreció como innovación: la ampliación del estudio de las matemáticas para incluir el 'arte de la Monte', es decir, la sugerencia de visitar edificios en construcción, una materia denominada materiales, que incluyó el manejo de mezcla y mortero, entre otros. Además, permanecieron el dibujo desde figura hasta modelo de yeso, el curso de matemáticas de Bails, el tratado de cinco órdenes de arquitectura de Viñola y las copias de las láminas de Vitruvio [Alva Martínez 1983, 53].

La enseñanza de las matemáticas

El propósito de esta disciplina en la academia fue apoyar a la arquitectura en la formación de profesionales. Desde antes de 1796, la matemática que se enseñó fue la contenida en una de las obras de Bails, los *Elementos de Matemáticas*, esto hecho está patentado en las remesas de libros de España y las correspondientes listas de recepción de libros en la Nueva España, las guías de los candidatos que se examinaron para agrimensores y en las ediciones de la obra de Bails que se hicieron en la Nueva España, sobre todo entre 1828 y 1840. Sólo posteriormente el director de matemáticas, Manuel Castro, sustituyó en sus clases una parte del texto de Bails sobre trigonometría esférica, para usar su propia obra de trigonometría. Sobre los libros de Bails trataremos de manera más profunda en el siguiente capítulo, pero es oportuno mencionar su contenido: Aritmética, geometría, trigonometría, secciones cónicas, aplicaciones del álgebra a la geometría, cálculo infinitesimal, trigonometría esférica, dinámica, hidráulica, astronomía, geografía, gnómica, arquitectura civil, arquitectura hidráulica, perspectiva y tablas de logaritmos [Romero de Terreros 1963, 24].

El objetivo de la enseñanza de las matemáticas fue apoyar a las demás artes y oficios, para ello se siguió el curso de geometría práctica para los alumnos de arquitectura. Lo trascendente e innovador en San Carlos con respecto a la enseñanza de las matemáticas fueron los cursos que ofreció al público en general, algo inusual en la colonia; estas clases fueron muy solicitadas y concurridas. Los cursos aparecieron como noticias en los periódicos y se anunciaron en rotulaciones, dentro y fuera del plantel [Fernández 1968, 76]. A los cursos libres asistieron aquellos que necesitaron de los conocimientos para el desarrollo de su oficio o quisieron estar mejor preparados para lograr un empleo [Tanck de Estrada 1982, 68], en otros casos se prepararon los alumnos para ingresar al *Seminario de Minas*, a la universidad o para examinarse como agrimensores. Estos cursos se limitaron a impartir: aritmética inferior, aritmética universal, álgebra y trigonometría, no se dieron simultáneamente sino en forma sucesiva [Brown 1976, 50].

Es hasta la reforma del plan de estudios de 1847 cuando, de manera oficial y desglosada, se tuvo una serie de materias. En lo correspondiente a arquitectura, la carrera tuvo una duración de cuatro años, las materias de estudio correspondieron a dos áreas básicas: Diseño y tecnología; la primera comprendió diseño natural, dibujo de arquitectura l

y II, geometría descriptiva, estereotomía y composición de arquitectura I y II Tecnología incluyó: aritmética, álgebra y trigonometría (primer año), geometría analítica y cálculo diferencial (segundo año), mecánica (tercer año), mecánica de la construcción y construcción práctica (cuarto año); aunque no se descartó que ciertos contenidos se estudiaron de forma no oficial [Fernández 1968, 76].

Los profesores de matemáticas

Se pidió por estatuto que los maestros conjuntaran una preparación matemática con una práctica en arquitectura [López García 1992, 58; Romero de Ferreros 1963, 25]:

Es mi voluntad [habla el monarca absoluto] que para dichos empleos [director de matemáticas y director de arquitectura] no se me ponga en adelante sino personas muy instruidas en las matemáticas, prefiriendo siempre a las que a esta instrucción unieren la práctica de la arquitectura. Y en caso de que entre los individuos de la Academia no se hallen personas dotadas de estas calidades, es mi voluntad que se me pongan de fuera de ella; pues mi real ánimo es que ante todas las cosas se atienda a que estos estudios, que son de la mayor importancia, estén siempre servidos por los más hábiles profesores

El primer candidato para matemáticas fue Miguel Constanzó, mientras que para arquitectura fue el español José Antonio González Velázquez, el primer criollo en este puesto fue José Gutiérrez hasta 1813. El dominio de las matemáticas y la arquitectura tuvo un papel decisivo en las tareas reguladoras y de consultoría de la academia en el ramo de la construcción, de hecho fue un requisito para alcanzar la dirección de un área [Romero de Ferreros 1963, 25]. Los profesores también tomaron parte de las actividades cotidianas de la academia, además de impartir sus clases de matemáticas, en las condiciones que especificaron los estatutos, asistieron a juntas ordinarias y fueron los examinadores de los postulantes a agrimensores [López García 1992, 57-61]. Revisemos los antecedentes de algunos de los profesores más representativos

1) Miguel Constanzó: Fue el primer profesor de matemáticas de San Carlos, tuvo el doble carácter de maestro de arquitectura y geometría, hasta la llegada de Antonio González Velázquez en 1786. De 1772 a 1779, trabajó en varias obras de la capital del virreinato, entre las que destacaron las del canal del desagüe de Huehuetoca, junto con Velázquez de León, y la ampliación de la *Casa de Moneda de México* [Fernández 1968, 21]. También, por estas fechas, construyó la *Casa de Moneda* de Zacatecas y el Palacio de gobierno de San Luis Potosí. En 1777, hizo uno de los mejores planos de la Ciudad de México; su obra más reconocida fue un gran claustro para las monjas de la encarnación. Fue el principal

especialista de California y consejero del reino en todo lo relacionado con este territorio. Realizó los planos para el Jardín Botánico y elaboró junto con Diego de Guadalajara y Antonio González Velázquez un reconocimiento del camino México-Vetacruz. En los cincuenta años que permaneció en la Nueva España participó en varios reconocimientos territoriales, en el diseño y construcción de obras públicas como caminos, desagües, arquitecturas y planos urbanísticos. Murió en la ciudad de México en 1814 [Moncada 1994, 131-286; Diccionario Porrúa 1965, 389].

De su obra escrita dejó varios dictámenes y planos de construcción. Fue autor del primer libro concerniente a la Alta California, *Diario histórico de los viajes de mar y tierra hechos al norte de California* [1771], que trató del relato de la expedición de Juan Villalba; el *Extracto de noticias del puerto de Monterrey*, que es una relación del lugar a detalle; la descripción de San Blas y Monterrey que aparecen en su *Diario* muestra la semblanza de un científico observador y formal, con valiosos datos de la orografía y flora del litoral altacaliforniano [Enciclopedia de México 1739-1740; Moncada 1994, 131-286]. Fue catedrático de geometría en la *Real Academia de San Carlos* donde escribió unos apuntes para su clase, *Elementos de la geometría que en la Rl. Academia de Sn. Carlos de esta ciudad de México dictó el Sr Dn. Miguel Constanzó. Capitán de Ingenieros y Preceptor primero de dha. Aula* [1785]. Tendremos ocasión de retomar la obra de Constanzó más adelante.

2) Diego de Guadalajara y Tello: Al dejar Constanzó la cátedra en San Carlos, en 1789, Guadalajara y Tello fue nombrado director de matemáticas. En 1791, solicitó que se le nombrara un sustituto, que se fijaran avisos sobre el inicio de su curso de aritmética universal y que al frente de la academia apareciera determinado verso sagrado [Fernández 1968, 70-93, Docs. 661, 626]. En 1792, apoyó una solicitud de pensión; dio su opinión para establecer en Querétaro una escuela de matemáticas, y examinó a su director; señaló el método con el que propuso enseñar geometría y solicitó útiles para la sala a su cargo [Fernández 1968, 84-88, Docs. 716, 726, 727]. En 1797, examinó a varios postulantes para agrimensores, y a partir de esta fecha no aparece más información sobre él, hasta junio de 1804 cuando certificó que dos alumnos estudiaron matemáticas con él; uno de ellos fue José María Echandía, que más tarde fue maestro sustituto de matemáticas en San Carlos; y

extendió un certificado de aprovechamiento que otro alumno requirió para solicitar una pensión. Probablemente murió en 1805 [Baez 1972, 13-14]

En 1777, Diego de Guadalajara inició una publicación periódica, de escasos cinco números, denominada *Advertencias y reflexiones varias conducentes al buen uso de los relojes grandes y pequeños, y su regulación. Asimismo de algunos otros instrumentos, con método para mejorar su conservación*. Esta publicación mereció los elogios de la *Royal Society* de Londres como el primer periódico especializado en relojes del mundo. En dicha obra mencionó a los relojeros más reconocidos de Europa como Huygens, Hauteville, Hook, Berthoud, Sully, Harrison, Le Roy, Huberte, Elicot, Evans, San Levy y Cabrier, entre otros. Tuvo conocimiento de los adelantos técnicos de los ingleses en la construcción de los relojes mecánicos, quienes aplican los teoremas de la mecánica newtoniana en la utilización de la energía motriz del reloj. Fue un sistema oscilatorio que permitió la transformación de energía cinética a energía potencial. Los primeros en usarlo fueron Fromanteel, Tompion y Quare en relojes con manecillas que marcan horas, minutos y segundos, la innovación vino al incrustar rubíes y usar el temple de acero en los relojes marítimos, estos avances fueron el resultado de los experimentos físicos para explicar el movimiento [Espinoza Sánchez 2002, 89-90].

En esta publicación, Guadalajara expuso el uso de varios instrumentos de física e 'instrumentos matemáticos': de los de física explicó, por ejemplo, el arcómetro, útil para pesar líquidos, sobre todo para los que manejan licores. Mientras que de matemáticas analizó la 'pantómetra inglesa de trigonometría', que fueron tablas trigonométricas que permitieron resolver problemas sobre triángulos planos y esféricos; además del uso de varias escalas que traen los pitipiés ingleses (mapas y planos a escala para calcular las distancias y medidas reales) [Trabulse 1985, 302].

De su destreza como instrumentista hubo varios testimonios, al igual que de su reputación en la expedición de Malaspina, en 1791, de lo que dejó constancia en una *Memoria de los reparos y composiciones que se han hecho en los instrumentos matemáticos pertenecientes al rey de orden del señor Dionisio Galiano capitán de fragata*, en la que indicó los instrumentos que reparó: Un círculo de Adams, un péndulo de Hellicot,

un acromático de bronce y un reloj de Arnold. Con León y Gama realizó varias observaciones astronómicas en su observatorio personal, y con Velázquez de León construyó telescopios. En 1784, recibió del *Tribunal de Minería* el título de Perito Facultativo de Minas [Humboldt 1978, 82; Tanck de Estrada 1982, 64-65; Moreno 1985, 87]

De sus obras, además de la publicación periódica mencionada, escribió: *Representaciones del director de matemáticas D Diego de Guadalajara, sobre el método que se propone enseñar en el curso de geometría* [1792], donde reflejó sus conocimientos matemáticos y la concepción que tuvo de las mismas: Las matemáticas son importantes en la pintura por sus principios de perspectiva, en la escultura se utiliza la geometría de sólidos y, en general, se emplean las matemáticas en dinámica, óptica, estática e hidráulica. En su diario, Guadalajara mencionó la importancia de: La geometría en la exactitud de las medidas, la mecánica para explicar correctamente la potencia motriz, la analítica que sirve en la resolución de los diversos problemas de relojería, el dibujo en función de dar proporción y simetría, y por último la música para brindar un sonido acorde de campanas y flautas [López Piñero 1983a, 427; Espinoza Sánchez 2002, 89-90].

Guadalajara en su curso de matemáticas en la *Real Academia de San Carlos* en 1790, trató sobre aritmética, álgebra, ecuaciones de segundo grado, geometría elemental, trigonometría, geometría práctica y secciones cónicas aplicadas en la dinámica y en perspectiva. El método a seguir fue demostrar las proposiciones mediante el análisis y la síntesis, en sentido newtoniano, retomaremos este aspecto cuando analicemos algunas de sus obras. El libro base fue *Principios de Matemáticas* de Benito Bails, que incluyó cálculo diferencial e integral, en este texto el autor se declaró seguidor de Newton. En el siguiente capítulo analizaremos con detalle dicha obra. Diego de Guadalajara por decisión de la junta de gobierno de la academia decidió imprimir sus *Lecciones elementales de matemáticas* y la *Gaceta de México* anticipó el contenido de los cuatro tomos [Saladino 1966, 164]:

Del primero, los elementos de aritmética inferior teórica y práctica, ejercitando las cuatro reglas generales en números incomplejos y decimales, las propias reglas en números fraccionarios, hasta tocar con la fracción continua o fracciones integrantes, y en los números complejos, cerrando el tomo con un apéndice muy útil a los comerciantes. El segundo tomo tratará de los elementos de aritmética superior, de la formación de las potencias de los números y extracción de sus raíces, de las mezclas, de las proporciones y progresiones aritméticas y geométricas y sus usos, de los algoritmos, su formación y

aplicación a la trigonometría. El tercer tomo tratará del álgebra o aritmética universal. En el cuarto tomo tratará de la geometría elemental y geometría práctica. Esta obra será un tejido de lo más selecto y moderno en la materia que se halla disperso en los autores de mejor nota, principalmente en la obra de los célebres: abate Bosuet, Wolfio, Eulero, Chappelle y otros, con adiciones oportunas del autor.

3) José Avila Roxano: El sucesor de Diego de Guadalajara en la dirección de matemáticas, fue uno de sus exalumnos, José Avila Roxano, quien fue el primer egresado de la academia que llegó a este puesto. No se tienen muchos datos de él: En 1790 y luego en 1797, solicitó una pensión para estudiar en el ramo de arquitectura, en la última aparece una certificación de Antonio González Velázquez, director de arquitectura, sobre las habilidades de su discípulo. En 1797, solicitó la plaza de sustituto de la segunda sala de matemáticas, vacante por la renuncia de José Pulgar. En 1809, presentó el avalúo de unos planos de una iglesia para obtener el grado de académico de mérito en arquitectura. Aparecen algunas referencias en los años 1809-1811 como director y examinando postulantes para agrimensor. Para 1813, ya no aparecen datos de él, salvo señalando un periodo de demencia [Baez 1972, 36; López García 1992, 68].

4) Manuel Antonio Castro: Nació en 1767 y murió en 1854. Tras la muerte, en 1813, de Avila Roxano lo sustituye en la dirección de matemáticas Manuel Antonio Castro, quien rompe con la tradición ya que no era ni arquitecto ni ingeniero; obtuvo el título de agrimensor en San Carlos en 1809, después de haber sido examinado por González Velázquez y Avila Roxano. También fue catedrático suplente del primer curso de matemáticas desde 1805 en el *Real Seminario de Minas*; en ambos cargos, de director y catedrático, permaneció hasta su muerte a los ochenta y siete años, tras cincuenta años de ejercicio docente ininterrumpido [Baez 1972, 66].

En San Carlos su posición fue a veces disminuida en varias ocasiones, los directores de arquitectura trataron de limitar sus funciones no docentes, ya que al no ser arquitecto se pretendió marginarlo de las tareas de revisión y evaluación de planos, hasta que en 1844 logró que se le diera una certificación aclarando su papel [Baez 1972, Docs. 4090 (1557-67), 251, 66-67; Baez 1976, Doc. 6192, 250].

El contenido de sus cursos, estuvieron de acuerdo a los planes y programas de las dos instituciones a las que sirvió, San Carlos y Minería, de hecho empleó los mismos libros en

ambas, los textos de Bails. En Minería, para 1805, impartió cursos de: aritmética, geometría elemental y trigonometría rectilínea. Desde 1807, hasta el final de su carrera, desarrolló cursos con muy poca variación de contenido aunque no de procedimiento metodológico: aritmética, geometría elemental, trigonometría plana y álgebra, hasta ecuaciones de segundo grado [Ramírez 1982, 380]. Perteneció a todas las sociedades científicas nacionales y varias extranjeras de la época, y escribió: *Apuntes, un tratado de aritmética*, con el que se auxilió en sus lecciones, y otro de *Trigonometría Esférica*, que mandó a imprimir el *Tribunal de Minería* y sirvió de texto en el colegio; también figuran discursos y otros trabajos [Ramírez 1982, 380].

Así, hemos visto que la creación de la *Academia de San Carlos* respondió a dos necesidades: Por un lado, como recinto que almacenó la riqueza artística producida hasta entonces, incluyendo lo que llegó de España; de alguna manera se buscó imitar a las escuelas existentes en Europa. Por otro lado, se reguló el criterio artístico, el neoclásico, en la Nueva España; fue la única escuela autorizada que realizó obras a través de sus profesores y egresados; y fue rectora de cualquier otro colegio de esta índole. Formó el personal para el desempeño de varios oficios, pero también a los artistas. De esta forma, el plan de estudios tuvo que responder a tales necesidades; en particular, la física y las matemáticas fueron auxiliares del resto de las materias, en especial de arquitectura.

Los profesores impartieron las materias de matemáticas y física tomando como libro de texto el curso de matemáticas de Bails y aplicaron sus conocimientos matemáticos y físicos en la construcción de varias obras: Canales de desagüe, construcción de edificios, planos de la ciudad, construcción de instrumentos de física y matemáticas, y difusión a través de publicaciones periódicas; además de realizar exámenes a los postulantes. Esto resulta relevante para la investigación, puesto que las matemáticas y la física que manejaron estuvieron determinadas por Bails, quien a su vez se declara partidario del newtonismo. Por otra parte, el tipo de matemáticas y física que usaron respondió a necesidades prácticas de su propio quehacer cotidiano; como auxiliares les permitió comprender el funcionamiento de diversas máquinas e instrumentos de su actividad; esto sólo fue posible a través del conocimiento de la mecánica, en particular de la mecánica newtoniana. Sin duda los exponentes a analizar en detalle por su trascendencia en la difusión de la ciencia moderna,

y, en particular, del uso de la física newtoniana en San Carlos son Diego de Guadalajara, Antonio González y Miguel Constanzó, en especial por su relación con el resto de la comunidad científica novohispana que detallamos en el capítulo anterior.

Antonio González, Miguel Constanzó y Diego de Guadalajara conocen y practican la física de Newton y la enseñan a sus alumnos que estudian agrimensura y arquitectura. La física newtoniana fue un conocimiento teórico y práctico que sirvió para resolver problemas planteados por las necesidades económicas y el entorno geográfico de la Nueva España. Por ejemplo, Antonio González como profesor de arquitectura de la *Academia de San Carlos*, transmitía a sus alumnos los conocimientos de dibujo y las matemáticas necesarias para la elaboración de planos para la construcción de obras religiosas y civiles de la colonia, no aparece en las fuentes originales ninguna mención a un libro de texto para el curso, solo la recomendación de las obras de Bails para el mismo y el uso de las fuentes de la biblioteca sobre el tema [Espinoza Sánchez 2002, 216-220].

González combinó su profesión de arquitecto y de profesor, realizó diversas obras como la construcción de una fachada iconoclasta en la *Real y Pontificia Universidad de México*, fue el encargado de arreglar la plaza mayor para colocar la estatua ecuestre de Carlos IV realizada por Tolsá en 1789, participó en dos grandes construcciones, el desagüe de Huehuetoca y el camino México-Toluca. En el primer proyecto trabajó con Guadalajara, Cortes, Tres Palacios y Castera entre 1789 y 1802. En el segundo, el proyecto fue realizado por Miguel Valero Olea en 1785, los planos fueron hechos por los ingenieros Manuel Agustín Mascaro, Felipe Navarrete y Miguel Constanzó en 1792 y la construcción inició en 1796 a cargo de Constanzó, González y José del Mazo [Enciclopedia de México 1987, 3453; Moncada 1994, 200].

Al verificar la construcción del puente de río Hondo como parte del camino México-Toluca, Constanzó utilizó el término gravitación para explicar teóricamente la necesidad de construir el puente de mampostería, en lugar de madera como hasta entonces, y que fuera mucho más resistente para sostenerse según las fuerzas que se ejercen sobre él; el único libro que para esa fecha trató sobre métodos para determinar el centro de gravedad de un

cuerpo en un determinado lugar de la Tierra fue el de Bails; González coincide con Constanzó en este punto [Espinoza Sánchez 2002, 228-229].

Otro ejemplo del uso de la física newtoniana lo tenemos en el análisis del agua del río Xamapa en 1784. Las autoridades virreinales se preocuparon por el abasto de agua limpia a las ciudades novohispanas para evitar enfermedades gastrointestinales y epidemias, el gobernador de Veracruz, José de Carrión y Andrade, comisionó al ingeniero Miguel Corral, y a su muerte al ingeniero Manuel Mascaro, y a los médicos de la región: Cristóbal Tamariz, miembro de la *Sociedad Bascongada de Amigos del País*, José de Avila, Juan de la Puerta y José Patricio de los Ríos, para analizar el agua del río Xamapa como posible abastecedor de la ciudad. Estos médicos expresaron que para su estudio siguieron a los autores médicos y físicos que analizan las cualidades del agua para establecer su calidad, es decir, olor, sabor, color y peso, y entre ellos mencionan a Tosca, Boerhavee y Newton. De este último citaron los *Principios* y la *Óptica* cuando explicaron las cualidades del agua. Newton utilizó conceptos como partícula, fuerza, gravedad y volumen, entre otros, para explicar al agua como una sal fluida, insabora y que se presenta en tres estados: sólido, líquido y gaseoso, cuyas propiedades obedecen a fenómenos como la gravedad, el magnetismo y la electricidad, y no a causas ocultas del tercer elemento de la naturaleza en el sentido aristotélico [Espinoza Sánchez 2002, 191-197].

Manuel Tolsá viajó a la Nueva España como profesor de escultura de San Carlos. En 1796, conjuntamente con Jerónimo Antonio Gil, Antonio González, Diego de Guadalajara, Joaquín Fabregat y Guines de Aguirre enviaron al virrey una propuesta metodológica para el estudio de la geometría, recomendando llevar como texto la obra completa de Bails. Tolsá construyó un reloj solar en 1795. En particular, el reloj de sol de Tolsá evitó las imprecisiones de los relojes mecánicos instalados en la colonia. Diego de Guadalajara y Tello fue el relojero oficial por decreto virreinal, su actividad fue mantener el buen funcionamiento los relojes de la capital, el otro connotado relojero fue Francisco Dimas Rangel. Guadalajara se declaró seguidor de la mecánica newtoniana en la introducción de su periódico *Advertencias y Reflexiones conducentes al buen uso de los relojes y otros instrumentos matemáticos, físicos y mecánicos*, indicando que la mecánica sirve para aplicar correctamente la potencia motriz en los relojes [Espinoza Sánchez 2002, 170].

En los *Principia* Newton ejemplificó la aplicación de las leyes del movimiento en la construcción de relojes mecánicos [Newton 1982, 252]: Los relojes e instrumentos similares construidos a partir de una combinación de ruedas, donde las fuerzas contrarias que promueven e impiden el movimiento de las ruedas se sostienen mutuamente una con otras, son inversamente proporcionales como las velocidades de las partes de la rueda sobre la cual están impresas. Guadalajara usó la fuerza motriz en la construcción del reloj mecánico y explicó su movimiento con base en la teoría newtoniana de la potencia motriz, esto además le permitió estudiar y construir los relojes ingleses que fueron los primeros en seguir el mecanismo descrito por esta teoría. El avance en la construcción de relojes benefició, entre otros, a los astrónomos por la exactitud de los cálculos [Espinoza Sánchez 2002, 176].

Finalmente, otros datos más que corroboran el uso de la física newtoniana en la academia son los contenidos a examinar por parte de los profesores, en los postulantes a obtener un grado académico, que esencialmente correspondió a lo englobado en la obra de Bails, de ahí la importancia de un estudio más detallado de su obra. Además de los diversos trabajos de los alumnos que acompañaron a los profesores en las comisiones académicas, entre los colegiales de San Carlos que más destacaron en el periodo de 1762 a 1776 se encuentran: Gutiérrez, Pulgar, Heredia y Buitrón, entre otros.

Las publicaciones periódicas efectuaron breves reseñas de los actos académicos, por ejemplo la *Gaceta de México* notificó que, en 1790, la *Real Academia de las tres Nobles Artes de San Carlos* bajo la dirección de Diego de Guadalajara, quien dijo una oración inicial recomendando el estudio de las matemáticas, abrió una nueva aula de geometría y al año siguiente se abrió el curso de álgebra por parte del mismo catedrático

Para estimular los conocimientos matemáticos enseñados en 1792 fue lanzada la convocatoria del primer concurso de matemáticas por la *Real Academia de San Carlos* para examinar sobre tópicos de aritmética y álgebra, en función de las bases siguientes: Se propusieron problemas de aritmética vulgar y de álgebra cuestiones lineales y de dos incógnitas, se examinaron en fracciones, numéricas y literarias, resolviendo todos los problemas en cierto tiempo, exponiendo las razones teóricas de la solución; dándose

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

premios monetarios para los dos primeros lugares de cada disciplina [Saladino 1996, 168-169]. El dos de enero de 1793, Guadalajara abrió el curso de geometría según lo anticipado por la prensa; todavía para 1805 anunció la apertura de un curso de matemáticas en esta institución, con base en la obra de Benito Bails. Los alumnos de geometría de la academia hicieron públicamente sus tentativas con dos globos aerostáticos el 17 de septiembre de 1785 en el parque del palacio, uno de seis varas de diámetro y el otro menor

Con esta breve descripción del uso de la física newtoniana por parte de los profesores de la *Academia de San Carlos*, se manifiesta la influencia de Newton más allá de simplemente ser enseñado como parte de las teorías físicas del momento o por simple moda; de hecho es fundamento de los trabajos de los novohispanos. Únicamente falta analizar con detalle la obra de Bails para determinar qué tanto fue enseñado Newton en San Carlos, a través de sus obras

2.2 LA CREACIÓN DEL REAL SEMINARIO DE MINERÍA

En el último cuarto del siglo XVIII la corona española realizó una de las más vigorosas tentativas de renovar las técnicas mineras novohispanas de extracción y beneficio de la plata, el más importante renglón de la economía de la colonia [Trabulse 1991, 218]. El ramo de la minería sufrió un estancamiento desde el siglo XVII: El descenso de la producción, los altos costos y la falta de rentabilidad determinaron la retirada de capitales [Ruiz de Esparza 1993, 556]. En la Nueva España aparecieron los primeros proyectos que tuvieron como meta reformar y dar una nueva dirección a la minería, los planes propusieron diversas medidas: Modificación de algunas prácticas políticas, disminuir el precio de ciertos productos, arreglo del orden jurídico, autonomía del gremio y la creación de un colegio para capacitar a los jóvenes en los asuntos mineros [Flores Clair 1993, 540].

Uno de los mineros más propositivos fue Francisco Javier Gamboa, quien fue comisionado de la Santa Cruzada, cancelario de la *Academia de San Carlos*, abogado de la catedral de México y de los presos por parte de la Inquisición, consultor del Santo Oficio y miembro de la *Sociedad Económica de Amigos del País*. Elaboró en 1761, los *Comentarios a las Ordenanzas de Minas* donde expuso los aspectos jurídicos de la minería, semblantes científicos y técnicos de los procesos de extracción y sobre todo, la incapacidad técnica de

los peritos como causa de litigios embarazosos y pérdidas económicas considerables. Lanzó una fuerte crítica contra los mineros prácticos y propuso capacitar a distintas personas en las ciencias experimentales para acabar con dichos males, así como instruir a los encargados de la medición, supervisión y desempeño de las labores mineras. Sin embargo, Gamboa no contempló la creación de una academia donde los funcionarios públicos se instruyeran [Trabulse 1985b, 30-45; Flores Clair 1993, 540].

Más tarde, en 1774, Juan Lucas de Lassaga y Joaquín Velázquez de León escribieron la *Representación*, donde presentaron al rey Carlos III un proyecto para crear el *Tribunal de Minería* y darle cuerpo al gremio minero, también solicitaron la creación de un Banco de Avío para financiar las actividades productivas y un Colegio Metálico donde los hijos de los mineros pobres pudieran capacitarse, considerando que en un futuro ellos ocuparían la dirección y administración de los negocios del ramo. Lassaga y Velázquez señalaron que el oficio de minero se dio por imitación mediante una práctica exenta de todo principio científico y la transmisión de conocimientos respondió a situaciones sentimentales por lo que era factible resolver los graves problemas técnicos en las operaciones mineras a través de la creación de la academia y la difusión de los libros sobre la materia [Izquierdo 1958, 18-20; Flores Clair 1993, 541]. La idea del colegio fue formar peritos facultativos de minería y metalurgia, que promovieran el perpetuo fomento y la reforma de la industria minera de la Nueva España [Larroyo 1982, 193].

La enseñanza se concibió no sólo con la idea de formar técnicos, sino también que fuera lo suficientemente teórica como para formar ilustrados que se dedicaran a las ciencias exactas, con maestros laicos y clases en español. Lassaga y Velázquez propusieron el plan de estudios a seguir en el colegio [Izquierdo 1982, 18-20; Flores Clair 1993, 542; Minería, Informes 1789-1800, 5]: Los primeros dos años se dedicaron al estudio de las matemáticas en sus distintas ramas, el primer año de las matemáticas puras comprendería aritmética, álgebra, geometría elemental, trigonometría plana y secciones cónicas. El segundo curso, contendría geometría práctica, geometría subterránea, y en general la física relacionada con la mecánica, maquinaria, hidrostática, hidráulica, aerometría y pirotecnia en la parte aplicable a minería. Los siguientes dos años abarcarían los cursos de química, mineralogía, metalurgia y el uso del azogue propio de esta región. Además llevarían un curso de dibujo

con el fin de apoyar las otras asignaturas. Al término de los cursos teóricos saldrían a residir dos años más en las minas y al final de estos obtendrían el grado mediante un examen teórico y práctico. El director debería ser un hombre "sabio en matemáticas y física experimental, química y metálica y profundamente apto en la minería práctica de la Nueva España" [Lassaga 1774, 65; Bargallo 1966, 163].

Para llevar a cabo este proyecto, los mineros estuvieron dispuestos a invertir dinero destinado a cubrir los sueldos del personal, la renta de un local adecuado, la asistencia médica, la compra de instrumentos de laboratorio y la adquisición de material bibliográfico. Esta primera fase representó el sueño de los ilustrados miembros de la *Sociedad Económica de Amigos del País* de cultivar las teorías modernas en la Nueva España y aplicar todos los adelantos científicos a la minería, sin embargo tuvieron que esperar algunos años para verlo concretizado. En 1776, el virrey Bucareli estableció el *Tribunal de Minería* nombrando como dirigentes a los propietarios de los reales de minas más importantes de la Nueva España: Velázquez de León, representante de Sultepec, fue nombrado director general encargado de la experimentación y la capacitación técnica; Lassaga, delegado de Bolaños, como administrador general; Julian del Hierro de Temascaltepec, Marcelo de Anza de Zacatecas y Tomás de Liccaga de Guanajuato, como diputados generales; finalmente Aniceto del Barrio, apoderado de Taxco, como gerente administrativo [Brading 1975, 225].

El primer triunfo del tribunal fue la publicación de un nuevo Código de Minas en 1783, para reemplazar las ordenanzas existentes promulgadas por Felipe II en el siglo XVI, este código tuvo como base tanto a los *Comentarios a las ordenanzas de minas* de Gamboa como la constante información intercambiada en la correspondencia con Gálvez, quien, con la gran caída de la acuñación entre 1760 y 1770, aceptó hacer un programa de reformas basándose en la obra de Gamboa y opiniones de José Borda, Juan Lucas de Lassaga y otros mineros. En este programa, las *Reales Ordenanzas para la Dirección y Gobierno del Importante Cuerpo de Minería de Nueva España y su Real Tribunal General*, se redujeron impuestos y costos de materias primas, que tuvieron efectos económicos importantes. Más tarde, Gálvez también aceptó la propuesta de Velázquez y Lassaga de dar una voz pública y prestigio social a los mineros, en 1786 ambos intelectuales fallecieron [Brading 1975, 223; Izquierdo 1958, 17].

En el mismo año, 1786, el rey Carlos III nombró a Fausto de Elhuyar (1755-1833) como director del *Tribunal de Minería* y eliminó el cargo de administrador general, a su vez, lo designó como director del *Colegio de Minería*. Elhuyar llegó precedido de un alto prestigio gracias a su sólida preparación en distintos centros académicos europeos, entre sus méritos destacó el descubrimiento del tungsteno en compañía de su hermano Juan José Gozó de una amplia experiencia en los adelantos metalúrgicos y, entre otras cosas, la misión de difundir en las minas mexicanas el método de amalgamación inventado por el barón de Born. Llegó a la Nueva España en 1788, acompañado de los científicos alemanes Federico Sonnesschmidt, Francisco Fischer y Carlos Gottlieb Weinhold, y por los españoles Luis Lindner y Andrés José Rodríguez, estos últimos ocuparon las plazas de profesores en el colegio. A su llegada tuvo que lidiar con diferencias de intereses entre los agremiados, por lo que la nueva institución educativa ayudó a resolver los vicios que padecía la minería, puesto que los alumnos no sólo se convirtieron en peritos facultativos y administradores de negocios sino en los dirigentes del gremio. El tribunal terminaría con los abusos, rompería monopolios familiares y obligaría a los mineros a obedecer estatutos legales.

Respecto al proyecto académico Elhuyar retomó las ideas esenciales de sus antecesores, fusionó su experiencia docente en el *Seminario Patriótico Bascongado de Vergara* e hizo aportes sobre la aplicación de las ciencias útiles para resolver problemas de la minería [Brading 1975, 223-225; Flores Clair 1993, 546]. La relación que existió entre las circunstancias de los colegiales: Admisión, permanencia, manutención, equipaje, vestimenta, horarios, disciplina interna, actos públicos, premios y los respectivos tipos de administración del *Seminario de Vergara* en España y el *Colegio de Minería* de la Nueva España exhiben la influencia de Elhuyar para que este último colegio siguiera en lo posible los lineamientos de la institución española creada en 1776 por la *Real Sociedad Bascongada de Amigos del País* [De Felipe 1993, 573-573].

El sistema de enseñanza

A principios de 1790, Elhuyar presentó al *Tribunal de Minería* un plan general de estudios que comprendía cursos teóricos por cuatro años que incluyó matemáticas, química

(atendiendo mineralogía y metalurgia) y la física subterránea (para el laborio y faenas mineras), apoyados por el dibujo y las lenguas. Al término de los cuatro años los alumnos realizaron una práctica de dos años en algún real minero, bajo el cuidado de los peritos facultativos de las diputaciones. Al terminar estos requisitos, el candidato presentó una disertación frente al Tribunal, quien extendió los títulos correspondientes; más adelante analizaremos con detalle este plan de estudios comparándolo con el del *Seminario de Vergara* y con lo propuesto inicialmente por Lassaga y Velázquez evidenciando las similitudes.

Entre otras disposiciones, el colegio aceptó tanto estudiantes españoles como americanos, otorgó a veinticinco de ellos alojamiento, comida y vestido. Los profesores fueron seculares y aprobaron un examen de competitividad: Al ser aceptados tuvieron la obligación de hacer trabajo de investigación relacionado con la minería y presentar sus resultados cada seis meses, aunque esto no se cumplió del todo. La enseñanza fue práctica, enfocada a actividades que favorecieron los inventos, tanto de métodos como de instrumentos que produjeran progresos en la industria minera [Castera 1841, 42-44]. El director, Elhuyar, decidió formar el cuadro de profesores con europeos y no con novohispanos. Con esto pretendió asegurar una alta calidad en la enseñanza, por lo que la planta docente en su mayoría procedió de España y Alemania [Izquierdo 1958, 33]. Para la cátedra de matemáticas contrató al geómetra español y mineralogista Andrés José Rodríguez; para la cátedra de física experimental sugirió a Francisco Antonio Bataller, quien enseñó en el *Real Colegio de San Isidro* en Madrid y además fue minero residente de la ciudad de México. Para la cátedra de mineralogía propuso a Andrés Manuel del Río, mineralogista español, que estudio en Alemania; por último, para la cátedra de química, se contrató desde España a Francisco Codón, pero como no aceptó se propuso a Luis Lindner. Para la clase de francés se contrató al español Mariano Chamin y para dibujo a Esteban González y Bernardo Gil, ambos maestros en San Carlos [López García 1992, 90; Ramírez 1982, 80, 102].

Como mencionamos, Elhuyar trató de hacer del *Seminario de Minería* un modelo similar al del *Instituto de Vergara*, escogió el cuadro de profesores europeos y trató de imponer un método de amalgamación extranjero (alemán), lo que produjo un gran

descontento entre los novohispanos. Alzate, por ejemplo, publicó en varios artículos sus propuestas, insistiendo en que no por ser métodos alemanes eran superiores a los usados en la Nueva España, proporcionó argumentos al respecto [Alzate 1980, 243]. Los novohispanos rechazaron las imposiciones españolas, pero aún con sus protestas, el *Real Seminario de Minería* fue inaugurado el 2 de enero de 1792 por el virrey Revillagigedo y representó el primer colegio en América donde se institucionalizaron la física, las matemáticas, la química y la mineralogía [Humboldt 1973, 79].

Saldaña [1988, 57] opina que el seminario no logró una incidencia verdadera en la actividad minera como resultado de las contradicciones que generó una sociedad con una dinámica cultural y económica propia, aunque desde luego, no fue totalmente autónoma. Si bien el *Seminario de Minería* no respondió como los novohispanos esperaban en un principio, hizo varias aportaciones, por ejemplo contribuyó a disminuir el agotador trabajo de los mineros, al respecto Humboldt [1978, 49] opinó:

El arte de las minas se perfecciona cada día más, los alumnos de las escuelas de minas de México van comunicando poco a poco conocimientos exactos sobre la circulación del aire en los pozos y galerías; se comienza a introducir máquinas que inutilizan el antiguo método de hacer llevar al hombro y por escalera muy pendiente, el mineral y el agua

Se iniciaron nuevamente explotaciones de minas que se abandonaron por problemas de desgaste, se introdujeron máquinas planeadas por Del Río y realizadas por Lachaussée en la Nueva España. Se utilizó en las minas la geometría subterránea (todo lo que tiene que ver con las excavaciones subterráneas), con la cual se eliminó, según Humboldt [1978, 367-68]:

La falta de comunicación entre los diferentes planes, los cuales se parecen a aquellos edificios mal contruidos, donde para poder pasar de una pieza a otra es menester dar la vuelta a toda la casa []. Podría suceder muy bien que ya estuviesen tocándose dos laboríos, sin que nadie lo advirtiese”

Con el manejo de la geometría subterránea, se logró entonces introducir la conducción con carretón o con perros y una económica disposición de los puntos de reunión, como en las minas de Freiberg [Humboldt 1978, 368].

Los historiadores de esta época no tienen menos que reconocer que el colegio fue el plantel pionero en la Nueva España [Humboldt 1978, 49; Ramírez 1982, 207], en varias cosas: En impartir un curso de cálculo infinitesimal; en ofrecer una física en la que se

incorporaron las concepciones newtonianas; en abrir sus aulas a una química actualizada con el texto de Lavoisier; primero en presentar cursos completos de geología, geognosia, orictognosia, todo ello con el propósito declarado de formar técnicos que mejoraron la capacidad de producción de las explotaciones mineras de la colonia, por ello mereció la denominación de la primera casa de las ciencias en México, como la bautizara Izquierdo [López García 1992, 89].

Planes de estudio

Como se manifestó en la *Representación* de Velázquez de León y Lassaga, se esbozó un plan de estudios cuyo desarrollo estuvo a cargo de cuatro maestros. El primero, que enseñó en dos años y en español, aritmética, geometría, trigonometría y álgebra, lo suficiente para su aplicación. El segundo, en el mismo tiempo y lenguaje, enseñó mecánica, maquinaria, hidrostática e hidráulica, aerometría y pirotecnia, en la parte aplicable a la minería. El tercero, un curso elemental de química teórica y práctica. El cuarto, mineralogía y metalurgia, y el uso del azogue propio de América. También hubo maestro de dibujo [Lassaga 1774, 68]. Las *Reales Ordenanzas* recogieron estas inquietudes y las reprodujeron en 1778, donde insistieron en el carácter secular de la enseñanza y en que fueran materias del plan de estudios las matemáticas y la física experimental [Ramírez 1982, 25-36; Tamayo 1958, 12]. El plan de estudios de 1790, es del que se extrajo el artículo primero de la enseñanza, reproducido anteriormente.

Elhuyar recogió estos lineamientos y los planteados por el *Seminario de Vergara* para formular su plan de estudios que constó de cuatro años: En el primero, se estudiaron las matemáticas; en el segundo la geometría práctica para aplicaciones mineras, esto es, geometría subterránea (útil para establecer las medidas de las minas), dinámica e hidrodinámica; en el tercero, química, mineralogía y metalurgia; en el cuarto, física subterránea o teoría de las minas, y durante este tiempo el dibujo y la lengua francesa. Para cada curso hubo un profesor electo con arreglo de las *Ordenanzas*, un gabinete con modelos de máquinas y un laboratorio de química. Se hicieron visitas a los reales de minas y al término de los estudios los egresados practicaron el oficio por dos años antes del examen final [Moreno de los Arcos 1978, 145].

Algunas diferencias entre los planes de Velázquez y Lassaga con el de Elhuyar fueron: En matemáticas, se pretendió llegar hasta la enseñanza de las cónicas, cuando en 1774 se tuvo como tope el álgebra para aplicaciones en las materias ya mencionadas. En física, los requerimientos previstos en ambos ordenamientos fueron similares, aunque la distribución de contenidos fue algo diferente [Ramírez 1982, 68]. En la práctica, el plan sufrió ajustes sucesivos motivados por las circunstancias reales en que se desarrolló el colegio: posibilidades de contratación de maestros idóneos, preparación académica con que ingresaron los nuevos alumnos, características del edificio donde el plantel se estableció y funcionó durante los siguientes veinte años, posibilidades locales para formar colecciones, laboratorios y bibliotecas, entre otros [Bargallo 1966, 170].

La última etapa de formación del alumno consistió en elaborar una disertación para sustentar su examen profesional. Para este trabajo se tuvieron los siguientes temas: 1) Descripción geognóstica de un real de minas, con el plano geográfico de su situación y la de los cerros de su cercanía; 2) formación de la descripción de una mina y su plano; 3) descripción del beneficio por azogue de los metales de oro y plata que se practicaron en el real; y 4) descripción del beneficio de los minerales de plata por fuego en el real. Así, además de obligar al alumno a un ejercicio útil para su vida profesional, el documento tuvo el propósito de obtener información de primera mano de los yacimientos en los cuales permanecieron y en cuyas tareas participaron [León Portilla 1978, 106]. Estas prácticas se llevaron a cabo en los principales centros mineros: Catorce, Zacatecas, Durango, Sombrerete y Real del Monte, entre otros [Izquierdo 1958, 31]. Al término de cada curso, se realizaron exámenes parciales para evaluar sus conocimientos; y al finalizar los cursos, los alumnos sustentaron actos públicos.

La enseñanza de las matemáticas

En el caso de la enseñanza de las matemáticas, en 1785, en los extractos de las Juntas Generales de la *Real Sociedad Bascongada de Amigos del País*, se publicó el método para la instrucción de esta ciencia. El método estaba impregnado del espíritu de la ilustración y recogía, en buena medida, los avances de dicha ciencia en Europa. Los socios pretendieron que su método fuera un modelo a imitarse en toda la nación. El estudio de las matemáticas abarcó cuatro años y comprendió aritmética, geometría, trigonometría, secciones cónicas,

cálculo diferencial e integral, con sus respectivas aplicaciones a la geometría sublime y trascendente. La mecánica, estática, hidráulica, óptica, catóptrica, astronomía, geografía, navegación, gnomónica, cronología, fortificación y artillería. Para impartir el curso, los profesores españoles eligieron el libro de Benito Bails, por estar escrito con sublimidad, exactitud, método y en español [Flores Clair 1993, 549]. Con el fin de apoyar los temas de navegación, artillería y fortificaciones, los alumnos consultaron las obras de Jorge Juan, Bouguer, Bezout y algunos más. Para obtener mayor aprovechamiento los profesores recibieron ayuda de los discípulos más hábiles y contaron con estuches de matemáticas para poner en práctica los conocimientos adquiridos [De Felipe 1993, 574].

En el caso del *Real Seminario de Minería*, el curso de matemáticas abarcó la primera parte de los temas arriba mencionados. El resto formó parte de la clase de física y más adelante algunos de ellos fueron incorporados a la clase de geografía. El libro de texto seleccionado para impartir el curso fue también la obra de Benito Bails por sus virtudes pedagógicas. Elhuyar buscó que todos los alumnos tuvieran un libro básico y algunas obras de referencia para profundizar, tratando de evitar que el alumno perdiera tiempo en el dictado de profesores; además implantó un ayudante de cátedra con funciones bien establecidas. Antes de iniciar los cursos encargó cien ejemplares de la obra de Bails, *Aritmética para negociantes* [Madrid, 1790], pero sólo logró conseguir algunos ejemplares. Finalmente utilizó, en un inicio, *Elementos de aritmética, álgebra y geometría* de Juan Justo García y más tarde, *Elementos de Matemáticas* [1782-1783] y *Principios de Matemáticas* [1776] de Bails; de ahí la importancia del análisis más detallado de estas obras que se realizará en el siguiente capítulo. Otros textos que apoyaron el programa fueron los *Elementos* de Euclides, los *Elementos de matemáticas* de Lemeaur y las *Tablas logarítmicas* de Gardiner [Flores Clair 1993, 551; Ruiz de Esparza 1993, 559].

La evolución del plan de estudios de 1790 se dio de la siguiente manera: Hasta dos años después se inauguró el seminario. Desde el primer año de vida del plantel se vislumbró que un sólo curso fue insuficiente para desarrollar los contenidos matemáticos programados al nivel que se requirió, así que de los que ingresaron entre 1792 y 1793, sólo cuatro o cinco pasaron a estudiar física al siguiente año y fueron los únicos en seguir un sólo curso de matemáticas. Los demás tuvieron que atender al menos dos. De 1792 a 1803,

el primer curso de matemáticas abarcó aritmética, geometría elemental y trigonometría plana; el segundo curso comprendió álgebra, secciones cónicas y geometría práctica subterránea. Sólo los alumnos que ingresaron en 1796 tuvieron un programa diferente. El primer curso se integró con aritmética, álgebra y geometría elemental. Al año siguiente, en el segundo curso, los mismos alumnos estudiaron álgebra, secciones cónicas y cálculo infinitesimal. La geometría práctica se impartió en 1798 en el curso de física [Ramírez 1982, 142]

Por el desdoblamiento de la matemática, la materia de física pasó formalmente a ubicarse en el tercer curso. Originalmente, en el plan de 1790, se compuso de dinámica e hidrodinámica, pero a partir de 1798, el programa se formó con cálculo infinitesimal, mecánica, electricidad, óptica y astronomía. Posteriormente, a partir de 1805, el cálculo infinitesimal pasó al segundo curso de matemáticas; y la geometría práctica, a pesar de estar considerada originalmente en el curso de física, casi siempre fue considerada como parte de la matemática [López García 1992, 100-102].

Desglosando las materias por su contenido tenemos que los conocimientos de matemáticas que se impartieron en dicho seminario fueron [Ruiz de Esparza 1993, 560-561; Minería 1789-1800, Castera 1841, 10]:

Aritmética: La aritmética que se enseñó fue llamada teórico-práctica y los estudiantes aprendieron a manejar los decimales con sus cuatro operaciones fundamentales, sistemas de numeración, operaciones con enteros y fracciones, manejo de potencias y raíces desde la cuadrada hasta la novena, razones y proporciones aritméticas y geométricas con aplicaciones a la regla de tres simple y compuesta, progresiones y logaritmos. Se instruyeron en definir a la aritmética como la ciencia que explica las propiedades de los números, y el método de calcularlos.

Álgebra: se enseñó como el método general de cálculo que utiliza ciertos signos y símbolos designados para este propósito, con operaciones y reglas similares a las de la aritmética, a partir de los mismos principios. Se enseñaron operaciones con literales, enteros, quebrados y radicales, el binomio de Newton, fórmulas de progresión, interés

simple y compuesto de la resolución de ecuaciones de primero y segundo grado, ejercicios de suma, resta multiplicación y división de ecuaciones.

Geometría: Se entendió como la ciencia de las magnitudes en general, de hecho se denominó como geometría elemental y comprendió el estudio de líneas rectas, perpendiculares, oblicuas y paralelas, ángulos de círculos, triángulos, cuadriláteros, polígonos y líneas proporcionales, medición de superficies y solidez de volúmenes, tanto de poliedros planos como redondos. Analizaron el tiempo, la velocidad, el número y el peso en superficies y cuerpos sólidos.

Las secciones cónicas se definieron como las líneas curvas que resultan de la intersección de un cono y un plano. Se estudió su origen, naturaleza y propiedades, tanto en cónicas generadas por movimiento continuo como aquellas generadas por puntos.

La trigonometría fue impartida como parte de la geometría que permite medir los lados y ángulos de los triángulos, que pueden estar sobre una superficie plana o esférica, e incluye el uso de tablas, resolución de triángulos rectángulos y oblicuángulos, y analogías entre ellos.

El cálculo diferencial se enseñó como el método para diferenciar cantidades, es decir, para encontrar cantidades infinitamente pequeñas que si se suman un número infinito de veces será igual a la cantidad original. Mientras que el cálculo integral o sumatorio, se identificó como el método de sumar cantidades diferenciales, esto es, de una cantidad diferencial dada se puede encontrar la cantidad de la cual es diferencial. El cálculo infinitesimal se enseñó como parte preliminar del curso de física. En el curso de 1802, tanto el cálculo diferencial como el integral formaron parte del segundo curso de matemáticas, se usaron los libros de García y de Bails para tal fin. El cálculo exponencial fue el método para diferenciar cantidades exponenciales y sumar los diferenciales de cantidades exponenciales.

La geometría algebraica o analítica fue el método que combinó la geometría con el álgebra. Se le otorgó importancia a esta combinación, como el caso del cálculo desarrollado por Newton al aplicar el álgebra a los fenómenos de variación lenta, representados a través de distintos tipos de curvas. La geometría subterránea representó la posibilidad de

resolución de los problemas prácticos que más interés y aplicaciones tuvieron para los mineros.

El esfuerzo de Fausto de Elhuyar por crear un programa de estudios que actualizara científicamente a los jóvenes mineros se vio reflejado en particular para el caso de las matemáticas, pues desde los primeros años se llevó a un plano más elevado de estudio [Ruiz de Esparza 1993, 561; Izquierdo 1958, 77]. Entre 1803 y 1804, el barón de Humboldt opinó que la enseñanza de las matemáticas era mucho más cuidada en el *Real Seminario de Minería* que en la *Real y Pontificia Universidad de México*, ya que los alumnos del colegio penetraron más en el análisis porque se les instruyó en el cálculo diferencial e integral. La mayoría de los egresados fueron los que enseñaron a lo largo del siglo XIX como profesores en el Colegio Militar, la Academia de San Carlos, la Escuela de Agricultura y la Escuela de Artes y Oficios [Ruiz de Esparza 1993, 561; De Felipe 1993, 586; Izquierdo 1958, 72-77].

La biblioteca

La biblioteca del *Colegio de Minería* se creó un año después de la inauguración de la institución, para conformarla Elhuyar le propuso al *Tribunal de Minería* tres vías: Comprar directamente los libros escritos en latín, francés y español desde Madrid, adquirir bibliotecas personales de novohispanos o figuras públicas que visitaron la Nueva España, y finalmente mediante los libreros. Así, en un inicio, las bibliotecas personales de Velázquez de León y Elhuyar fueron donadas para conformar un banco de libros disponibles, además varios personajes vendieron sus libros al colegio como Juan Eugenio Santelices Pablo, Francisco Xavier Rico, Esteban González, Pedro de Chaussé y José Fernández de Jáuregui, entre otros, encontrándose una selección importante sobre minería. Sin embargo, la mayoría de los libros que se adquirieron para la biblioteca entre 1791 y 1822 fueron encargados al *Tribunal de Minería* en España [Escamilla 1999, 2].

Fausto de Elhuyar mando pedir desde Europa una serie de libros, entre los que incluyó aquellos con los que él mismo había estudiado mineralogía: Los *Opúsculos* de Bergman en francés, el *Manual de Minéralogiste* de Mongez, *Voyages Méialurgiques par Sars*, una obra alemana cuyo cuarto tomo se tituló *Anleitung der Markcheidekunst*, un

Diario de física del que no recordó el autor, *Théorie de l'Art du Mineur* de Geness, los tres primeros tomos de *Nouvelles Actes d'Upsal*, la *Chimie Physique* y las *Disputationes Academicæ* de Wallerius, *Systema Mineralogicum*, *Histoire de la Mineralogie et son traité de Origine Mundi* y un ejemplar del *Análisis del hierro* de Bergman traducido por Gringon, entre otros [Escamilla 1999, 3]. Sobre física se solicitaron, en un principio, a los más famosos difusores de la física experimental como [Libro de Cuentas 1793; Minería 1801-1808]: *Leçons de physique expérimentale* de Nollet [1783], *Cours de physyque* de Muchenbroek [1749], *Cours de physique expérimentale* de Desaguliers, *Les entretiens physiques* de Regnault [1775], *Eléments de physique mathématique* de S'Gravesande [1746] y de Sigaud de la Fond, libros como la *Description d'un cabinet de physique* [1784], *Essai sur différentes especes d'air qu'on désigne sous le nom d'air fixe* [1779], *Elementos de física teórica y experimental* [1787] y *Resumen histórico y experimental de los fenómenos eléctricos* [1792]

Elhuyar también se suscribió a varias revistas como [Cuentas Mensuales 1792; Libro de Cuentas Mensuales 1793; Escamilla 1999, 8]: *Gaceta de España*, *Gaceta de literatura R.N.*, *Nuevos Descubrimientos de Física*, y las alemanas *Allgemeine Literatur Zeitung* y *Bergmanisches Journal*, entre otras. En estas revistas apareció tanto información teórica y experimental de física, como información de las actividades de los físicos en Europa, libros publicados en varios idiomas que se podían pedir posteriormente para la biblioteca y descubrimientos o nuevos inventos sobre química. Por ejemplo, se mencionaron los autores de los libros más destacados, a los ganadores de diversos premios y se hicieron comentarios sobre algunas diferencias personales entre ellos.

La biblioteca no se limitó a poseer sólo estos textos. Posteriormente llegaron más libros de física, de bastante reconocimiento como [Libro de Cuentas 1793; Libro del Almacén 1799; Libro del Almacén 1797]: *Traité de dynamique* de D'Alembert, *Traité du mouvement des eaux* de Mariotte [1718], *La méridienne de L'Observator* de Cassini de Thury [1744], *Dictionnaire universel de mathématique et de physique* de Saverein [1753], *Traité du baromètre* de J.A. de Luc [1784] y *De l'électricité du corps human* de Bertoholon [1786], entre otros. De Newton se contó con los siguientes libros: *Optice* [1740], *Opuscula*

Matemática, Philosophica et Philologica [1744] y *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* [1739].

Además de estos libros, el colegio tuvo en su biblioteca muchos de los libros que recién se habían impreso en Europa (véase capítulo uno, páginas 58-60) Por razones obvias, no solo basta con tener la lista o una serie de referencias, sino analizar los trabajos teóricos que se sustentaron en ellos; de ahí la importancia del presente trabajo. Los libros de la biblioteca del colegio fueron vitales para lograr el grado de desarrollo de la enseñanza de las ciencias en la Nueva España a finales del siglo XVIII. Se tienen antecedentes importantes sobre la influencia de los textos de Sigaud de la Fond y de Benito Bails pero, como bien señala Escamilla [1999, 15], aún nos falta analizar los libros auxiliares que utilizaron alumnos y profesores, investigar qué catedráticos encargaron libros y para qué clase. El acervo de la biblioteca de Minería incluyó obras relacionadas con la ciencia newtoniana [Espinosa Sánchez 2002, 177]: Mecánica, óptica, astronomía y matemáticas. Todas estas disciplinas fueron enseñadas en el colegio, en general se revisaron los aspectos teóricos en el aula y se comprobó la teoría en el laboratorio con la finalidad de tener buenos agrimensores que utilizaran estos conocimientos en el trabajo en minas y en la construcción de caminos y puentes. Esto será analizado con más detalle cuando revisemos el curso de física impartido por Francisco Antonio Batallet a través del texto que escribió precisamente con ese fin, *Principios de física y matemática experimental*.

Los instrumentos

La Nueva España fue dependiente de España para la provisión tanto de libros científicos como del instrumental. De hecho fue una doble dependencia de la ciencia europea, ya que a su vez España se encontró en una situación colonial con respecto al resto de Europa. En cuanto a la provisión de instrumentos, toda Europa dependió de Inglaterra para los instrumentos de escala fina, en especial, para los llamados instrumentos matemáticos; es decir, los náuticos, los astronómicos y los agrimensores. De la diversidad nació la habilidad en la caza de instrumentos, y en este sentido las expediciones científicas, los viajeros frecuentes, los conocidos de marinos, entre otros, fueron vehículos que proveyeron de lo

necesario a los novohispanos. En casos excepcionales incluso construyeron su propio instrumental [Glick 1989, 49]

Al no existir un catálogo de material necesario para el gabinete de física del colegio, Elhuyar decidió emplear como referencia básica el famoso libro *Elementos de física teórica y experimental* de Sigaud de la Fond, de amplia difusión en Francia y España, en especial por la traducción realizada por Tadeo López [1789]. De donde obtuvo una lista de instrumentos que solicitó a España. Para 1803, Elhuyar informó al *Tribunal de Minería* sobre la adquisición de instrumentos y utensilios necesarios para la enseñanza en el *Real Seminario de Minería*, además de los ya solicitados, del barón de Humboldt [De Felipe 1993, 588]

A groso modo, el laboratorio de física incluyó máquinas eléctricas de la época, balanzas hidrostáticas, eolípilos, bombas de aspiración, máquinas neumáticas, telescopios, microscopios y un modelo a escala reducida de la bomba de fuego, que incluyó una pequeña caldera y los instrumentos necesarios para que trabajara. Además tenía una buena serie de digestores, vasos comunicantes, pirómetros, anemómetros, eudiómetros, higrómetros, termómetros, barómetros, aparatos de sifón, barras magnéticas, lentes ópticos cóncavos y convexos, espejos ustorios, prismas ópticos, electrómetros, un balón de Priestley para convertir el aire en ácido, un condensador de Volta y un aparato químico neumático grande de Watt, entre otros instrumentos [Trabulse 1994, 135]

Los maestros

El primer maestro de matemáticas fue Andrés José Rodríguez, que llegó a la Nueva España en 1788, enviado por el rey como catedrático de minas en aquella materia para la cual resultara idóneo, de acuerdo al examen que realice el director general [Ramírez 1982, 25]. Tampoco el maestro de física, Francisco Antonio Bataller, pasó por el trámite de oposición a cátedra, y Elhuyar se limitó a solicitar su autorización al virrey [Ramírez 1982, 49; De Felipe 1993, 577]. Lo mismo sucedió con Andrés Manuel del Río, que llegó en 1794, contratado para la clase de mineralogía, después de declinar la de química. Al quedar la cátedra de química vacante, se propuso a Francisco Codón, pero al declinar se propuso en su lugar como interino a Luis Lindner [Ramírez 1982, 134]. Fue desde la muerte de algunos

de estos fundadores, a partir de 1800, que las plazas salieron a concurso, hasta que finalmente los criollos egresados del mismo colegio comenzaron a ocupar estos puestos.

Los maestros, además de impartir sus cátedras, participaron en exámenes de oposición y estuvieron obligados a presentar en un plazo no mayor de seis meses, memorias o disertaciones sobre su materia o algún aspecto relacionado con la minería. Sin embargo, salvo Bataller, que elaboró un texto de física, y Del Río que publicó su *Oricognosia*, no se tuvo ningún otro trabajo [Tamayo 1958, 34-35]

De Andrés José Rodríguez ya mencionamos que fue el primer maestro de matemáticas que ejerció una cátedra en el *Real Seminario de Minería* y el primero en dar un curso de cálculo en la Nueva España, lo que ocurrió durante el ciclo escolar de 1797 Francisco Antonio Bataller llegó a la Nueva España desde 1777 y fue nombrado profesor de física a partir de 1793 y hasta 1798, conjuntó una preparación académica sólida y una formación práctica de minero, muere en 1800 Si bien, originalmente, el curso se refería a dinámica e hidrodinámica, Bataller lo amplió considerando otros tópicos como: Estática o maquinaria, hidráulica, aerometría, óptica, dióptrica y catóptrica, como se desprende de su obra de cinco tomos [Ramírez 1982, 176; 1983, 136], *Principios de física matemática y experimental* [1802]; analizaremos esta obra con detalle más adelante.

A la muerte de Bataller, Salvador Sein fue contratado como profesor interino, su único antecedente académico antes de ingresar al seminario consistía en haber servido a la república en dos actos públicos. Detentó la cátedra hasta su muerte en 1804 En lo subsiguiente, Juan José de Oteiza y después Manuel Ruiz de Tejada se adjudicaron esta cátedra [Ramírez 1982, 158, 172]. Andrés Manuel del Río (1765-1849) fue uno de los personajes más sobresalientes del colegio, desde su primera clase en 1795 hasta su jubilación en 1849, poco antes de su muerte, ocupó los cursos de mineralogía. Influyó en la industria extractiva, en la formación de alumnos y en el trabajo directo de explotación, su obra *Elementos de Oricognosia* fue libro de texto del seminario; como científico y explorador de minas fue muy reconocido [Ramírez 1983, 41; Moreno de los Arcos 1978, 148; Izquierdo 1958, 234], ya hablamos de él en el primer capítulo con mayor amplitud.

Los alumnos

Elhuyar propuso normas generales para edad de ingreso, especificaciones de apoyo para los alumnos, el número mínimo de alumnos a ingresar y demás reglas. El 2 de enero de 1792, fecha oficial de apertura del *Real Seminario de Minería*, se registraron ocho alumnos, el cupo de veinticinco se completó hasta finales de marzo, el último alumno por circunstancias especiales fue Casimiro Chovell, quien estudió en San Carlos con Diego de Guadalajara, por lo que no tuvo ningún problema con las materias [Brading 1975, 228]. Chovell obtuvo un premio de aplicación y aprovechamiento en matemáticas, y para los primeros actos públicos sustentó el de geometría [Ramírez 1982, 107-110]. En 1792, aquellos primeros alumnos cursaron aritmética y trigonometría plana, aunque hubo deserciones y reemplazos. En 1793, esta primera generación se dividió en dos grupos, el de mejor aprovechamiento en los cursos de física (dinámica) con Bataller; y el otro grupo que tuvo que asistir a un segundo curso de matemáticas (álgebra, secciones cónicas y geometría práctica). Para 1794, varios alumnos de esta generación siguieron el segundo curso de matemáticas; y en 1795, diez de ellos tomaron el primer curso de mineralogía con Del Río. En 1796, el mismo profesor impartió las primeras clases de orictognosia, geognosia y laboreo de minas [Minería 1789-1800, 14].

A fines de 1797 inició las clases de química con Lindner, y para 1798, concluidos los estudios teóricos y el examen general, salió el primer contingente de diez alumnos, siete de los cuales ingresaron en 1792, dos en 1793 y uno en 1794. Al año siguiente egresaron los últimos cinco alumnos de la primera generación [Minería 1789-1800, 213]. Esta generación permaneció en el colegio seis años, tres más de lo previsto en el plan de 1790. Las siguientes generaciones dedicaron cinco años para sus estudios teóricos [López García 1992, 121-125].

Específicamente, para diciembre de 1793, esta primera generación terminó con los cursos de física y matemáticas; los alumnos que presentaron, por primera vez, examen de dinámica fueron: Francisco Blanco, Pedro Lizárraga, Casimiro Chovell y Felix Rodríguez. En diciembre de 1794, Francisco Bataller dirigió el examen de dinámica e hidrodinámica que presentaron los alumnos Manuel Cueto, Manuel Cotero, Francisco Álvarez de Coria y Andrés Ibarra. El examen se basó en la obra de Bails y los experimentos correspondientes

al tratado de las propiedades generales de Sigaud de la Fond; debían saber la forma de hacer experimentos con las máquinas en la mano [Ramos Lara 1994, 77; Minería 1789-1800, 188, 221].

En octubre de 1795, terminaron los cursos los alumnos Isidro Romero, Joseph Mantilla y Vicente Valencia, realizando un examen sobre física experimental con relación a los tratados de las propiedades generales de los cuerpos, de estática, dinámica, hidrostática, aerometría y óptica. Siguiendo la obra de Bails reprodujeron experimentos correspondientes a cada punto y explicaron la construcción de las máquinas. Este año también se establecieron varios premios para cada clase, que consistieron de una remuneración económica para los tres primeros lugares y, a veces, se les premió con libros o instrumentos [Ramos Lara 1991, 34; Ramírez 1958, 158; Minería 1789-1800, 226]

En diciembre de 1796, el término de los cursos presentaron examen de física experimental, Joseph María Vela y Felipe Obregón, sobre los tratados de las propiedades de los cuerpos, de estática, dinámica, hidrostática, aerometría y óptica. Al siguiente año, realizaron los actos públicos de física experimental: Silvestre Osoreo, Felipe Obregón y Joseph María Vela. Donde Silvestre disertó sobre las propiedades de los cuerpos, de estática, dinámica, hidrostática, hidráulica y aerometría, conforme a los tratados formados por el catedrático; y los demás alumnos fueron examinados sobre las materias del año pasado, es decir, sobre óptica, propiedades generales del calórico, electricidad, magnetismo, meteorología, astronomía y sistemas planetarios [De Felipe 1993, 585]

Para 1798, presentaron exámenes de física experimental Joseph Mariano Ximénez y Miguel Álvarez Ruiz, dando razón de las propiedades generales de los cuerpos, de estática, dinámica, hidráulica y aerometría, conforme a los tratados de estas materias que ha formado el catedrático. En 1799, salieron los siguientes alumnos a trabajar en las minas: Vicente del Moral, Vicente Castañeda, Santiago Usabiaga, Francisco Echeverría e Isidro Romero. En la clase de física de este año sólo hubo un alumno Joseph María Villasante, porque nadie más pasó los exámenes de matemáticas [Ramírez 1982, 150].

Para el año de 1800, Salvador Sein dirigió un acto público de física a los alumnos José Ignacio Dovalina y José Mariano Reyes. Así mismo, en 1801, presentan Joseph María Salinas y Miguel María Hosta, exponiendo las propiedades generales de los cuerpos, los principios de dinámica, hidrodinámica y aerometría, y algunas nociones de óptica, electricidad y magnetismo [Minería 1801-1808, 66; Ramírez 1982, 175]. En 1802, presentaron el examen de física, Juan José Rodríguez y Manuel de Llera, sobre los principios del cálculo diferencial e integral; aplicando el cálculo diferencial a tangentes, subtangentes, normales y subnormales de las primeras curvas y a la determinación de máximos y mínimos. En particular, emplearon el cálculo diferencial en varios casos geométricos y a otras situaciones de mecánica, como calcular la longitud máxima de una palanca, el radio del tambor en el torno, el ángulo de proyección y la velocidad de un plano en el choque de fluidos. Del cálculo integral, hicieron igualmente aplicaciones a las cuadraturas de las cónicas, la rectificación de la periferia de la circunferencia, la solidez de las conoides de revolución sobre sus ejes, la superficie esférica y los centros de gravedad. Así mismo, demostraron su destreza sobre las propiedades generales de los cuerpos, estática, dinámica, hidrodinámica y aerometría, con algunas nociones de óptica, electricidad y magnetismo [Minería 1801-1808, 78; Ramírez 1982, 186].

Dos alumnos distinguidos de la primera generación, Manuel Ruíz de Tejada y Manuel José Coteró, fueron contratados como ayudantes de clase una vez que completaron su preparación teórica y práctica. Ambos se desarrollaron brillantemente como catedráticos del plantel, el primero de matemáticas y de física, y el segundo de química [Humboldt 1978, 391]. Otro alumno, aunque no de la primera generación, fue José de Oteiza, quien fuera interino de matemáticas y colaboró en forma cercana con Del Río [Ramírez 1983, 34-35]. De las áreas de matemáticas y física, fueron los más sobresalientes.

Los maestros mexicanos de matemáticas y física

Hablar de maestros nacidos en la Nueva España que fueron profesores de matemáticas y física en el *Colegio de Minería* implica referirse, en la mayoría de los casos, al siglo XIX, ya que es hasta alrededor de 1805 que esto se puede documentar, y que de hecho las plazas salen a concurso sin la limitante de ser de origen español para ocupar una plaza. Un rasgo característico de los maestros de matemáticas fue la gran movilidad del personal del

segundo curso de dicha asignatura. En el primer curso de matemáticas permaneció Manuel Castro durante casi cincuenta años (1805-1854) Adelantado el siglo XIX, los catedráticos del colegio, y principalmente algunos de matemáticas, alternaron la función docente con tareas administrativas del plantel, además formaron parte de la junta facultativa y llegaron a ocupar puestos importantes de la administración pública; ejemplo de ello fueron: Blas Balcarcel, el sobrino nieto de Joaquín Velázquez de León, que lleva el mismo nombre, y Joaquín Mier y Terán [Castera 1841, 172] Mencionemos brevemente algunos de los profesores sobresalientes del colegio:

Manuel Ruiz de Tejada: Desde 1805, Manuel Castro atendió el primer curso de matemáticas, y el segundo estuvo a cargo de Manuel Ruíz de Tejada. A propuesta de este último, los contenidos matemáticos del primer curso fueron aritmética, geometría elemental y trigonometría plana. El segundo curso se integró con álgebra, secciones cónicas, cálculo infinitesimal y geometría práctica. En 1807, al primer curso, se agregó álgebra hasta ecuaciones de segundo grado; y al segundo curso, aplicaciones del álgebra a la geometría [Bargallo 1966, 135]

Manuel Ruiz ofreció una vida totalmente dedicada a la institución; fue el primero que recibió el título de Perito Facultativo de Minas, participó activamente en eventos del colegio y ocupó un lugar sobresaliente en la vida pública. En 1802, sugirió que se designaran dos catedráticos de matemáticas, y que la enseñanza del cálculo pasara al segundo curso de matemáticas, disciplina que estaba en el tercero como introductorio al de física. Esta propuesta se concretó hasta que en 1805 obtiene la cátedra de manera definitiva, era interino desde 1803. Fue maestro de muchos personajes sobresalientes, entre otros de Francisco Díaz Covarrubias, ingeniero, geógrafo y astrónomo connotado, primer autor de un libro de texto de *Análisis trascendente* (cálculo) que se utilizó posteriormente como libro de texto en la *Preparatoria Nacional de México* [Solana 1982, 136-37].

Joaquín Ramírez Rojas y Cástulo Navarro (1811-1850): No hay precisión en cuanto a quién ocupó inmediatamente el segundo curso de matemáticas en 1810, cuando lo dejó Manuel Ruiz de Tejada para hacerse cargo del tercero de física. Pero, en 1811, fue nombrado como ayudante de clase Joaquín Ramírez Rojas, y fue hasta 1819 que se le

otorgó la propiedad de la cátedra del segundo curso. En la misma fecha se le otorgó a Castro la propiedad del primero. Ramírez Rojas aplicó con notable éxito sus conocimientos en el *Mineral de Taxco* [Ramírez 1982, 254-55]. Cástulo Navarro fue discípulo de Castro y catedrático del segundo curso de matemáticas y de física, perteneció a la *Sociedad de geografía y estadística* en 1824 e ingresó a la comisión de límites entre el Estado de México y el Distrito Federal.

Durante el periodo de las guerras de independencia (1810-1821), el funcionamiento del colegio fue muy irregular. La planta básica estuvo integrada por: Elhuyar como director, Castro como catedrático del primer curso de matemáticas, Ramírez Rojas del segundo de matemáticas, Ruiz de Tejada del curso de física, Cotero de la asignatura de química y Andrés del Río de los cursos de mineralogía y de oritocnosia. De ellos, sólo Elhuyar y del Río eran españoles, los demás fueron formados en el plantel [Castera 1841, 170; López García 1992, 137]

Blas Balcarcel (1851-1867): De las convocatorias que aparecieron en septiembre de 1850, se desprende que el segundo curso de matemáticas consistió de geometría analítica, trigonometría esférica, geometría descriptiva, cálculo infinitesimal y mecánica racional. En 1851, el curso fue ganado por Balcarcel, quien desde 1846 fue prefecto de estudios y profesor de geometría [Castera 1841, 171]

Joaquín Mier y Terán (1854-1867): A la muerte de Castro en 1854, Mier y Terán se hizo cargo del primer curso de matemáticas. Para 1854, fue doctor en filosofía por la *Real y Pontificia Universidad de México* e integró el claustro de doctores de la sección de física y matemáticas. A partir de este año comenzó su carrera de maestro de matemáticas, dando su primer curso en Minería. En 1855, agregó a la clase de matemáticas la geometría descriptiva. En 1856, fue profesor de geometría analítica, principios de cálculo y arquitectura rural en la escuela de Agricultura [Sosa 1884, 1007]. En ese mismo año, apareció en San Carlos a cargo de la cátedra del segundo curso de matemáticas, que incluyó álgebra superior y cálculo, la cual mantuvo hasta 1866.

Como egresado de Minería, recibió varias comisiones oficiales importantes. En sociedad con el ingeniero Francisco Martínez Chavero, tradujo del francés y adaptó a los

colegios de la República, parte de las obras matemáticas de Bourdon y de Vincent. De este trabajo se conocen por lo menos tres ediciones: 1858, 1862 y 1869. Estos libros de texto fueron usados en la *Escuela Nacional Preparatoria* hasta 1869 [López García 1992, 140-42]. En 1864, formó parte de la Comisión científica, literaria y artística de México, fue presidente de la Sociedad de Matemáticas y Mecánica de la misma, y realizó varias observaciones astronómicas [Sosa 1884, 1009]

Algunos de los alumnos del colegio que realizaron trabajos de minería importantes fueron [Larroyo 1982, 193-200]: Casimiro Chovell, quien dirigió la importante negociación de la Valenciana, en cuyo puesto lo sorprendió la Guerra de Independencia, a la que consagró su inteligencia, sus trabajos y su vida. Vicente Valencia descubrió el medio de evitar la pérdida del mercurio que causa el beneficio del patio Miguel Herrera, catedrático de química que descubrió la fotografía al mismo tiempo que en Europa. Joaquín Velázquez de León, del que ya mencionamos que es sobrino del primer director de minería que lleva el mismo nombre, director del colegio, fundador del Ministerio de Fomento, creado el 22 de abril de 1853. José L. Bustamante, alumno de brillante capacidad y catedrático de matemáticas. Ignacio Alcocer, como naturalista se le debe el descubrimiento de la esmeralda en México y como minero, el de la bonanza de *La Luz* que dio nueva vida a Guanajuato. José Sebastián Segura, a cuya pericia se debió la restauración del *Mineral de Pachuca*. Miguel Velázquez de León, que fundó, organizó, reglamentó y dirigió la *Escuela Práctica de Minas*. Son tan sólo una muestra de ese espíritu científico que se manifestó en el colegio y en los múltiples problemas que resolvieron en beneficio de la Nueva España.

2.3 LA INSTITUCIONALIZACIÓN DE LA FÍSICA Y LAS MATEMÁTICAS EN EL COLEGIO DE MINERÍA

Como manifestamos a lo largo del primer capítulo, tanto en algunos colegios jesuitas como en la *Real y Pontificia Universidad de México*, se impartieron lecciones de ciencias, se estudió a Bacon, Newton, Leibniz, Guericke, Nollet y Boyle, entre otros. Esto se deduce de las diversas citas que los aluden, pero no solamente como referencia, sino por los estudios que en base a ellos se desarrollaron y de los que hemos tratado brevemente. Sin duda, la apertura que brindaron estas escuelas para la introducción y consolidación de las teorías científicas innovadoras fue de vital importancia. Sin embargo esa disposición nunca se vio

reflejada en los planes y programas de estudio institucionales, mientras que, por el contrario, los colegios de nueva creación a finales del siglo XVIII, en particular en el *Colegio de Minería*, si lo llevaron a cabo.

En especial, el interés por la física experimental llevó a algunos novohispanos no sólo a consultar textos, tanto de difusión como especializados, sino también a escribir algunas lecciones, cursos, e incluso tratados esencialmente relacionados con la mecánica newtoniana. Respecto a los aspectos prácticos, fue la época en la cual la explotación minera se convirtió en una de las actividades favorecidas; esto se reflejó en múltiples documentos de la época y en la misma creación del *Seminario de Minería*. Por ejemplo, Elhuyar decidió pagarle a Francisco Antonio Bataller por escribir un libro de texto para el curso de física: *Principios de Física Matemática y Experimental*, cuyo contenido fuera esencialmente de física aplicada a la minería; libro que analizaremos más adelante. Este fue uno de los intereses de la institución, dotar del material adecuado para la enseñanza de la física y las matemáticas acordes al contexto de la minería.

A principios del siglo XVIII, surgieron obras científico prácticas que pretendieron resolver problemas técnicos mineros con ayuda de las teorías científicas, como los de Joseph Saenz [1749], que con ayuda de las matemáticas buscó dar solución a los problemas de minas, aguas y tierras; o la de Francisco Javier Gamboa, en la que propuso reformas jurídicas y económicas, además de sugerencias científico técnicas, para mejorar el estado de la minería. Se considera, por tanto, la idea de cultivar además de la ciencia aplicada, la ciencia pura que permita continuar dando sustento teórico a la actividad práctica. Desde ese primer proyecto, los ilustrados novohispanos estimaron la enseñanza de la física experimental y de las matemáticas como auxiliares de otras disciplinas [Ramírez 1982, 891]. En general, la tendencia de los científicos novohispanos fue aplicar la ciencia de forma práctica para solucionar problemas reales de la actividad minera mexicana, e incluso en otros ámbitos

El *Colegio de Minería*, en 1792, se convirtió en la primera institución en México que enseñó oficialmente física y matemáticas. Para impartir las cátedras en el colegio fue necesario contar con un laboratorio, una biblioteca y un libro de texto. En particular, para la

clase de física el laboratorio fue indispensable, debido a que esta disciplina destaca precisamente por su carácter experimental [Ramos Lara 1994, 68]. Se tienen los reportes de la serie de instrumentos que fueron solicitados, aunque no aparece documentada la forma en que los usaron. Se pidieron a España los materiales e instrumentos para las primeras clases, entre ellas las obras de Bails y cincuenta estuches de matemáticas y materiales de dibujo [Ramírez 1982, 80]. Para la lista de instrumentos, ya hemos mencionado que Elhuyar se basó en la obra de Sigaud de la Fond, ya que este autor indicó las máquinas e instrumentos más simples y perfectos que hasta esa fecha se habían inventado para el uso de los cursos de física [Minería 1789-1800, 14].

En 1797, la clase de matemáticas sufrió un cambio en el programa. Además de lo que se enseñó, se introdujo el cálculo infinitesimal (diferencial e integral) [Minería 1789-1800, 144] y para la clase de química se tradujo el libro de Lavoisier. En 1798, Elhuyar expresó la dificultad de traer profesores de España a México. Además, propuso la creación de plazas para ayudantes [Libro de Cuentas 1798]. Para 1800, hubo un cambio de contenido en la clase de física, se introdujo el cálculo diferencial e integral a la mecánica, y nociones generales de electricidad, óptica y astronomía [Minería 1789-1800, 275]. Todo ello corresponde a la parte formal del análisis que se realizará en el siguiente capítulo.

En marzo de 1803, llegó Alejandro de Humboldt a México. Durante su estancia, de un año, asistió a clases del colegio, colaboró con los catedráticos y arregló varios instrumentos descompuestos. Realizó numerosas observaciones, elaboró trabajos sobre mineralogía, geología, geografía, entre otras, y levantó cartas del territorio; así como la redacción de sus memorias y la documentación de los diversos trabajos que llevó a cabo [Izquierdo 1958, 54]. Se le pidió que vendiera sus instrumentos, algunos libros y utensilios al colegio, ya que en el caso de los instrumentos fueron de los más nuevos y perfectos en su construcción [Minería 1801-1808, 138].

Estos elementos nos proporcionan una idea de la parte formal: Maestros, planes de estudio y libros de texto, entre otros, como forma de constatar la institucionalización de las matemáticas y la física en el *Colegio de Minería*. Este recinto fue la institución más abierta no sólo a las teorías científicas contemporáneas, sino en particular a la obra newtoniana

Así, analizar la influencia de Newton en los trabajos de científicos novohispanos requiere el seguimiento del uso de la mecánica newtoniana en esta institución, y, en particular, en los agentes de cambio que lo introducen (principalmente libros de texto) y desarrollan a través de sus obras. Esto último será la parte indirecta de la institucionalización de la física y las matemáticas newtonianas en la Nueva España, y será realizada a continuación. La mecánica newtoniana fue necesaria para comprender el funcionamiento de varios instrumentos y máquinas útiles para la minería; para su estudio se usaron libros europeos de gran renombre, como los de Muchenbroek, S'Gravesande, Sigaud de la Fond, Nollet y Bails. Los cuatro primeros conocidos divulgadores de las teorías newtonianas, y el último, un libro de texto que indirectamente transmite también el pensamiento newtoniano; por lo que tenemos nuevamente una forma indirecta de influencia newtoniana.

Lo que se enseñó de física experimental en el *Seminario de Minería*, no sólo estuvo en función de los libros de Muchenbroek, S'Gravesande y Nollet, al igual que en otras partes del mundo, sino que respondió a las necesidades de la Nueva España. Bataller, aparte de consultar los libros de estos autores, también se refirió en sus tratados a Newton, Leibniz, Boyle, Lavoisier, Hook, Huygens, Bernoulli, Torricelli, Pascal, y Halley, entre otros, sin que su libro de texto fuera una copia o resumen de la de los científicos mencionados, lo que nos indica que existe una labor intelectual a rescatar y será parte del siguiente apartado. Incluso consultó los textos de autores que continuaron haciendo investigación en mecánica y que no tuvieron amplia difusión en Europa, como Euler, D'Alembert y Lagrange. Arboleda [1987, 16-17] menciona que para la difusión de la física experimental en Europa influyeron principalmente los textos de Muchenbroek, los *Elémenta physicae* de 1734 y, particularmente, la *Introductio ad philosophian naturalem* de 1763 (que tuvieron también amplia difusión en América); de S'Gravesande los *Physices élémenta mathématique expérimentis confirmata* [1721] y los *Philosophiae newtonianae institutiones in usus académicos* [1723]; las famosas *Leçons de physique expérimentale* de Nollet [1798]; y el *Dictionnaire de physique portatif* del padre Paulian de 1758; de estos libros ya hemos mostrado su tendencia hacia la filosofía newtoniana

Así, el *Colegio de Minería* fue la primera institución en la Nueva España en impartir un curso de cálculo infinitesimal (diferencial e integral), del que más adelante analizaremos

su contenido y su foco de influencia, que también será newtoniana a través de la obra de Bails. De entre los profesores, Bataller y Del Río, son ejemplos de que el proceso de influencia del pensamiento newtoniano paso de ser de difusión para conformarse en el de producción científica propia; lo que se vio reflejado en su actividad práctica y en sus obras.

Al igual que en San Carlos, la influencia de las teorías newtonianas en Minería, se ve reflejada en los contenidos a examinar por los profesores en los actos públicos. El material bibliográfico (revistas, libros y tratados, entre otros) y de laboratorio que se manejó en el seminario, son muestra también de la utilización de las teorías científicas con fines prácticos, así como una patente del tipo de física y matemática que se enseñó y aplicó en la institución; y de manera directa, una señal de la influencia de Newton en ella.

2.4 FRANCISCO ANTONIO BATALLER Y LA ENSEÑANZA DE LA MECÁNICA NEWTONIANA EN EL SEMINARIO DE MINERÍA

Francisco Antonio Bataller (1751-1800) fue alumno y posteriormente catedrático de matemáticas del *Colegio de Reales Estudios de San Isidro de Madrid*, en esta institución aprendió física y matemáticas, desde la aritmética hasta el cálculo infinitesimal. En 1777, viajó a la Nueva España para encargarse de varios trabajos mineros. Bataller fue designado para ocupar el puesto de profesor de física en *el Seminario de Minería* en 1791, pero fue hasta 1793 que se abrió el curso de física a su cargo y se construyeron aparatos para la clase. Por un convenio con el carpintero Pedro de Chause y el herrero Antonio Vecino, se compraron otros instrumentos a Diego de Guadalajara y se mandó pedir la *Física Experimental* de Muchenbroek y la *Física Teórica y Experimental* de Sigaud de la Fond [Moreno de los Arcos 1985, 112; Izquierdo 1958, 44]

Al terminar los cursos de física y matemáticas en 1793, los alumnos presentaron examen sobre dinámica. Para 1794, Bataller compró espejos, vidrios de cristal, un *Tratado de Geometría Subterránea* y *Tratados de Física*. Al finalizar los cursos, en diciembre, los alumnos presentaron examen sobre dinámica e hidrodinámica. Al año siguiente, el catedrático inició la redacción de un libro de texto para la enseñanza de la física especialmente para los alumnos de Minería. En este periodo, se impartió, como parte de la materia, contenidos de hidrostática, aerometría, estática, dinámica y óptica. En octubre se

realizaron los actos públicos sobre las materias correspondientes y las propiedades de los cuerpos y, finalmente, en 1796, al terminar el curso, los alumnos presentaron examen sobre estos mismos temas. En el mes de octubre de 1797, se realizaron actos públicos de física, los alumnos disertaron sobre las propiedades generales de los cuerpos, dinámica, estática, hidráulica, hidrostática, aerometría, electricidad, magnetismo, meteorología, astronomía, sistemas planetarios, óptica y propiedades generales del calor. Para 1798 se abrieron los cursos de óptica, electricidad, astronomía y cálculo infinitesimal [Espinoza Sánchez 1994, 100-101; Minería 1789-1800, 119, 138, 144]

Francisco Antonio Bataller dictó a un escribano los cuatro volúmenes de sus *Principios de Física Matemática y Experimental*, quedando sólo como manuscrito pues la obra nunca fue llevada a la imprenta. Aparece fechada en 1802, pero fue terminada mucho antes, ya que Bataller muere en 1800. Usó el manuscrito, por ejemplo, para explicar las teorías ópticas del momento de forma teórica en el aula, la corpuscular de Newton y la ondulatoria de Huygens y Euler, mientras que en el laboratorio desarrolló los experimentos como los contempló en el texto a través de diagramas. La obra consta de cuatro tratados que llevaron por título: *I. Tratado de las Propiedades de los Cuerpos*, *II. Tratado de Mecánica de Sólidos*, *III. Tratado de la Hidrodinámica* y *IV. Tratado de la Óptica* [Libro de cuentas 1793]. Ninguno de ellos fue una traducción o intento de copia de algún libro. En ellos aparte de explicar la teoría, algunas veces hizo comprobaciones de los experimentos. Además, resolvió ejercicios tanto conceptuales y matemáticos, como prácticos, principalmente relacionados con problemas de la minería. Describió las ideas principales de autores destacados, con la finalidad de explicar las diversas opiniones respecto a una misma teoría. Veremos, a continuación, parte de los contenidos de cada tratado.

Tratado I: De las propiedades de los cuerpos.

Dentro de este tratado Bataller hizo referencia a diversos autores como: Newton, Muchenbroek, S'Gravesande, Linneo, Leibniz, Tosca, Purchot, Descartes, Boscovich, Sauri, Boyle, Hales, Priestley, Lavoisier, Laplace, Werner, Lewenhoek, Malpighy y Hook, entre otros, sin que fueran sólo alusiones a sus trabajos o copias expositivas de sus teorías, esto nos da la idea de que Bataller más que redactar un libro copiando de otros, tuvo que haber entendido primero sus ideas para poder extraer, resumir y criticar lo que presentó

[Trabulse 1994, 145]. El contenido de este primer tratado es el siguiente [Bataller 1802a, 10]: 1. Del espacio, del lugar, del tiempo y del movimiento; 2. Del vacío; 3. De la existencia o esencia de los cuerpos; 4. De los principios o elementos del cuerpo; 5. De la porosidad de los cuerpos; 6. De la impenetrabilidad y de la inercia de los cuerpos; 7. De la atracción y coherencia de los cuerpos; y 8. De la división o divisibilidad de la materia.

En este primer tratado sobre las propiedades de los cuerpos, analizó y definió diversos conceptos como espacio, lugar, tiempo, movimiento, extensión, figura, porosidad, impenetrabilidad, inercia, atracción y adherencia, divisibilidad y vacío. Respecto al vacío, afirmó que las bombas hidráulicas, comúnmente usadas para desaguar minas, y las jeringas funcionan gracias al principio del vacío. Bataller reflexionó sobre la existencia del vacío, probada por Newton y otros autores que le han precedido, pero ante las dudas que sobre esto se tuvieron, lo dejó establecido como una hipótesis [Bataller 1802a, 11]. En el cuarto apartado que trató de los principios o elementos de los cuerpos, el autor los divide en primarios (los que ya no se pueden descomponer) y en secundarios (que se pueden separar en elementos). Sobre los principios primarios, explicó las opiniones de varias personas incluyendo las de Newton, consideró a este último un atomista y no comparte su opinión. Argumentó que mientras que para Newton los principios primarios de los cuerpos son unas partículas esféricas pequeñísimas e indivisibles, para él la dureza de las primeras partículas de la materia no se puede suponer perfecta, o infinita, ya que esto se opone a los principios que se han supuesto [Bataller 1802a, 53-54]; otro punto donde tampoco coincidió con Newton fue sobre la porosidad [Bataller 1802a, 93-94].

En el séptimo apartado, que se refirió a la atracción a grandes distancias, Bataller encontró que se prueba por razones fundadas en principios matemáticos y en observaciones astronómicas, como puede verse en la obras de Newton. También nuestro autor coincidió con Newton cuando trató sobre el giro de los planetas con sus satélites alrededor del Sol por acción de la gravedad. Bataller afirmó que por la misma razón que la Tierra se mueve alrededor del Sol, según el sistema de Copérnico y de Newton, es indispensable que la Luna sea atraída por la Tierra causando las mareas [Bataller 1802a, 138-142]. Mientras que cuando trató el tema de la historia del descubrimiento de la gravedad hizo un recorrido desde los griegos hasta Copérnico, Galileo, Kepler y Newton; mencionó que éste último fue

el primero en demostrar la existencia de la gravedad [Bataller 1802a, 142-144]. En el octavo apartado, describió las opiniones de varios autores sobre si la materia es o no divisible desde los griegos hasta Leibniz, Newton, Boscovich y otros.

Cuando Bataller estudió las leyes de atracción de Newton –la ley de que la atracción que se ejerce en razón directa de las masas, e inversa de los cuadrados de las distancias–, advirtió que los experimentos mostraron que esto se podía verificar muy bien a grandes distancias pero que no correspondía con exactitud en distancias cortas. Por esta razón sugirió establecer la razón inversa de los cubos de las distancias como resultado, o alguna otra razón más alta. Mientras que cuando habló de la razón inversa de los cuadrados de las distancias, corrigió que para que un cuerpo se mueva en una elipse en virtud de la fuerza centrípeta y de la centrífuga, es necesario que se siga esta ley [Bataller 1802a, 152-156]; y de esta manera sigue tratando conceptos referentes al estudio de los cuerpos y su movimiento, indicando coincidencias y desacuerdos con lo establecido por Newton.

No todos los conceptos que definió Bataller en esta parte son los mismos que definió Newton en el primer libro de los *Principios*. Al igual que Gamarra, Bataller inició de la misma manera que el resto de las obras de la época, entre ellas las de Nollet [1783], Muchembroek [1796] y S'Gravesande [1746], con las definiciones de los conceptos que más adelante usará.

Tratado II: De la mecánica de los sólidos

En este segundo tratado, estudió la mecánica de los cuerpos sólidos tanto en reposo como en movimiento, y consta de las siguientes secciones: 1. De los principios generales del movimiento; 2. De las leyes del movimiento uniforme; 3. Del movimiento variado, y con especialidad del movimiento uniforme acelerado y retardado aplicado al descenso de los cuerpos graves; 4. Del movimiento compuesto; 5. Aplicación de las leyes del movimiento para determinar los centros de las fuerzas y los centros de gravedad; 6. Aplicación de las leyes del movimiento compuesto al equilibrio de las máquinas; y una última parte dedicada a la balanza con una serie de artículos: de la balanza romana, de la garrucha o polea, del torno o eje peritrochio, del plano inclinado, del tornillo y de la cuña [Moreno de los Arcos 1985, 113].

Al igual que Newton en los *Principios*, Bataller comenzó definiendo los conceptos que va a necesitar como fuerza, velocidad, masa, distancia y tiempo, para llegar a las tres leyes fundamentales del movimiento: De la inercia, de las causas y efectos, y de la acción y la reacción. Con las cuales explicó el movimiento uniformemente variado, descenso libre, movimiento compuesto, encontró los centros de fuerza y centros de gravedad, y por último aplicó las leyes del movimiento compuesto al equilibrio de las máquinas simples. Analizando las definiciones es posible ver la paridad con respecto a las definiciones establecidas por Newton [Ramos Lara 1994, 86-87]. Enunció las leyes del movimiento, que coinciden con las newtonianas, aunque no las denominó así [Bataller 1802b, 1]:

Ley I: Ningún cuerpo puede determinar por sí al movimiento o al reposo, y por consiguiente debe perseverar en su estado de reposo o de movimiento uniforme a no ser que alguna potencia lo haga mudar de estado

Ley II: Los efectos son proporcionales a las causas, esto es, si una causa o efecto F produce un efecto E cuando la causa resulte ser $(M)(F)$ producirá un efecto $(M)(E)$ donde M es la masa

Ley III: La reacción es siempre igual y contraria a la acción

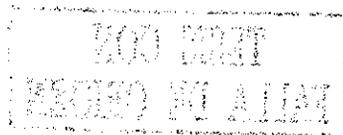
Mientras que en los *Principios Matemáticos de Filosofía Natural* de Newton aparecen como las presentamos en el capítulo anterior, nótese la similitud:

Ley I: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado.

Ley II: El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime

Ley III: Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.

Bataller [1802a, 2] definió la mecánica newtoniana o *taxonomía* como la ciencia físico-matemática que trata de la naturaleza y propiedades del equilibrio de los cuerpos. Como los cuerpos se dividieron en sólidos y fluidos, la mecánica se dividió entonces en dos, una que trató del movimiento de los sólidos, y otra del que corresponde a los fluidos, esta última llamada hidrodinámica. La mecánica de los sólidos se dividió a su vez en estática y



dinámica. La estática o maquinaria es lo que abarca todo lo perteneciente al equilibrio de las fuerzas y, por consiguiente, al movimiento libre de los cuerpos [Bataller 1802a, 1-3]. Toda la física que el español desarrolló en este tratado, la aplicó al final, donde utilizó las leyes del movimiento para el estudio del equilibrio de las siguientes máquinas simples [Bataller 1802a, 5]:

- a) Funicular: Aquella en que sólo se hace uso de cuerdas para sostener un poco, y contrarrestar el esfuerzo de varias potencias.
- b) Palanca: Una barra de cualquier figura que descansa sobre un punto de apoyo (hipomoclio) que es el centro de movimiento de la palanca, de modo que las fuerzas aplicadas sobre ella no pueden darle otro movimiento que el de rotación alrededor de otro punto (figura 1, página 155).
- c) Balanza: Máquina compuesta de la palanca *AB* llamada cruz, en cuyos extremos cuelgan por medio de cordones dos platillos *C* y *D*, donde se ponen los cuerpos que queremos para equilibrarlos con un peso conocido (figura 2).

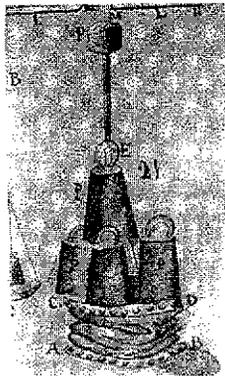


Figura 1
Palanca o fuelle hidráulico

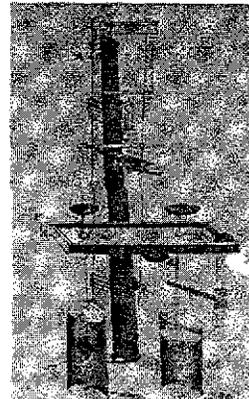


Figura 2
Balanza hidrostática

- d) Balanza romana: Sirve para pesar objetos de gran tamaño, de modo que no pueden pesarse en la balanza ordinaria. Es una palanca de primera especie, de brazos desiguales.
- e) Garrucha o Polea: Es un cilindro de poco grueso y de diámetro arbitrario.
- f) Torno (o eje de peritrochio): Es un eje que gira obligado por una palanca y por las potencias que se le aplican.

- g) Plano inclinado: Es aquel que forma ángulos oblicuos con el horizonte
- h) Tornillo: Consta de dos piezas, una que se denomina el tornillo y otra llamada tuerca.
- i) Cuña: Es un prisma triangular hecho de una materia dura, cuyo fin es partir o rajar, mantener separados dos cuerpos, comprimir y sujetar unos con otros y algunas veces sirve para levantar pesos.

El estudio de las máquinas simples fue importante porque las máquinas que se manejaron en ese tiempo, fueron producto de una combinación, algunas veces compleja, de las máquinas simples. Sin embargo, el estudio de las máquinas e instrumentos en general fue importante porque se consiguió mayor rendimiento con un menor esfuerzo. En la segunda mitad del siglo XVIII, los novohispanos comprendieron la utilidad de los diversos tipos de máquinas e instrumentos, tanto en la vida cotidiana como en cualquier tipo de trabajo o labor. Como se mencionó, Bartolache difundió diversos tipos de instrumentos útiles a la medicina (como el termómetro y el barómetro), Alzate mostró a través de sus revistas el gran beneficio económico que la Nueva España logró al introducir máquinas en diversas áreas de trabajo, y Velázquez de León fue de los primeros que inventó algunas máquinas y sistemas para el servicio de las minas [Ramos Lara 1994, 81]. Bataller, a diferencia de los novohispanos mencionados, primero hizo un tratamiento físico matemático que le dio acceso al funcionamiento de las máquinas y después explicó para qué servían y cómo se utilizaban. Esto permitió, por una parte, que algunas máquinas e instrumentos que no podían ser comprados o traídos de Europa, se construyeran en la Nueva España con la misma calidad tanto de diseño como de función y precisión, que en cualquier otro país [Trabulse 1994, 145]. Humboldt [1978, 81] al respecto manifestó:

La *Escuela de Minas* tiene un laboratorio químico, una colección geológica clasificada según el sistema de Werner, y un gabinete de física, en el cual no sólo se hallan preciosos instrumentos Ramsden, Adams, Le Noir y Luis Berthaud, sino también modelos ejecutados en la misma capital con la mayor exactitud, y de las mejores maderas del país

La física que utilizó Bataller para explicar el funcionamiento de las máquinas fue claramente newtoniana. Como señalamos, la mecánica que incluye las leyes del movimiento de Newton se utilizaron para determinar el equilibrio de las máquinas simples, máquinas que se utilizaron desde la construcción de un reloj o de un molino para

aprovechar el viento, hasta complejos mecanismos de desagüe de minas. La parte de la mecánica newtoniana que mayor trascendencia tuvo en el seminario de minas fue la hidrodinámica [Humboldt 1978, 81; Ramos Lara 1994, 89]

El segundo tratado, consistió esencialmente del material que Newton manejó en el primer libro de sus *Principios*, ambos hablan de las leyes del movimiento. Bataller no lo hizo en el mismo orden y de la misma manera que Newton, sino que sintetizó el material de varias obras que también difundieron la mecánica newtoniana. Siguió el mismo orden que los libros de Nollet y Sigaud de la Fond, ya que los de Muchenbroek y S'Gravesande fueron más teóricos.

Tratado III: De la hidrodinámica

Esto es, de la naturaleza de los fluidos y de sus movimientos. Constó de tres partes: la primera parte correspondió a la hidrostática o equilibrio de los fluidos; la segunda parte de la hidráulica o movimiento de los fluidos; y la tercera parte de la aerometría, esto es, del movimiento y propiedades del aire y de los fluidos elásticos y compresibles. El contenido de la primera parte es el siguiente [Moreno de los Arcos 1985, 113]: 1. De la fluidez y del equilibrio de los fluidos; 2. De la presión que hacen los fluidos en las vasijas donde se hallan contenidos; 3. De la presión que padecen los fluidos en los tubos comunicantes; 4. De la presión que padecen los cuerpos sólidos metidos dentro de los fluidos; 5. del uso de la balanza hidrostática y del areómetro o pesalicores, para averiguar la gravedad específica de los cuerpos y 6. De la variación que padece el equilibrio de los fluidos en los tubos capilares y en otros casos. Mientras que la segunda parte se constituye de: 1. del movimiento y velocidad de los fluidos al salir de los depósitos donde están; 2. Del choque o percusión de los fluidos y de la resistencia de los intermedios y 3. Aplicación del choque o fuerza del agua al movimiento de las máquinas. La tercera parte está formada por: 1. De la fluidez o naturaleza del aire; 2. Del peso y gravedad del aire y de otros fluidos aeriformes; 3. Del resorte o elasticidad del aire; 4. De la condensación y rarefacción del aire por causa del calor y el frío y 5. Explicación de varios instrumentos o máquinas cuyo efecto pende del peso del aire, de su elasticidad o de su rarefacción ocasionada por el calor

Bataller comenzó por la definición de Newton de un fluido, sacada de sus *Principios*: un fluido es como un 'agregado de partículas, o cuerpecillos que ceden a la mayor fuerza, y cediendo se mueven en todas direcciones'. Aquí Bataller se preguntó si las partículas de los fluidos son sólidas e inalterables, y cómo se manifiesta esto en los instrumentos que sirven para medir varios fenómenos, como el agua en el instrumento llamado martillo de agua y el azogue en la parte superior del barómetro, ya que al dar un golpe emiten sonidos como si fuesen sólidos.

Bataller se refirió a la variación que sufre el equilibrio de los fluidos en los tubos capilares, mostró que aún no se había encontrado una explicación convincente de los efectos de los tubos capilares con líquidos, considerando la explicación de Newton como la más adecuada [Bataller 1802c, 98]. En relación al comportamiento de los fluidos, Bataller [1802c, 157] advirtió que las teorías acerca de las resistencias generadas por la gravedad no son completamente satisfactorias, por lo que recurrió a la experiencia valiéndose de los péndulos ya que la regularidad de sus movimientos da mayor exactitud. Pero con todo esto, no resultó que las resistencias sean como los cuadrados de las velocidades, que fue la afirmación de Newton, pues aunque esto se verificó en las oscilaciones grandes, no resultó así en las pequeñas.

Estas secciones son importantes ya que nuestro autor relacionó las propiedades de los cuerpos con su utilización en diversos instrumentos, lo que más tarde usó cuando trató sobre las máquinas empleadas en la minería. Lo englobado en el tercer tratado, la parte de hidrostática e hidráulica, se encuentra en el segundo libro de la obra de Newton. El contenido no es exactamente el mismo, pues Bataller tocó puntos que Newton no mencionó, y viceversa. Además, la tercera parte del tratado que se refirió a la aerometría o estudio del aire como un fluido, no viene en la obra de Newton. En este apartado Bataller describió varios experimentos. Este tercer tratado se parece mucho en su estructura y en su dinámica, principalmente experimental, al libro de Cotes [1747]; definitivamente no es una copia de este, sin embargo parece haberse guiado más por este texto que por otros [Ramos Lara 1991, 101]

Comprendiendo los tres tratados hasta ahora presentados, su contenido teórico y experimental en general se refiere a la mecánica newtoniana, no extraído textualmente de los *Principios* en forma directa (aunque si hay referencias directas de este texto), sino que más bien el libro tanto en estructura como en contenido, tiene similitudes con los libros europeos difusores de esta filosofía, incluyendo a Euler y los Bernoulli. Sin embargo, es conveniente notar que la obra de Bataller, a diferencia de las europeas, de la Newton e incluso de la de Gamarra, resuelve problemas prácticos de minas.

Tratado IV: De la óptica

En este cuarto tratado, Bataller consultó la *Dióptrica* de Descartes, el *Tratado de la Luz y Dióptrica* de Morat, los *Elementos de Geometría* de Simpson, una memoria presentada por Euler en la *Academia de Berlín* en 1747 y la *Óptica* de Newton; además de nombrar a otros científicos más. El contenido de este tratado es el siguiente [Moreno de los Arcos 1985, 114]: 1. de la óptica en general; 2. De la dióptrica o refracción de la luz y 3. De la catóptrica o reflexión de la luz. En la segunda mitad del siglo XVIII en Europa, la teoría corpuscular de la luz estaba en pugna con la teoría ondulatoria desarrollada por Huygens y retomada por Euler, este mismo debate se manifestó en el texto de Bataller [Espinoza Sánchez 1994, 104].

Bataller explicó la refrangibilidad de la luz mediante un experimento que coincide con lo que Newton realizó para comprobar el mismo fenómeno, Bataller hizo referencia a que la luz blanca al pasar por un prisma se descompone en varios colores y presentó un diagrama que es idéntico al que exhibió Newton en su obra. Lo mismo sucedió con los experimentos para explicar la reflexión y la refracción de la luz, mientras Bataller [1802d, 90] mencionó: “Cuando un rayo luminoso pasa de un medio más raro a otro más denso en dirección oblicua a una superficie plana que divide los intermedios, se parte de su primera dirección acercándose a la perpendicular”. Newton en su *Óptica* [1977, 13] expresó: “La refracción de un medio más raro a otro más denso tiene lugar hacia la perpendicular; es decir, el ángulo de refracción es menor que el de incidencia”. Y sobre la reflexión, [Bataller 1802d, 262]: “Si un rayo de luz cae sobre un espejo plano se refleja formando el ángulo de reflexión igual al de incidencia”, y con Newton [1977, 11]: “Los ángulos de reflexión y refracción están en el mismo plano que el ángulo de incidencia”.

Pero Bataller también fue un crítico de la teoría óptica newtoniana y expuso la teoría ondulatoria, el argumento de Newton [1977, 40] fue que la propagación de la luz viaja en línea recta y se realiza por una emisión de partículas que salen de un cuerpo luminoso; en cambio la teoría ondulatoria propuesta por Huygens y Malebranche supone que la propagación de la luz se realiza por un movimiento ondulatorio o de vibración del éter, que es la posición adoptada por Euler y que sustentó con experimentos [Bataller 1802d, 25-26]. En Europa fueron aceptados los dos modelos ópticos y en la Nueva España, gracias a Bataller, se siguió la misma tendencia. El *Colegio de Minería* adquirió telescopios refractores y reflectores, y los alumnos utilizaron ambos instrumentos para estudiar la bóveda celeste, esto sirvió de complemento al curso de astronomía de 1798, el que construyó los lentes para la observación fue Diego de Guadalajara [Espinoza Sánchez 1994, 107-108]

Bataller también mencionó en su manuscrito los adelantos técnicos de los telescopios ingleses armados por Dollond y Short, que se apoyaron en la teoría ondulatoria de Huygens desarrollada por Euler; por lo que Bataller se interesó en el problema de la aberración que mostraron los telescopios, incluyendo el de Newton, así que finalmente se inclinó a favor del telescopio acromático de Euler; aunque demostró matemáticamente que se puede corregir la aberración. Al final, cuando realizó estudios sobre catóptrica, demostró su experiencia como minero al explicar la reflexión de la luz en cuerpos opacos o pulidos [Espinoza Sánchez 1994, 108-110; 2002, 234].

Hasta aquí, se han presentado las principales citas de Newton en las que Bataller se apoyó para resolver problemas que las condiciones del colegio le impuso. Se observa como ya sea para aceptar o refutar, siempre tuvo gran apego a las teorías más modernas y siguió las corrientes científicas y los esquemas teóricos de los principales representantes. Así, este libro se relaciona con Newton de tres formas distintas: menciona a Newton y sus teorías, como cuando enuncia las leyes de la mecánica newtoniana y hace uso de diversos conceptos tomados de los *Principios*. Dentro del programa docente del *Seminario de Minería*, mantiene la estructura de los *Principios* y de los textos sobre mecánica más influyentes en Europa, que dicho sea de paso también muestran tendencias hacia el newtonismo. Utiliza la mecánica newtoniana para la solución de problemas prácticos de la

minería novohispana, que veremos a continuación [Ramos Lara 1991, 94] En el primer caso, Bataller hizo referencia a citas textuales que mencionaron a Newton, para establecer en sus propias palabras la influencia del mismo. En el segundo caso, una comparación con el libro de los *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* de Newton, en su edición moderna en español, sirve para constatar que se dio una transculturación del contexto de la mecánica newtoniana en los *Principios de Física Matemática y Experimental*, es decir, la teoría se acopló a la circunstancia mexicana, se asimiló y se adaptó a la misma. Por último, en el tercer caso que concierne a la utilización de la mecánica newtoniana en el ámbito minero, se mostrará su uso en algunos problemas prácticos del entorno del científico novohispano.

Aplicaciones que se enseñaban en la cátedra de física

Los procesos de amalgamación se estudiaron en la clase de química, ya que de hecho la hidrodinámica de esa época se confundía o mezclaba con la química cuando se trataba de estudiar los métodos de amalgamación que involucraban el fuego. Bataller describió la física de un fluido en equilibrio y la presión que hacen los fluidos en las vasijas donde se encuentran contenidos. Se basó en el principio de que, la presión es como una fuerza que es igual al peso de la columna vertical del fluido que está sobre ella. Entonces la presión es igual al producto de la base por la altura por la gravedad específica del agua (densidad del líquido por gravedad), para explicar el funcionamiento de la palanca hidráulica o fuelle hidráulico, mostrado en la figura 1 (página 155) [Bataller 1802c, 19].

La palanca está constituida por un fuelle de cuero movable (*ABCD*), que carga varios pesos (*P*), del centro sale un tubo (*EF*) que conecta con el interior del fuelle, al llenar este de agua, se observa que basta poner unas gotas de agua por el tubo para mover los pesos. Bataller [1802c, 31-36] demostró además, en base a la definición de presión, que los gruesos que deben darse a los cilindros de las bombas, y de otras máquinas hidráulicas, dependen en razón directa de las alturas, de los radios de los cilindros y de las gravedades específicas de los fluidos; y en razón inversa de las tenacidades de los metales de que se compongan. Para mostrar la relación de este principio con la minería, resolvió el siguiente problema: Determinar el grueso que se debe dar a un tubo de cobre de dos pulgadas de

diámetro, para que aguante el esfuerzo de una columna de azogue de 19 pies de altura [Ramos Lara 1994, 90].

Respecto a la balanza hidrostática (figura 2, página 156), Bataller explicó su uso para medir gravedades específicas de sólidos, y la misma propiedad para fluidos mediante el areómetro o pesalicores (figura 3), de este último describió cómo se construye. Realizó un análisis del movimiento de los fluidos, en especial del choque de estos, para aplicarlos más adelante al movimiento de las máquinas, como las que se muestran en las figuras 4 y 5: molinos de trigo y aceite, ruedas destinadas al movimiento de las bombas y en varias aplicaciones que hacen uso de la fuerza generada por el agua. Bataller [1802c, 167, 178] efectuó este estudio para explicar más adelante la construcción de máquinas que se emplean en la laborío de las minas.

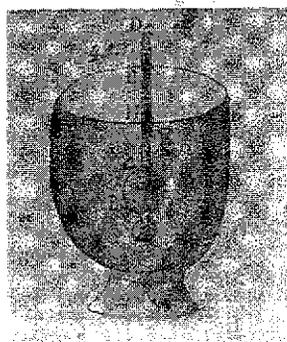
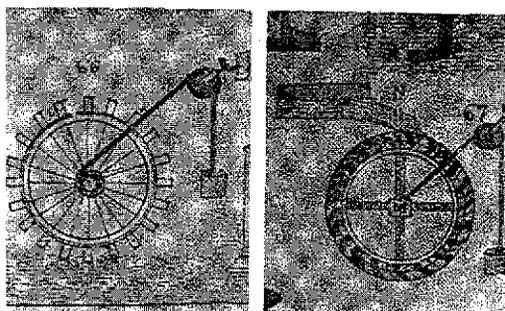


Figura 3
Pesalicores



Figuras 4 y 5
Aplicación del choque o fuerza del agua al movimiento de las máquinas

Sobre aerometría, parte de la física que trató de las propiedades del aire y de otros fluidos aeriformes, analizó al aire como un fluido, por lo que tiene peso (gravedad específica por volumen). Bataller [1802c, 204] mencionó que gracias a que el aire es un fluido pesado es posible la existencia del globo aerostático (figura 6), siendo el peso total del globo menor que el peso del volumen del aire que desaloja, es preciso que suba según los principios de la hidrostática, de donde proviene la palabra aerostático.

Después de hacer un extenso análisis de las propiedades de varias máquinas, como las presentadas, explicando sus características, funcionamiento, utilidad y construcción, pasa al

estudio de instrumentos que tienen la característica de que dependen de alguna propiedad relacionada con el peso del aire, de su elasticidad, de su dilatación proveniente del calor o de alguna otra propiedad [Ramos Lara 1994, 94]. Las máquinas que analizó fueron [Bataller 1802c, 234]:

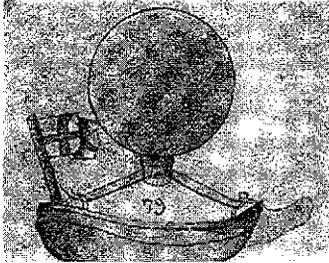


Figura 6
Globo aerostático

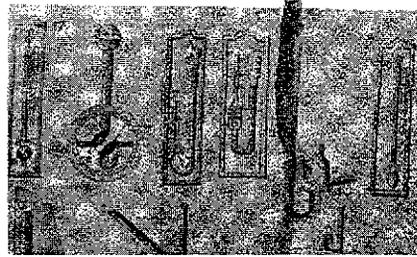
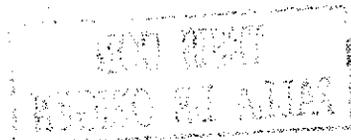


Figura 7
Varios tipos de barómetros

- a) El barómetro, instrumento que sirve principalmente para denotar las variaciones que padece el peso del aire de la atmósfera. Los usos que Bataller [1802c, 281-304] le atribuye a este artefacto son: 1) El que se hace en la meteorología, donde sirve como pronóstico para conjeturar el estado del tiempo: sereno, lluvioso y ventoso, entre otros; 2) en la física y en la química, para el cotejo de varios experimentos, especialmente en química para graduar las gravedades específicas de los gases o fluidos aeriformes; y 3) para medir distancias respecto al nivel del mar; de aquí mismo obtuvo el método para averiguar la altura de un cerro, o bien, la profundidad de un mina o excavación subterránea. Resolvió varios problemas sobre cálculo de alturas (figura 7) usando el método inglés de Shuckburg para conocer la altura de cualquier cerro con la ayuda de este instrumento. Al explicarlo y dar un ejemplo, añade que este método no es válido para todos los países (como los de Ecuador), pero se puede corregir considerando que las densidades del aire varían como una progresión geométrica y las alturas como una progresión aritmética, y en este caso se apoyó en Newton [Bataller 1802c, 295-296]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



b) Las bombas, son máquinas hidráulicas o tubos de metal, madera, o de ambas cosas, que sirven para subir el agua a diferentes alturas. Bataller dividió las bombas en atrayentes, impelentes y compuestas. La atrayente funciona mediante el vacío, la impelente por presión y la compuesta tiene las ventajas de las dos anteriores (figura 8). Bataller [1802c, 304-343] se refirió a las bombas de la siguiente manera: “No cabe duda de que las bombas por su simplicidad, por su duración, y por el poco costo con que se pueden hacer, son acaso las máquinas hidráulicas mas ventajosas y mas propias para los desagües [..], apagar incendios y decorar jardines”.

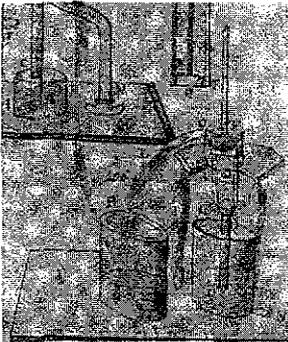


Figura 8
Varios tipos de bombas

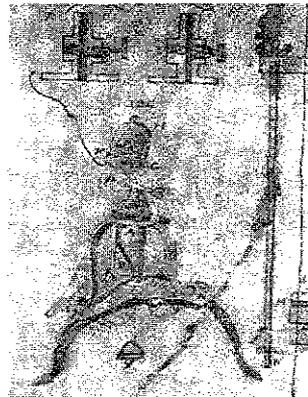


Figura 9
Máquina neumática

c) A la máquina neumática se le conoce también como máquina del vacío ó máquina de Boyle [Bataller 1802c, 345-456]: es un recipiente en forma de campana, del cual se extrae el aire resultando un vacío donde se observan varios fenómenos de la naturaleza (figura 9)

El conocimiento, manejo y uso de las máquinas e instrumentos fue muy importante para el *Seminario de Minería*. Por ejemplo, Elhuyar buscó introducir diversos tipos de máquinas para desaguar y extraer el mineral de las minas, por lo que los estudiantes del seminario se ejercitaron primero en el laboratorio de física y más tarde en las minas. De la misma forma, la indagación en física que se desarrolló en el seminario por parte de los profesores, se dirigió a la implementación de técnicas o máquinas para facilitar la explotación de los minerales; y por supuesto, resolver el problema del desagüe. Por ejemplo, Humboldt [1973, 363] estuvo en desacuerdo en que se forzaran a correr con

demasiada velocidad las caballerías que movían los malacates Incluso Salvador Sein, profesor de física, en una memoria sobre el movimiento giratorio de las máquinas probó varios de estos hechos; de esta parte hablaremos en el siguiente capítulo

Andrés Manuel del Río (1764-1849), catedrático de mineralogía del seminario, estudió física en España, mineralogía en Almadén, orictognosia en Freiberg y química con Lavoisier en París. Desde su llegada a la Nueva España, para hacerse cargo de la cátedra en el colegio, tuvo el interés de mostrar a los mineros mexicanos las ventajas de las máquinas y la posibilidad de construir las en la colonia Descubrió el vanadio y escribió un libro de orictognosia Construyó una máquina para desaguar las minas de Morán, de la cual Humboldt [1793, 362-363] opinó:

Esta máquina, que es la primera de este género que se haya construido en América, es muy superior a los que existen en las minas de Hungría; fue construida según los cálculos y planos del señor del Río [...] y la ejecutó el señor Lachaussee, artífice natural de Brabante, hombre de señalada habilidad, que también construyó para la Escuela de Minas de México una colección muy importante de modelos útiles para el estudio de la mecánica y de la hidrodinámica

El mismo Elhuyar se dedicó a perfeccionar los métodos de desagüe de las minas [Necrologías, II, 9]: “estableció y mejoró la máquina de columna de agua en la mina de Moran del Monte, con grande efecto, e inventó otra distinta más sencilla que las de Europa, la cual ensayada en grande tuvo la satisfacción de que fuese colocada en las minas de Jesús del Real de Monte”; como parte del siguiente capítulo analizaremos un poco las innovaciones técnicas que desarrollaron los novohispanos para resolver los problemas que se presentaron en la industria minera. Por último, la mecánica celeste newtoniana se empezó a enseñar en la cátedra de física del *Seminario de Minería*, en los últimos años del siglo XVIII [Ramos Lara 1994, 100]

Hemos visto cómo la mecánica newtoniana fue esencial para la cátedra de física experimental del *Seminario de Minería*, principalmente a través de la obra de Bataller, esencialmente relacionada con la elaboración, utilización y aplicación de instrumentos y máquinas útiles para mejorar la explotación y laboreo de las minas. Determinar qué tanto mejoró la explotación de las minas con su aplicación sería muy difícil, debido esencialmente al poco tiempo de vida que tuvo el seminario en el siglo XVIII [Ramos Lara 1994, 100] Al menos se reconoce, sin lugar a dudas, que el seminario ayudó a mejorar la



actividad minera y darle prestigio a los oficios que corresponden a esta rama productiva, como lo manifestó Humboldt [1973, 399]:

Los discípulos del *Colegio de Minería*; una vez instruidos a expensas del Estado, son enviados por el Tribunal a los pueblos, cabezas de las varias diputaciones. No puede negarse que el sistema representativo que se ha seguido en la nueva organización del cuerpo de mineros mexicanos tiene grandes utilidades; porque mantiene el espíritu público en un país donde los ciudadanos, esparcidos en un territorio de inmensa extensión, no conocen bastante que tienen intereses comunes; y da al Tribunal la facilidad de reunir sumas considerables siempre que se trata de alguna empresa grande y útil.

Como ejemplo de los beneficios aportados a la minería por parte de la actividad en el colegio existen datos sobre el incremento en la amonedación que se produjo durante la dirección de Elhuyar. Por ejemplo, de 1789 a 1805, se produjo un incremento que iba de 20 millones de duros a 27 millones [Necrologías II, 15-16]. El mismo Elhuyar [1818, 87] opinó que la amonedación había sufrido un cambio favorable desde la creación del tribunal, el cual había promovido diversas acciones en esta actividad. En un estudio de José Joaquín de Eguía, a principios del siglo XIX, sobre la utilidad e influjo de la minería en el reino, éste sostuvo que el estado de la minería mexicana paso de ser decadente a mediados del siglo XVIII, a ser su principal riqueza a finales del siglo, gracias a las reformas fiscales propuestas por los novohispanos y a la aplicación e introducción de la ciencia moderna en la minería. Lo cual hizo que a principios del siglo XIX se sostuviera [Eguía 1818, 5]: "México ha de ser grande por la minería".

En otro estudio, también del siglo XIX, Elhuyar descubrió que entre los aspectos que propiciaron los avances de la minería se encuentran: la disminución del precio del azogue, la exención del derecho de alcabala en los utensilios y efectos que se consumen, y la reducción del precio de la pólvora, entre otros. El autor consideró como el factor más importante para el cambio fue la creación del cuerpo de minería, promovida por Lassaga y Velázquez de León, que culminó en la fundación del cuerpo de minería y la constitución del seminario; al respecto Eguía [1818, 70-80] manifestó:

La segunda ocurrencia que en el orden cronológico contribuyó al incremento y prosperidad de la minería, fue la reunión de sus individuos en un cuerpo formal, ideada por el mismo Gobierno en 1773, y promovida sin conocimiento de ello en principios de 1774 por Don Lucas de la Saga y Don Joaquín Velázquez de León [] De mayor importancia ha sido la trascendencia que tuvo á la minería la declaración del libre comercio de estos dominios en el año de 1778

Hasta aquí se ha mostrado la influencia de la mecánica newtoniana tanto en la *Academia de San Carlos* como en el *Seminario de Minería*, a través de los trabajos de sus profesores, de los exámenes o actos públicos de los alumnos, de los contenidos de las diversas cátedras que se impartieron y de los instrumentos que fueron estudiados e incluso construidos para la minería, que en el fondo corresponde al interés de los novohispanos por resolver los problemas que su entorno les presentó. Se realizó una selección de trabajos como muestra representativa de tres formas de influencia del pensamiento de Newton: Como citas a su personalidad, como fundamento teórico y como aplicación en la solución de problemas prácticos. Sólo nos falta constatar la aceptación de las teorías newtonianas de manera formal en los libros de texto que se utilizaron para la enseñanza de la física y las matemáticas en ambas instituciones, como son los libros de Bails, Vallejo y García.

CAPITULO III

LOS LIBROS DE TEXTO Y LA FÍSICA NEWTONIANA EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

3.1 LA MECÁNICA NEWTONIANA Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD MINERA NOVOHISPANA

La principal actividad económica en la Nueva España fue la minería, particularmente la extracción de plata. La producción de la plata estuvo organizada en cuatro fases: i) la extracción del mineral de la tierra que contenía la plata; ii) el beneficio, es decir, la separación de la plata del metal básico con el que viene mezclado; iii) el apartado, entriquecimiento del metal y, iv) la conversión final de la plata en moneda [León Portilla 1978, 67]. Además de estas fases, frecuentemente se tuvo el problema del desagüe de minas, que fue de los más difíciles que enfrentó la colonia. Las bombas fueron poco usadas por su bajo rendimiento y a principios del siglo XVIII, surgieron obras que trataron de optimizar este mecanismo, como el trabajo de Juan Antonio de Mendoza y González, *Máquina para desaguar las minas* [1727], para lo cual requirió conocer los principios de la hidrostática, así como las teorías de Torricelli, Cavalieri, Newton y Mersenne sobre presión atmosférica y el equilibrio de los líquidos [Trabulse 1983, 45; Bargallo 1966, 185]. Se tuvieron que diseñar nuevas máquinas que se adecuaron a las condiciones del medio, ya que la simple introducción de ellas falló rotundamente. Elhuyar y Del Río trabajaron durante años en la fabricación de diversas máquinas para este fin [Bargallo 1955, 312]

El antiguo proceso de amalgamación siguió vigente y la variada gama de técnicas que iban desde la perforación de tiros hasta el beneficio del mineral, no sufrieron modificaciones sensibles hasta finales del siglo XVIII cuando infructuosamente se trataron de introducir cambios en las técnicas, tanto en el campo de la ingeniería de minas como en el de procedimientos químicos que se utilizaban para la purificación del metal. Los métodos rudimentarios para la extracción de plata consistían en construir un tiro perpendicular perforado directamente desde la superficie hasta la veta, donde la pólvora fue usada ocasionalmente. En las minas más profundas se empleó el malacate para subir el mineral por el tiro hasta la superficie. El malacate es un mecanismo formado por una polea que va

tirado por grupos de cuatro o más caballos, este método era costoso por la manutención de los animales y el mantenimiento de las cuerdas, los cueros y el cordel, entre otros elementos; además fue utilizado para resolver problemas de desagüe [Trabulsee 1994, 118; Espinoza Sánchez 1994, 91]. Las técnicas de extracción de plata eran deficientes principalmente por la falta de dinero para invertir en las minas, la mano de obra ignorante de los procesos técnicos, el elevado costo del mercurio, las constantes inundaciones y derrumbes de minas, y la falta de iluminación y ventilación adecuada [Trabulsee 1991, 221].

Con las nuevas *Ordenanzas de minería*, la creación del *Colegio de Minería* y la sistematización de la física experimental y las matemáticas, se formaron los peritos capacitados en el manejo y construcción de máquinas para esta actividad productiva; mediante la mecánica newtoniana se comprendió el funcionamiento y perfeccionamiento de los instrumentos para desaguar las minas y extraer el mineral, permitiendo a su vez innovar al respecto. Además, con la ayuda de la aerometría, se superaron los problemas de ventilación que tantos accidentes ocasionaron [Ramos Lara 1994, 85].

Varios tratados se escribieron entre 1750 y 1802 con el fin de mejorar la técnica del beneficio, entre ellos, *Arte o nuevo modo de beneficiar los metales de oro y plata por azogue* [1758] de Juan Ordóñez de Montalvo, el *Arte de los metales* [1770] de Álvaro Alonso Barba y el *Ensayo de metalurgia* [1784] de Francisco José de Sarcia. Estos textos eran exposiciones de las antiguas técnicas de beneficio de los metales, en cambio la obra *Nueva teoría y práctica del beneficio de los metales de oro y plata por fundición y amalgamación* [1802] de José Garcés y Eguía contiene innovaciones al introducir el tequesquite y hacer uso de métodos modernos de análisis cuantitativo sobre el azogue, junto con el de Alonso Barba fueron los textos de minería por excelencia en este ramo. Dos obras inéditas resultan de interés porque proponen una interpretación química del proceso de amalgamación apoyado en las afinidades de los metales, y lo aplican a experimentos con maquinaria inventada por José Gil Barragán, cuyos rendimientos son mayores que los obtenidos por el método usual del patio. Las obras son *Idea sucinta de metalurgia* de José Antonio Rivera Sánchez y *Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el azogue* de José Gil Barragán, de hecho el invento propuesto por este último alude al método

de Born introducido sin éxito por Elhuyar y los mineralogistas alemanes [Bargallo 1966, 159].

A los científicos novohispanos, como Alzate y Velázquez de León, les preocuparon mucho los problemas de la metalurgia. Alzate colaboró en la búsqueda de yacimientos de mercurio, elaboró informes sobre el azogue y su método de extracción, disertó en su *Gaceta* acerca de los problemas del suministro de mercurio, fundición del hierro y sobre sus reservas en relación al método del barón de Born, que para él no era más que el método de Medina modificado por Barba. Alzate se enfrascó en polémicas con Velázquez de León, quien realizó diversos escritos acerca del beneficio de los metales y el trabajo de las minas. De hecho, Velázquez de León tuvo una clara visión sobre la utilidad de las máquinas en los procesos mineros y el uso de la física como herramienta para el desarrollo de las mismas, el respecto expresó [Saladino 1996, 141]:

Si ahora la física moderna ha superado la división del movimiento natural y violento con fundamento en los trabajos de Galileo, Descartes y Newton, existe de todas formas la preocupación por caracterizar los movimientos particulares en función de la utilidad que puede proporcionar el conocimiento físico para el desarrollo de instrumentos y máquinas. La mecánica usa entre otros, dos movimientos para ciertas máquinas: el primero es el de un cuerpo que se mueve sobre su centro conservando un mismo lugar, como el eje de un torno o la rueda de un molino; y a este llamaremos movimiento de conversión o de revolución. El segundo es aquel con que se mueve un cuerpo sobre los puntos de la circunferencia, adquiriendo siempre un nuevo lugar, y avanzando su centro progresivamente, como la rueda de un carro o el movimiento de un planeta; y a este lo llamaremos movimiento de rotación. Y en el primero se conservan las fuerzas centrífugas y centrípetas.

Si dedicarse a la mecánica exige el conocimiento de las teorías, tratar de maquinaria requiere aplicar esa teoría a la construcción de máquinas, con lo cual se revela la visión descriptiva de una parte de la física y su beneficio inmediato [Saladino 1996, 142]; y lo más importante, el uso de la mecánica newtoniana para llevar a cabo el proyecto descrito por Velázquez de León.

Los cursos en el *Real Seminario de Minería* no sólo cubrieron los requerimientos técnicos, impartiendo clases de química, mineralogía, topografía, pirotecnia y laboreo de minas, sino incluso disciplinas teóricas como matemáticas y física. Humboldt observó, a principios del siglo XIX, el gran atraso en las técnicas de geometría subterránea y los mismos problemas de desagüe de minas inundadas o el trazo de planos que indicaran la

longitud y dirección de socavones o tiros, que continuaban sin resolverse y ya habían sido expuestos por Saéñz de Escobar y por Javier Gamboa. Humboldt en general resaltó que no se contaban con gráficos planificados de las excavaciones y que salvo intentos exitosos aislados de desagües como la *Quebradita en Zacatecas* (1728) o la veta vizcaína en el *Real del Monte* (1762) todo lo demás era improvisado [Trabulse 1991, 214].

Uno de los métodos para rehabilitar una mina anegada fue excavar un túnel o socavón con la inclinación adecuada para que el agua corriera hacia abajo por simple gravedad, lo que requería tener conocimientos de geometría subterránea, sobre todo cuando dicho socavón debía articularse con otros túneles; otros métodos usados fueron los de malacates, norias, cigüeñas o bombas rudimentarias. Alzate propuso, en 1768, adoptar la bomba de Newcomen para desaguar minas, pero no se llevó a cabo hasta después de que *el Seminario de Minería* funcionara. Tanto Elhuyar como Del Río introdujeron bombas hidráulicas en diversas minas; en 1802 Humboldt vio en funcionamiento la que Del Río construyó para las minas de Morán en Pachuca, expresando su superioridad respecto a las existentes en las minas húngaras. Esta preocupación se puso de manifiesto incluso en los actos públicos del *Seminario de Minería*, como en el caso de un alumno destacado, José de Oteiza, que expuso los fundamentos teóricos de las bombas de succión y su utilidad; aunque fue hasta 1821 que se instalaron máquinas de vapor para desaguar minas [Trabulse 1994, 123].

Además de los trabajos de minería, los de meteorología aportaron elementos importantes para el desarrollo de la minería, como en el caso de Del Río que publicó su *Discurso sobre los volcanes* [1799], *Discurso sobre la formación de las montañas de algunos reales de minas* [1795] y los *Elementos de orictognosia o del conocimiento de los fósiles* [1795, 1802], además del descubrimiento del vanadio y la traducción de las *Tablas mineralógicas* [1804] de Karsten que contenía anexos de Humboldt y de él mismo. El método de amalgamación logró avanzar gracias a estos trabajos y los de Federico Sonneschmidt, autor de un *Tratado de amalgamación de México* [1805], que después de la obra de Eguía es el análisis químico más completo del proceso de amalgamación. Sonneschmidt recomendó el método de patio que había sido propuesto por Bartolomé de Medina doscientos años antes y que había sido menospreciado por los técnicos europeos [Bargallo 1966, 145].

En el siglo XVII, la inquietud por los problemas relacionados con el vacío se convirtieron de una cuestión filosófica en una cuestión práctica. Los mineros y los perforadores de pozos, al tratar de extraer el agua por medio de bombas, se encontraron con la limitante de las bombas de succión que no podían subir agua a más de 10m de altura. Galileo resolvió dicho problema y lo atribuyó a la incapacidad de la columna de agua para soportar su propio peso. A Torricelli (1608-1647) también le interesó el problema y lo resolvió mediante estudios con columnas de mercurio, aduciendo que la presión del aire es la que impide que caiga el mercurio o el agua, según sea el caso. Von Guericke, inventó la bomba de aire y demostró que la presión de aire es una fuerza muy útil para obtener energía. Por su parte, Boyle y Hooke llegaron a mejorar las bombas de Von Guericke; en particular, los esfuerzos que hizo Boyle por mejorar la bomba de aire lo llevaron a estudiar el comportamiento del aire mismo, cuando se encuentra comprimido y cuando se dilata. Así, descubrió lo que denominó la *elasticidad del aire* y que hoy conocemos como la ley de Boyle: El producto de la presión por el volumen de una masa dada de aire es constante: $PV=T$, cuando $T=cte$ [Trabulse 1984, 214].

Además, las doctrinas iatroquímicas lograron un nuevo impulso en la primera mitad del siglo XVIII gracias a la difusión de las teorías de Helmont, los estudios hidrológicos pusieron de relieve la naturaleza de las combinaciones químicas de los diversos compuestos derivados de ácidos y sales existentes, y su utilidad en la metalurgia, ejemplo de ello es la obra *Metatología o physica de los metales. En que se procuran descubrir sus principios y afecciones conforme a las sanas reglas de la experiencia, dirigida al mejor logro de la minería de las Américas* del jesuita Francisco Xavier Alexo de Orrio. Es un denso tratado de química, física, geología y metalurgia elaborado tomando en cuenta las obras de química y física más avanzadas de la época, entre ellos a los de Boyle, Newton, Hoffman, Helmont, Nollet y Muchenbroek, entre otras, y las experiencias del autor. Su obra resultó ser un intento por explicar, de acuerdo con las diversas teorías físicas modernas, el problema de las combinaciones químicas y las leyes que las rigen; no duda en recurrir a las leyes newtonianas acerca de la atracción para abandonar el criterio anterior de 'simpatía y antipatía'; de paso hizo un elogio al descubridor de las leyes en los siguientes términos [Trabulse 1994, 147]:

La *Physica Newtoniana*, que podemos llamar inglesa, tanto por su célebre inventor Isaac Newton, como por la universal aceptación que ha tenido en aquella nación cultísima, parece a primera vista que pudiera desempeñarnos en algunas dificultades que ocurrirán acerca de la Atracción que es su base, principio y fundamento, pero que tal vez echemos mano de ella, será sin embarzarnos en sus cálculos ni en su delicada Geometría.

Con detenimiento Orrió analiza los aspectos geológicos de la minería, es decir, la formación de vetas, los efectos del agua en la erosión y de los ríos en los depósitos de sedimentos y capas Apoyado en las experiencias termométricas de Reaumur y siguiendo su sistema de medición, observó las propiedades que poseen los diferentes metales a una misma temperatura, estudió las causas que atribuían la unión de la plata y el mercurio en el proceso de amalgamación, inclinándose a explicar el fenómeno por una simple atracción de carácter magnético y eléctrico, y no por la caduca 'simpatía'. Estudió el efecto catalítico de la temperatura en el proceso de amalgamación, lo que le permitió, tomando como referencia el azogue, estudiar el fenómeno de la licuefacción de los metales Realizó experimentos de dilatación y compresión de los metales y la relación de la plata y el mercurio en el proceso de amalgamación; siguiendo a Boyle estudió la noción de elemento y se adhirió al sistema de afinidades químicas establecido por Geoffroy. En general fueron muchos los aspectos teóricos y prácticos de la química de los metales que experimentó [Trabulse 1994, 148-149].

Hasta aquí, se ha mostrado la influencia de la mecánica newtoniana tanto en artículos de divulgación, como en reportes técnicos, en libros que expresamente fueron escritos para el *Seminario de Minería* y para la realidad del entorno de la actividad novohispana, o bien en manuscritos que muestran los adelantos que en ciertas áreas del conocimiento se tuvo hasta entonces. Se seleccionaron como pauta a seguir por presentar tres formas de influencia del pensamiento de Newton: como citas a su personalidad, como fundamento teórico y como aplicación a la minería La física newtoniana como vía para mejorar la producción minera se llevó a cabo gracias a las cátedras que se impartieron, y a las actividades de los alumnos en las minas como parte de su formación. Lo mismo podemos decir de los alumnos de San Carlos, que gracias a la actividad práctica de su profesión y a las cátedras de los profesores lograron concretar la utilidad de este saber Como ya vimos en los capítulos anteriores, una vía para ello fueron los libros con tendencias newtonianas como los de Nollet, Sigaud de la Fond, Muchenbroek, S'Gravesande y los del propio

Newton, únicamente nos falta constatar la aceptación de las teorías newtonianas de manera formal en los libros de texto que se utilizaron para la enseñanza de la física y las matemáticas en la *Real Academia de San Carlos* y en el *Real Seminario de Minería*, como fueron los libros de Benito Bails, Mariano Vallejo y Juan Justo García

3.2 LOS LIBROS DE TEXTO UTILIZADOS EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS

Como vimos en el capítulo anterior, en 1782, el primer director de la *Real Academia de San Carlos*, Jerónimo Antonio Gil, al relacionar el material que requería para el funcionamiento de la institución pidió [Baez 1974, 108-110]: “el curso grande y chico de matemáticas que imprimió la *Academia de las Tres Artes*, de San Fernando de Madrid, de Benito Bails”; y más tarde solicitó el *Compendio de matemáticas* de Bails. En 1792, la junta superior compró 30 libros donde la única obra de matemáticas fue la de Benito Bails [Brown 1976, 15].

En 1796, siendo directores de academia Jerónimo Antonio Gil, Antonio Velázquez, Joaquín Fabregart, Manuel Tolsá y Diego de Guadalajara establecieron que [Alva 1983, 53]: “los alumnos deben estudiar por completo el curso de matemáticas de Bails según se enseña en esta *Real Academia*” El 5 de enero de 1817, Francisco Manuel Sánchez de Tagle, director de la academia, mandó publicar en el periódico el acuerdo de la Junta, donde se indicó que la obra de Bails se usó como texto por los estudiantes. Para 1856, contaron con un lote más amplio de obras de este autor.

Las certificaciones que sobre matemáticas presentaron los solicitantes a los premios que la academia extendió, para ejercer la carrera de agrimensor, fueron reflejo fiel de lo que se enseñó en el interior sobre la materia, en la Nueva España de mediados del siglo XVIII. Desde 1792, se siguió el libro inédito y hasta ahora poco conocido: *Representación del Director de matemáticas Don Diego de Guadalajara sobre el método que se propone enseñar en el curso*; es un escrito breve en el que reflejó sus conocimientos matemáticos [López García 1983, 246; Fernández 1968, Doc. 727, 86].

En resumen, en la *Academia de San Carlos* los textos de Bails fueron usados para impartir clases desde 1782 hasta 1856, mientras que para las certificaciones fueron usados

los libros de Bails, Castro y Vallejo. De 1856 a 1867, se ignora qué textos fueron usados para el cálculo diferencial e integral. Establecer qué libros de texto se emplearon para la enseñanza de las matemáticas en la *Academia de San Carlos* nos permitirá analizar la influencia indirecta de las teorías de Newton. Especialmente tenemos que evidenciar que el lenguaje matemático que expresan las leyes físicas newtonianas ha pasado, para este momento, de ser geométrico a ser analítico, gracias a los trabajos de sus difusores, en especial de Euler y los Bernoulli.

Mientras que en el *Real Seminario de Minería*, Elhuyar pidió al *Tribunal de Minería* para iniciar las clases “100 libros de matemáticas de la obra grande de Bails”, y cercana la fecha para el inicio de clases y viendo que los libros no llegaban, pidió al Tribunal permiso para imprimirlo, lo que le fue negado. En enero de 1792, iniciaron los cursos, pero los libros llegaron hasta agosto del mismo año. Para el curso de 1793 [Ramírez 1982, 75, 80, 99, 100, 102], “se adopta como texto para el estudio de las matemáticas *Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría*, de don Juan Justo García”.

No se sabe en que momento el libro de Juan Justo García dejó de usarse, pero de lo que sí se tiene certeza es que se regresó a la obra de Benito Bails. Esta afirmación se fundamenta en los siguientes hechos:

1. En un inicio (1793), no se impartió el curso de física pero sí uno con el nombre de geometría práctica, seguido a su vez de la geometría subterránea, dinámica e hidrodinámica [Ramírez 1982, 62, 63]. La obra de Juan Justo García no abarca estos temas y la de Benito Bails sí, como se verá más adelante.
2. La obra de Bails hizo uso de la siguiente clasificación de la matemática siguiendo a Euler [López García 1992, 149]:
 - a) Matemática pura o especulativa, que comprende: aritmética, geometría, trigonometría plana, geometría práctica, álgebra, secciones cónicas, cálculo diferencial e integral y trigonometría esférica.

- b) Matemática mixta, que comprende: dinámica, hidrodinámica, estática, óptica, astronomía, geografía, gnomónica, arquitectura, perspectiva, y calendario; muy semejante a la clasificación que hace la *Enciclopedia francesa*. Clasificación en la que se fundamentó Bails para escribir sus libros, y probablemente a ella recurrieron los profesores de las cátedras de matemáticas y física del seminario para organizar sus materias
- 3 Tardaron doce años, entre 1792 y 1805, para organizar y articular adecuadamente en el plan de estudios los cursos de geometría práctica, física y cálculo infinitesimal, como se observó en la revisión del plan de estudios que realizamos. Esto, unido a la dificultad de hacerse de libros de texto escritos por los mismos maestros, como era la intención original. Por ejemplo, como no existía una obra específica para el curso de geometría práctica, se encargó sucesivamente la redacción de unos apuntes a Andrés José Rodríguez, primer profesor de matemáticas; y a Francisco Antonio Bataller, primer profesor de física.
 - 4 Como ya se dijo, para el curso de física se comisionó a Francisco Bataller, quien hizo una obra adecuada al seminario y se le concedió que impartiera sólo tres lecciones por semana para que se dedicara el resto del tiempo a la redacción de los apuntes [Ramírez 1982, 126]. Logró su objetivo, pero es casi seguro que fue el único que llegó a usarlos, porque quedó manuscrito (muere el 25 de abril de 1800)
 - 5 También se sabe que en 1815, el virrey comunicó en una Real Cédula [Ramírez 1982, 239] que si se cree conveniente, se adopte como texto para el estudio de las matemáticas la obra de Vallejo.

En 1833, a raíz de la fallida reforma en la educación del 19 de octubre de ese año, el director indicó los textos que consideró adecuados para la enseñanza [López García 1992, 182; Ramírez 1982, 287]:

Señala para el primer curso de matemáticas que comprende aritmética, álgebra, geometría elemental y trigonometría rectilínea, las obras de los Srs. Vallejo, Lacroix y Bails; para el segundo curso que comprende la trigonometría esférica, geometría analítica, descriptiva y práctica, y cálculo infinitesimal, la de los Srs Fourcroy, Vallejo, Bourdon, Francoeur, y el compendio de trigonometría de D Manuel Castro Para el curso de física que comprende

mecánica, la física propiamente dicha y principios de perspectivas y sombras, Poisson, Pouillet, Biot, Lavit y aun el Progni.

De los libros de matemáticas, los únicos escritos en español fueron los de Vallejo, Bails, Lacroix y Bourdon, los demás estaban en francés. Algunos maestros de la escuela dejaron obras como: *Apuntes*, de Manuel Antonio Castro, que impartió matemáticas de 1805 a 1854; un tratado de aritmética y uno más de trigonometría esférica, impresos por el *Tribunal de Minería* y que sirvieron de libros de texto [Ramírez 1982, 380]. De Joaquín Mier y Terán, un *Curso elemental de matemáticas* en dos tomos. En otros colegios Mier y Terán enseñó matemáticas con el *Compendio* de Vallejo [Lemoine 1970, 37].

Así, en el periodo de 1782 a 1867, sobresalen tres obras de texto para la enseñanza de las matemáticas y la física: *Principios de matemáticas*, de Benito Bails; *Elementos de aritmética, álgebra y geometría*, de Juan Justo García; y *Compendio de matemáticas*, de Mariano Vallejo; cada una fue utilizada en periodos diferentes. Establecer qué libros de texto se emplearon para la enseñanza de las matemáticas en el *Real Seminario de Minería* y en la *Real Academia de San Carlos* nos permite analizar la influencia indirecta de las teorías de Newton, como mencionamos anteriormente, especialmente buscando evidenciar que el lenguaje matemático que expresa las leyes físicas newtonianas ha pasado de ser geométrico a ser analítico.

3.3 BENITO BAILS: PRINCIPIOS DE MATEMÁTICAS Y ELEMENTOS DE MATEMÁTICAS

Bails nació en Barcelona en 1730 y murió en Madrid en 1797; realizó sus primeros estudios con los jesuitas, se destacó en matemáticas y teología, escribió numerosos diarios históricos y políticos, y efectuó traducciones. Recomendado por Jorge Juan y Santacilia, la *Real Academia de San Fernando* lo aceptó en 1768 como director de matemáticas. Casi al final de su vida la Santa Inquisición lo tuvo preso diez meses. Se le encargó escribir unas *Instituciones de Geometría Práctica*, que aparecen en 1797, tres meses después de haber fallecido [López García 1992, 144-145]; otras de sus obras fueron: *Compendio de Matemáticas*, *Principios de Matemáticas* [1772], *Elementos de Matemáticas* [1779], *Aritmética para negociantes* [1790], *Instituciones de geometría práctica para uso de los jóvenes artistas*, esta obra fue considerada por Mariano Vallejo quien escribió *Adiciones a la geometría de don Benito Bails* [1806] y con Jerónimo Campoy escribió *Tratado de*

Matemáticas que para las escuelas establecidas en los regimientos de infantería [1772], entre otros

Sus obras máximas fueron un tratado completo de matemáticas, los *Principios de Matemáticas* en seis tomos, que aparecieron completos en 1776, esta obra sirvió de preámbulo al curso grande de matemáticas formado por once volúmenes y un diccionario, los *Elementos de matemáticas*, que incluyen: 1 Aritmética, 2 Álgebra, 3. Secciones cónicas, 4. Dinámica y estática, 5 Hidrodinámica, 6. Óptica, 7. Elementos de astronomía, 8. Astronomía física, 9 Arquitectura civil, 10. Arquitectura hidráulica, 11. Tablas de logaritmos y 12. Diccionario. Ambas tuvieron un éxito rápido ya que se fijaron como textos obligatorios en diversas academias de bellas artes, en escuelas de dibujo y en la *Academia Militar de Matemáticas* de Barcelona. Los textos de Bails coincidieron con el carácter que los ingenieros militares imprimieron a sus programas de estudio por influjo francés, además de ser acogida por la *Sociedad de Amigos del País*, y por críticas de autores y autoridades reconocidos.

Se hicieron distintas ediciones de los *Principios de Matemáticas*, la primera fue de 1776, impreso en Madrid; luego la de 1789, editada por la *Real Academia de San Fernando*, donde amplió temas de álgebra; la tercera edición fue de 1799, en Madrid. En la Nueva España se hicieron reimpressiones de la segunda edición española en 1828 y 1840, por parte del *Seminario de Minería*. Algunos cambios de forma, pero nunca de contenido fueron la eliminación de prólogos, cambios de secuencia de capítulos y agregar notas al pie de páginas, entre otras; buscando adaptarla a los programas de los dos cursos de matemáticas y al de física del seminario [López García 1992, 190]. Es interesante referirse al prólogo del tomo III eliminado en las ediciones novohispanas, ya que refleja el estado de desarrollo de las ciencias en España:

No podemos dejar de prevenir que incluye este tomo una novedad que acaso dará qué decir a muchos, y es que en los principios de Astronomia demostramos el sistema de Copérnico ó la opinión del movimiento de la tierra. Una vez que la tenemos como verdadera, y es su objeto un punto de filosofía natural, no cabía en nuestra franqueza disimularlo, y una vez que la demostramos, nos asiste el derecho de pedir que antes de abominar de este sistema se pesen las razones en que le fundamentamos. Sabemos que en otros tiempos se vio como novedad peligrosa esta opinión, y se prohibió seguirla; pero se tiene hoy día por tan desacertada en Roma misma su prohibición, que se ha borrado del indice del expurgatorio, y acá en España salió al publico, sin el más leve reparo ni contradicción un papel póstumo de D. Jorge Juan, ("Estado de

la Astronomía en Europa, y juicio de los fundamentos sobre los que se erigieron los sistemas del mundo, para que sirva de guía al método en que debe recibirlos la nación, sin riesgo de su opinión, y de su religiosidad". Su autor Don Jorge Juan con licencia en Madrid, en la imprenta Real de Gaceta 1774 fol) cuyo asunto es probar el movimiento de la tierra que admiten los copernicanos.

Los índices resumidos de los cuatro tomos de los *Principios de Matemáticas* editados en España son:

Tomo I: 1. Aritmética, 2. Geometría, 3. Trigonometría plana y 4. Geometría práctica.

Tomo II: 1 Principios de Álgebra, 2. Principios de aplicaciones del álgebra a la geometría, 3 Principios de secciones cónicas, 4. De las funciones, 5. De las series, 6. Resolución de ecuaciones compuestas numéricas, 7 De las diferencias, 8. De las diferenciales, 9. Del cálculo diferencial, 10. Del cálculo integral y 11 Principios de trigonometría esférica.

Tomo III: 1. Principios de dinámica, 2. De la estática o del equilibrio y del movimiento de las máquinas, 3. Principios de hidrodinámica, 4. Principios de óptica y 5. Principios de astronomía.

Tomo IV: 1. Principios de geografía, 2. Principios de gnómonica, 3. Principios de arquitectura, 4 Principios de arquitectura civil, 5 Principios de arquitectura hidráulica, 6. Principios de perspectiva, 7. Uso de las tablas logarítmicas de los números naturales.

El libro no contó con un prólogo donde se indicara la finalidad de la obra, ni tampoco de una bibliografía. Se ha manejado [López Piñero 1969, 20; Navascues 1983, 28] que gran parte de la obra fue una fiel traducción de varias obras extranjeras de prestigio que no fueron citadas, de hecho lo único que se encuentra es una afirmación de Bails donde expresa que para mayor claridad y completez de su obra reprodujo el material que estaba mejor escrito sobre el tema. Realmente en los *Elementos de Matemáticas* si refiere las obras y los autores de los que se auxilió, de la misma forma, en el prólogo de esta última obra en su tomo tercero, afirma que se escribió para dar a la nación una obra en su lengua que pudiesen entenderla, con los principales descubrimientos que ha hecho la matemática de un siglo a la fecha.

Los *Elementos*, en su primer tomo contiene los estudios elementales de matemáticas como aritmética (con sus cuatro operaciones básicas para enteros, decimales y quebrados),

trigonometría plana, superficies de sólidos y el arte de la nivelación. El segundo volumen explica las aplicaciones del álgebra y la geometría. El tercer tomo, trató de secciones cónicas, cálculo infinitesimal, trigonometría esférica y de las analogías diferenciales. En este caso, hizo referencia a: *Introducción al análisis de los infinitos* de Euler, *Instituciones Analíticas* de Riccati, *Traité du Calcul Integral* de L'Hospital, *Philosophie Naturalis Principia Matemática* de Newton y de Cramer *Introduction a l'analyse des lignes courbes algebriques*, entre otros; de éste último autor menciona ser deudor para el desarrollo del tercer tomo. A lo largo del prólogo hace referencia a libros relacionados con el cálculo infinitesimal, algunos de ellos aparecen en los inventarios de las bibliotecas particulares de los novohispanos que mencionamos en el primer capítulo y en las bibliotecas de las instituciones educativas que tratamos en el segundo capítulo de esta tesis.

Este tercer volumen contiene secciones sobre cálculo diferencial y cálculo integral, donde desarrolló temas útiles para las siguientes secciones referentes a dinámica, astronomía, arquitectura civil y demás; así como de trigonometría esférica para desarrollar la astronomía. También anexó temas que no habían tratado autores como Riccati, Bezout, Simpson y el abate Marie, entre otros, como fue el recién desarrollado cálculo de variaciones, por lo que la afirmación de plagio es un tanto exagerada, y de hecho más adelante veremos algunas aplicaciones exclusivas de Bails. Para mediados del siglo XVIII, se pusieron de moda los llamados cursos de análisis que fueron obras de varios volúmenes que cubrieron diferentes ramas de las matemáticas, la de mayor éxito fue el *Course de Mathématique* de Bezout, un tratado de seis volúmenes [1764-1769]. Cuyo cuarto volumen trató de los principios de mecánica; el autor expresa que este volumen fue la verdadera razón de ser del libro; esta obra fue la principal influencia de Bails según sus propias palabras [López García 1992, 177; Bails 1779, II, 1].

Con un gran repertorio de obras matemáticas escritas en inglés, francés y latín, Benito Bails tiene un conocimiento amplio y actualizado del cálculo, en el mismo prólogo del tercer volumen de los *Elementos* hace referencia al progreso de las matemáticas en los últimos treinta años, mencionando a los principales exponentes que sucedieron a Leibniz y Newton: los ingleses Cotes, MacLaurin y Simpson, los franceses Clairaut, D'Alembert, Bougainville, Fontaine, Condorcet, Leseur y Jacquier, el alemán Euler, la italiana Agnesi,

Lagrange y los Riccati, además de otros matemáticos que han enriquecido esta rama de análisis [Espinoza Sánchez 2002, 205; Bails 1779, II, 24].

Así, en los *Elementos de Matemáticas*, después de incluir en los primeros tomos la matemática pura o especulativa como la denomina, pasa a temas como el fundamento teórico de todas las líneas curvas algebraicas, tomado de Cramer y Euler; las secciones cónicas tratadas por Riccati y L'Hospital; solución de ecuaciones de segundo grado por construcción y lugares geométricos, tomado de Bezout y L'Hospital, y los tratamientos al respecto de Newton y Euler. Finalmente, lo relacionado con infinitesimales, cálculo diferencial y cálculo integral, sobre lo que Bails afirmó que aunque Euler lo esclareció, Newton tenía sentados los fundamentos desde 1687 y critica a aquellos que quisieron desacreditar el cálculo [Bails 1779, III,13]:

L'Hospital [] alentando su omisión a algunos hombres poco afectos a este nuevo análisis, o poco enterados de la gran conformidad de sus resultados (de Newton), con las ilaciones del método geométrico más rigurosos para que escribieran contra su certeza. Cabalmente los mayores tiros se le hicieron en el mismo país de su nacimiento, donde se publicó un libro con el título irónico de *Analista*, cuyo autor se empeña en desacreditar el cálculo diferencial. Pero salió allí mismo en su defensa el docto Mac Laurin, manifestando sus fundamentos por el método de los antiguos Matemáticos y aplicándole el camino igualmente al cálculo integral, con suma felicidad y magisterio a muchísimos puntos de la Matemática mixta. Pero casi todos estos escritos han seguido distintos rumbos en esta declaración: Euler, de la consideración de las diferencias finitas pasa a considerar las diferencias infinitamente pequeñas, que mira como un caso particular de las primeras; Riccati se empeña en hacer patente lo mucho que concuerda el modo de discurrir de los antiguos en la medición de los espacios curvilíneos con los que siguen los partidos por el nuevo cálculo, y tratando de la geometría del infinito, demuestra algunas proposiciones que son de muchísimo uso en las aplicaciones de los métodos recientes; M. Cousin considera los infinitamente pequeños como el límite de la razón entre las diferencias finitas, y por último, D'Alambert apea en pocas palabras, siguiendo y aclarando la doctrina de Newton, las dificultades que podrían molestar a los principiantes. Por haber seguido M. D'Alambert las huellas de Newton, que considera el cálculo diferencial como el cálculo de los límites de las razones, y por la brevedad y magisterio con que le ilustra, copiamos en una introducción lo que trae sobre este asunto en la citada Obra, sin mas alteración que añadirle un pedacito sacado de Riccati

También enfatiza la distinción respecto a las notaciones usadas por Newton y Leibniz, para establecer cuál manejará en su libro [Bails 1779, III, 18], de los matemáticos ingleses, entre los cuales Newton fue el primero que uso este cálculo, así como Leibniz lo fue en Alemania, usaron cada uno nombres y signos distintos. Para representar la diferencial usó la letra d , y no un punto conforme estilan los ingleses que también llaman a la diferencial con el nombre de fluxión y fluente a la cantidad finita cuyo elemento es la diferencial. Las diferencias infinitamente pequeñas que la mayor parte de los matemáticos denominan

diferenciales, los ingleses las llamaron comúnmente fluxiones, y algunas veces incrementos [Bails 1979, III, 19]:

Porque una cantidad variable, que, al paso que crece, va adquiriendo sucesivamente distintos valores, se puede considerar como que fluye o corre, y de aquí es, que el nombre de fluxión, de que uso primero Newton para expresar la rapidez en el crecer, sirvió después por analogía para expresar el incremento infinitamente pequeño que la cantidad adquiere como fluyendo, usaremos nuestros signos por comodidad y claridad.

Mientras que para el cálculo integral, Bails mencionó que muchos son los que la han desarrollado, pero es de Bezout quien tomará la mayor parte. Estableció que el objetivo del cálculo integral es localizar las cantidades por medio del cálculo diferencial, mientras este último estudia el valor de los incrementos de una cantidad variable, para diferenciar el incremento o decremento de dicha cantidad [Espinoza Sánchez 2002, 205]; esta distinción será aclarada a medida de que se resuelvan los ejercicios propios de cada rama. Mientras que del estudio de las curvas algebraicas, dice que las más familiares son las secciones cónicas [Bails 1979, III, 25]: A su cuadratura procuró Newton reducir cuanto pudo las integraciones de esta naturaleza, que se deben sujetar particularmente a la cuadratura del círculo y de la hipérbola, aunque Bernoulli buscó extender el método de Newton para cuadrar cualquier curva, fracasando.

El cuarto volumen de los *Elementos* se refirió a la dinámica y las leyes del movimiento, apegados a los postulados newtonianos, de hecho enunció las leyes del movimiento en los siguientes términos [Bails 1797 IV, 6-7]:

Ley I: Ningún cuerpo apetece del suyo el movimiento o reposo, y por consiguiente debe preservar en su estado de reposo o de movimiento uniforme a no ser que se le saque de él alguna causa exterior

Ley II: Las mudanzas o variaciones que le sobrevienen al movimiento de un cuerpo son proporcionales a la fuerza motriz y se hacen en línea recta, en cuya dirección obra dicha fuerza.

Ley III: La reacción es siempre igual y contraria a la acción.

Esta manera de redactar las leyes del movimiento newtonianas se pueden contrastar con la forma en que las enunció Newton en los *Principios* (véase capítulo uno, página 69). En este mismo volumen, Bails dio una explicación de la teoría gravitacional pero no para analizar

el sistema del mundo, sino sobre la forma de aplicarla a problemas prácticos [Bails 1779, IV, 22; Espinoza Sánchez 2002, 223-226]:

Por pesantez entendemos la fuerza que impele los cuerpos hacia abajo por líneas verticales o perpendiculares, o la superficie de las aguas, Si fuese la Tierra o la superficie de las aguas perfectamente esférica, las direcciones de la pesantez concurrirían todas en el centro. Pero aunque no sea esta superficie perfectamente esférica, le falta muy poco para serlo; de suerte que respecto de los puntos que hemos de considerar, podemos suponer, sin error substancial, que las direcciones de la pesantez concurren todas en el centro de la Tierra.

Enseguida Bails se refiere al método para obtener el centro de gravedad de cualquier objeto ubicado en un determinado lugar de la Tierra, no sin antes especificar lo que entiende por un cuerpo sin importar su volumen o figura [Bails 1779, V, 77-78]:

No es mas que un conjunto de una infinidad de otros cuerpos o partes materiales, que podemos considerar como otros tantos puntos, por el mismo método podremos determinar el centro de gravedad de un cuerpo sea la que fuere la figura [.]. Cuando los cuerpos considerados como puntos estuvieren en diferentes planos, se concebirán tres planos, el uno horizontal y los otros dos verticales y perpendiculares unos a otros. Desde cada punto bajará una perpendicular a cada uno de dichos planos, se tomará la suma de todas las masas, se hallarán las tres distancias a que estará cada uno de dichos planos el centro de gravedad.

La explicación de este punto es buscar la suma de las derivadas de la fuerza de los cuerpos, que siguen el impulso de la gravedad. Una vez hecha la suma de todas las fuerzas se puede concebir el peso de un cuerpo concentrando en su centro de gravedad, el mismo efecto que puede producir en virtud de su actual distribución de todas las partes del cuerpo [Espinoza Sánchez 2002, 225; Bails 1779, V, 78].

Con base en este principio, los agrimensores y arquitectos de la *Academia de San Carlos* construyeron los puentes para atravesar los ríos caudalosos del territorio novohispano, como ya hemos visto en el primer capítulo de esta tesis donde González y Contanzó lo aplicaron en la construcción del puente de mampostería, cuyo centro de gravedad es la basa, es decir, su base o cimientos en donde descansa el peso de toda la construcción y el terraplén de ambos lados del nuevo camino en elaboración. El libro de Bails era el único en plantear y resolver este tipo de problemas argumentando el uso de la teoría gravitacional de Newton [Espinoza Sánchez 2002, 207, 224].

En el quinto volumen se estudia la hidrodinámica, analizó la ley del equilibrio de los fluidos. En esta parte Bails siguió el contenido de los *Principios* dedicado al movimiento de

los cuerpos en medios resistentes, pero con la ventaja de explicar el movimiento de las aguas de los ríos mediante la dinámica e hidrodinámica expuestas por Newton. El sexto volumen trató sobre óptica, apoyándose en la *Óptica* y en las *Lecciones de Óptica* de Newton. Bails estudió el fenómeno de refracción de la luz blanca a través de un prisma para descomponerla y obtener los siete colores del arcoiris; en especial analizó el telescopio reflector inventado por Newton y extrapola la teoría con base en el método de fluxiones para construir un microscopio reflector [Espinoza Sánchez 2002, 214].

Este análisis nos da una idea de la influencia que ejerció Newton en la obra de Bails, además de sus fuentes para redactar el libro, los temas importantes y la finalidad de la obra. Este texto tuvo el propósito de servir como auxiliar didáctico en las clases de matemáticas que Bails impartió en la *Real Academia de San Fernando* de Madrid, así como una actualización de las matemáticas en España, pero principalmente ayudar a comprender la física newtoniana y su utilidad para resolver problemas de su entorno

Hemos visto las principales divisiones del libro, en particular para estudiar el cálculo infinitesimal trató primero las funciones (que clasificó en verdaderas y aparentes), y luego las series y las diferencias finitas, con sus aplicaciones [Bails 1972, II, 83]. Definió una cantidad variable como aquella que crece o mengua, lo que para él fue sinónimo de función [Bails 1972, II, 139]. Agrega que cuando las cantidades variables crecen o decrecen en cantidades finitas se llama cálculo de diferencias, y cuando ocurre en cantidades infinitamente pequeñas se llama cálculo de las diferenciales, sobre lo que expresa [Bails 1972, 146-150]:

Toda cantidad es por esencia capaz de aumento o disminución al infinito, cuando crece se acerca al grado máximo de los incrementos [. . .]. Este límite de los aumentos es lo que los matemáticos llaman el infinito, cuya expresión es esta:

$\frac{a}{0}$ o bien ∞ , el signo con que se señalan.

Una cantidad que va menguando va siendo cada instante menor, va acercándose al grado máximo de sus disminuciones que es cero, o sea el límite de los decrecimientos es cero [. . .]. Una cantidad nunca alcanza su límite porque si lo alcanzara dejaría de ser cantidad [. . .]. Ni el infinito ni el cero son cantidades; son términos, son límites a los cuales las cantidades se pueden acercar más y más, sin nunca jamás llegar a ellos [. . .]. Una cantidad es infinita cuando es mayor que otra cualquiera señalable [. . .]. Una cantidad es infinitamente pequeña cuando es menor que toda cantidad asignable [. . .]. Las diferencias finitas de las variables y de sus funciones pueden menguar de modo que se vayan acercando más y más al último grado o límite de sus decrecimientos; cuanto más próximas las supongamos a este estado, tanto menores serán, tanto

más fundamento tendremos para considerarlas como cantidades menores que cualquier cantidad señalable, y llamarlas infinitamente pequeñas. Llegadas a este estado las expresaremos con la letra d , por manera que la diferencial de la variable x es dx , la de la función será dy [...]

Entre las diferencias finitas x e y hay una razón que se expresa:

$$\frac{\Delta x}{\Delta y}$$

y cuando estas diferencias se consideran llegadas al sumo grado de decremento su expresión es

$$\frac{dx}{dy}$$

El asunto del cálculo diferencial es señalar la razón entre estas diferencias infinitamente pequeñas, o la razón del límite de las diferencias finitas

Es interesante la comparación de la definición de estos términos con la que realiza Newton, aunque con la diferencia de notación, para contrastar, aunque como Bails mismo lo menciona, tomó esta parte teórica de dicho autor. También indicó [Bails 1972, 155] cuatro postulados, que a su vez tomó de Newton [1987, 255]:

1. No crece ni mengua una cantidad finita cuando se le añade una cantidad infinitamente pequeña.
2. No crece ni mengua el infinito porque se le añada o quite una cantidad finita.
3. No crece ni mengua una cantidad infinita de orden determinado porque se le añada o quite un infinito de grado menor.
4. No crece ni mengua un infinito pequeño de grado determinado porque se le añada o quite otro infinitamente pequeño de grado menor.

Usando estas reglas y acoplándose a que el asunto del cálculo diferencial es hallar las diferencias infinitamente pequeñas de las cantidades variables, el último decremento o el límite de las diferencias finitas, procedió a calcular diferenciales como la siguiente [Bails 1972, II, 155]:

De $y = x^2$, pongamos $x + dx$ en lugar de x , de lo que saldrá $y' = x^2 + 2xdx + dx^2$; luego $y' - y = dy = x^2 + 2xdx + dx^2 - x^2 = 2xdx + dx^2$. Luego $d(x^2) = 2xdx + dx^2$. Pero $2xdx$ dx^2 $2x$ dx , luego el término dx^2 es infinitamente menor que $2xdx$, luego puede o debe desecharse. Finalmente $d(x^2) = 2xdx$

En general, podemos decir que siguió los subsecuentes pasos: 1) incrementó la variable en una cantidad dx ; 2) restó la función original de la función incrementada y 3) si el caso lo amerita, establece razones y proporciones para desechar el término infinitamente menor según lo señalado en los postulados. También calculó las reglas de derivación básicas que

conocemos, así como las correspondientes a funciones trigonométricas, logarítmicas y derivadas de orden superior. Pasó luego a las aplicaciones, entre las que estuvieron: Series, cálculo de tangentes y máximos y mínimos. Por ejemplo, calculó la tangente a una curva [Bails 1972, II, 175]:

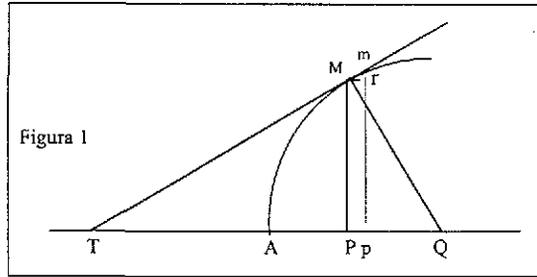


Figura 1

Para construir una tangente a una línea curva AM , se le considera como un polígono de una infinidad de lados infinitamente pequeños; la prolongación de MT de uno de sus lados Mm será su tangente (figura 1), y la determinaremos respecto de cada punto M con calcular el valor de la subtangente PT , o de la porción de la línea en la cual se encuentran las abscisas, que se forman desde la ordenada PM hasta el punto T de la tangente. Por lo que el valor de la subtangente la calcula pensando que está formada por rectángulos que se forman desde los extremos M y m del lado infinitamente pequeño Mm , mediante las ordenadas MP y mp y por el punto M se traza la línea Mr paralela a AP , eje de las abscisas. El triángulo infinitamente pequeño Mrm será semejante al triángulo finito TPM y da una proporción: $rm : rM :: PM : PT$. Luego, si llamamos Ap , x , PM , y ; Pp o su igual Mr será dx y rm será dy , tendremos:

$$dy : dx :: y : PT = y \frac{dx}{dy}, \text{ ecuación general de la subtangente.}$$

Esta ecuación es la fórmula general para determinar la subtangente de toda curva, sin importar el ángulo que las ordenadas forman con las abscisas, con tal de que las ordenadas sean paralelas unas con otras. Algo similar realiza Newton en sus *Principia* para calcular tangentes.

Respecto al cálculo integral, lo caracterizó como el inverso del cálculo diferencial, da a conocer los símbolos que usará y comienza con los ejercicios, demostró algunas reglas de integración y calculó varios tipos de integrales: de potencias, por partes, trigonométricas, logarítmicas y exponenciales, entre otras. Resolvió integrales del tipo:

$$\int \frac{dx}{x}; \int \frac{xdx}{aa + xx}; \int \frac{dx}{\sqrt{xx + aa}}; \int \frac{dx}{\sqrt{2ax + xx}}; \int \frac{dx}{aa - xx}$$

Agrupadas en tres casos: 1) por aplicación directa de fórmula; 2) por complementación de una constante y 3) por multiplicación de una función x , lo que realmente hace es un cambio de variable. Este tratamiento no varía mucho a la forma en que actualmente lo desarrollamos, caso contrario sucede cuando calcula integrales referentes a arcos de círculos, por ejemplo [Bails 1972, II, 217]:

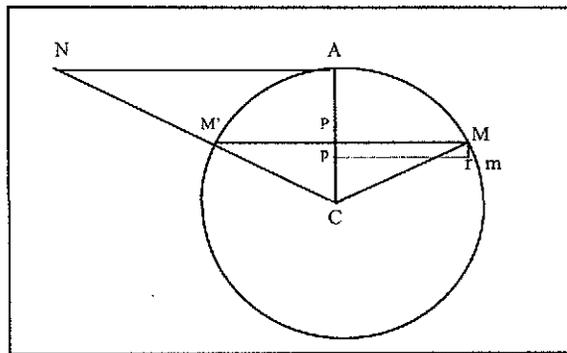


Figura 2

En la figura dos, si llamamos a al diámetro del círculo cuyo arco es AM ; la abscisa $x = AP$ y la ordenada $PM = y$; y después de trazar pm infinitamente próxima a PM , y Mr paralela a AC , llamamos al arco $AM = u$; entonces $Pp = Mr = dx$ además $Mm = du$ por ser pm infinitamente próxima a PM ; y de la semejanza de los triángulos CPM y Mrm [Mm es un segmento de recta pues considero al círculo como un polígono de lados infinitos, uno de los cuales es Mm] se obtiene la relación:

$$PM \cdot CM :: \frac{Mr}{Mm}, \text{ o } \frac{\sqrt{ax - xx}}{1} = \frac{dx}{du}$$

al estar el origen de coordenadas en A, se deduce

$$du = \frac{1}{2} \frac{adx}{\sqrt{ax-x^2}} \quad ; \quad \text{así } \int \frac{1}{2} \frac{adx}{\sqrt{ax-x^2}} \quad \text{es el arco } AM$$

El valor del arco AM lo pudo obtener del triángulo rectángulo CPM al encontrar el valor del ángulo ACM , con lo cual obtuvo el valor de la integral propuesta, de donde:

$$\cos ACM = CP/CM = \frac{\frac{a}{2} - x}{\frac{a}{2}} \quad ACM = \cos^{-1} \frac{\frac{a}{2} - x}{\frac{a}{2}} \quad AM = \cos^{-1} \frac{\frac{a}{2} - x}{\frac{a}{2}}$$

Por consiguiente, requería hallar el valor de esta integral cuando x tiene un valor determinado. Por lo que restó de:

$$CA = \frac{1}{2} a \quad (\text{el radio}),$$

el valor conocido de $x = AP$ quedando CP . Luego, del triángulo rectángulo CPM se conoce el ángulo recto, la hipotenusa

$$CM = \frac{1}{2} a$$

y el lado CP ; logrando valuar el ángulo ACM , o conociendo los grados del arco AM será fácil hallar su valor, obteniendo el valor de la integral propuesta.

Resolviendo la integral de la forma actual:

$$\int \frac{1}{2} \frac{adx}{\sqrt{ax-x^2}} = \int \frac{\frac{1}{2} \frac{adx}{\left[\left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left[\left(\frac{a}{2}\right)^2 - ax + x^2 \right] \right]}} = \int \frac{\frac{1}{2} \frac{adx}{\left[\left(\frac{a}{2}\right)^2 - \left(\frac{a}{2} - x\right)^2 \right]}} = -\frac{1}{2} a \int \frac{du}{\left[\left(\frac{a}{2}\right)^2 - u^2 \right]} =$$

sí $u = \frac{a}{2} - x, du = -dx$

$$\frac{1}{2} a \cos^{-1} \frac{\frac{a}{2} - x}{\frac{a}{2}}, \quad \left[\text{ya que } \frac{d}{dx} \cos^{-1} x = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \right].$$

Algunas sutilezas respecto a la manera de resolver las integrales que se refieren al círculo, con respecto a lo que hacemos en la actualidad son, por ejemplo, el uso de la notación donde se alterna entre exponentes x^2 y la expresión xx ; además primero encuentra que las integrales del tipo mostrado son arcos de circunferencia, esto lo hace diferenciando la función del arco del círculo en diferentes situaciones según varían los ejes coordenados, obteniendo así los integrandos. Como la integración y la diferenciación son procesos inversos para Bails, al integrar se obtiene la función primitiva del arco de circunferencia. Como estos, realizó otros ejemplos similares, también el procedimiento para calcular áreas bajo la curva muestra algunas contrastes respecto del actual

Bail solucionó este tipo de integrales pensando de manera geométrica, después procedió a solucionar las integrales que se refieren al círculo en términos de los arcos de circunferencia, en donde dio por hecho que la abscisa es el $\cos x$ y la ordenada es el $\sin x$, sin aclarar que para que esto suceda el radio debe ser igual a la unidad. En los *Elementos* en cambio, no descuidó estos detalles y lo aclaró perfectamente, con lo que llegó a la expresión del tipo [Bails 1979, IV, 391]:

$$\frac{-dx}{\sqrt{1-xx}}$$

que sería la diferencial de un arco u , cuyo coseno es x . No realizó la integral ya que en lugar de ello la identificó como $\arccos x$ (arco coseno de x) la obtiene como $\text{arco}AM$ (arco de AM)

No queda claro en los *Principios de Matemáticas* si Bails trató de dar un método de solución directa para las integrales que se refieren al círculo a través de la geometría, en cambio en los *Elementos de Matemáticas* expresó al respecto lo siguiente [Bails 1979, IV, 391]:

Algunos usos del método para integrar por aproximación: La integral de muchas diferenciales que se realizan por aproximación se pueden sacar sin reducirlas primero a series, y en esta clase están comprendidas todas las diferenciales que pueden reducirse al círculo o a los logaritmos. Porque como en las tablas de los logaritmos, senos, tangentes, etc., se hallan los valores de los logaritmos, y de las diferentes partes del círculo, son de muchísimo socorro para concluir con más brevedad la integración de las expresadas diferenciales. Es, pues, muy importante dar señas seguras para conocerlas, aquellas por lo menos que ocurren con frecuencia.

Parece que Bails asumió dos ideas diferentes del cálculo integral, la primera fue la de los *Principios*, donde el análisis averigua la razón que tienen unos con otros los incrementos y son el fundamento del cálculo de los infinitos [Bails 1972, II, 83] y comprenderá funciones, series, cálculo diferencial y cálculo integral. El cálculo infinitesimal está compuesto del cálculo diferencial y el integral [Bails 1972, II, 201]. En el índice de esta obra se observa que las diferenciales están en el capítulo de las diferencias finitas y el cálculo diferencial aparece en el siguiente capítulo. Mientras que en los *Elementos*, el cálculo infinitesimal, formado por el cálculo diferencial y el cálculo integral, no presentó los antecedentes de funciones, series y diferencias finitas, y el método geométrico es menos explícito [López García 1992, 210].

El método geométrico es algo que influyó fundamentalmente en la obra de Bails, a tal grado que da la impresión de una matemática estática, sin movimiento y el cálculo infinitesimal se ve como una prolongación de la geometría [López García 1992, 215]. En los temas mencionados no hay aplicaciones, pero en el tomo III que está dedicado a la física, hizo uso de esta herramienta. Por ejemplo, en el capítulo de determinación de centros de gravedad de las superficies y de los sólidos, y en temas como el movimiento uniforme acelerado, palanca y tablas de logaritmos, resolvió varios problemas apoyándose en el cálculo diferencial e integral.

Bails no recurrió a los trabajos de Euler, como el mismo lo expresa, por considerarlo difícil de sintetizar. Los demás autores que consultó sólo recurrieron a Euler para ciertos aspectos, algunos por ser anteriores al mismo, como L'Hospital, y el resto cuyas obras aparecieron entre 1750 y 1760 tomaron de Euler el concepto de función, la notación de éste, las notaciones de las funciones exponenciales, logarítmicas y trigonométricas, algunos desarrollos en series de potencias de algunas funciones y los cuatro casos típicos en que se divide la transformación de las fracciones racionales, las diferencias y los coeficientes diferenciales.

Todo lo anterior indica que algunos de los conocimientos expuestos por Bails datan de la primera mitad del siglo XVIII y algunos ya habían sido superados para cuando escribe sus libros, tanto en contenido científico como en la forma de ser presentados

En los *Principios*, aparecen ya problemas típicos que por su recurrencia en los libros de texto de cálculo diferencial e integral usados en los últimos doscientos años, incluyendo algunos usados todavía, merecen ser calificados de clásicos. Por ejemplo, el siguiente problema aparece en Bails [1772, II, 188] y también en el libro de Granville [1986, 74]: Determine el cilindro máximo que se puede inscribir en un cono (versión de Bails); o bien, hallar la altura del cilindro de volumen máximo que puede inscribirse en un cono circular recto dado (versión de Granville)

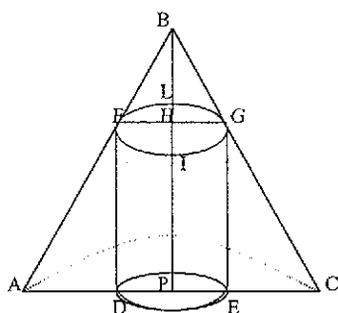


Figura en Bails (1776)

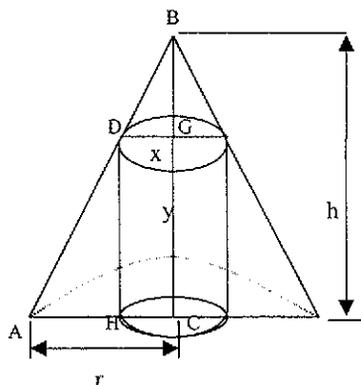


Figura en Granville (1986)

Mostraremos mediante el siguiente cuadro comparativo la forma en que cada autor resuelve el ejercicio.

Estudio de Bails vs. Granville		
Estructura	Bails (1776)	Granville (1986)
Hipótesis	Llamemos a a la altura BP del cono; b al diámetro AC de su base; x al diámetro $FG = DE$ del cilindro, considerándolo como variable; p al área de un círculo de diámetro uno	Sugerencia: Sea $AC = r$ y $BC = h$

<p>Apoyos geométricos</p>	<p>Ya que las áreas de los círculos tienen unas con otras la misma razón que los cuadrados de sus diámetros, será $I^2 : x^2 :: p : px^2$ igual al área del círculo <i>FIGL</i>. De los triángulos semejantes <i>APB</i> y <i>ADF</i> sacaremos:</p> $AP \cdot BP : AD \cdot DF, \text{ o}$ $\frac{1}{2} b : a :: \frac{1}{2} b - \frac{1}{2} x :$ $\frac{ab - ax}{b} = DF$	<p>Volumen del cilindro igual a $\pi x^2 y$.</p> <p>Pero de los triángulos semejantes <i>ABC</i> y <i>DBG</i> se deduce:</p> $r : x = h : h - y \therefore x = \frac{r(h - y)}{h}$
<p>Expresión o función</p>	<p>Cuyo valor multiplicado por el área px^2 hallada dará:</p> $\frac{pabx^2 - pax^3}{b},$ <p>y será la expresión de la solidez del cilindro que ha de ser un máximo, haremos por lo mismo su diferencial</p>	<p>Por tanto la función por estudiar es:</p> $f(y) = \frac{r^2}{h^2} y(h - y)^2$
<p>Solución</p>	$\frac{2pabxdx - 3apx^2 dx}{b} = 0$ <p>de donde sacaremos</p> $x = \frac{2b}{3} \text{ y } DF = \frac{a}{3}$ <p>Infírase de aquí que el cilindro máximo inscrito en el cono dado es aquel cuya altura es un tercio de la altura del cono.</p>	<p>Luego, la solución es:</p> $\text{Altura} = \frac{1}{3} h$

Donde se debe notar lo siguiente: En Bails no existe una diferencia entre variables dependientes e independientes, sólo existen variables pero no una función. El diámetro del cilindro es el que se tomará como variable. No usa fórmula para encontrar el volumen del cilindro, primero encontrará el área de la base por razones y proporciones para después multiplicar por la altura, la cual encuentra relacionando los valores conocidos. Esto se debe a que en la geometría que desarrolló Bails no hay fórmulas para áreas, ni volúmenes, ni el símbolo de π , lo que hace es usar $22/7$ o $355/113$, y a través de razones y proporciones resuelve todo. En Granville, el autor establece desde el principio un lenguaje que respeta a lo largo del libro, basta con que asigne x para entender que será la variable independiente, y la variable dependiente. Granville usa fórmulas para el volumen del cilindro, la que expresa en función de las variables y a partir de la cual establece la función por estudiar.

Revisemos ahora algunas aplicaciones de las máquinas e instrumentos en cálculos de situaciones concretas, donde se aprecia la necesidad de conocer la mecánica newtoniana para entender el funcionamiento de las mismas. Cabe aclarar que no existe una indicación explícita de Bails sobre de quién toma la teoría, salvo lo que ya hemos mencionado. Los dos primeros tomos de los *Principios* trataron sobre la matemática elemental. No es hasta el final del segundo libro donde ilustró algunas aplicaciones en la sección de geometría práctica. De esta sección trata sobre cómo hallar sólidos iguales o semejantes a otros de ciertas características, de cómo calcular pesos y medidas de objetos metálicos, sobre nivelación de terrenos y medidas en ellos, entre otros.

Veamos un ejemplo [Bails II, 1772, 360-365]: Dentro de las aplicaciones de la geometría consideró medir distancias entre puntos sobre la superficie de la tierra. Esta medición presentó dificultades, ya que la superficie de la tierra no es plana sino redonda. En particular para la medición de las distancias largas se dio cierta imperfección que fue forzoso corregir, para distinguir la apariencia de la realidad. Luego demostró que la tierra es redonda y no plana mediante lo siguiente: Cuando un navío empieza a descubrir la costa, los objetos más altos son los primeros que divisan los navegantes, y de ellos divisan primero lo más alto. Como de una torre primero ven la cumbre, de un edificio la cubierta, descubriendo poco a poco lo demás, hasta que por último ven su pie. Esta es la causa por que en el instante que desde el navío se descubre una torre, por ejemplo, no se ve el terreno

de sus alrededores Aplicando lo enunciado de forma concreta para medir cierta distancia, se tiene [Bails 1772, II, 356]:

Cuando dos puntos a y b , están a igual distancia del centro C de la tierra, de manera que ambos estén en su circunferencia, se dice que están a *nivel*. Por consiguiente si de los dos puntos, uno está en tierra llana y el otro en la cumbre de una montaña, y por lo mismo más alto que el primero, y más apartado del centro de la tierra como a , el punto e no estará a un nivel Sin embargo, también están a un nivel dos puntos aunque no estén en la superficie de la tierra, con tal que estén a una misma distancia de su centro, como d y e ; en cuyo caso están en una línea recta que toca la circunferencia, y a igual distancia del punto de contacto, cuya línea se llama *línea de nivel*. Dos puntos que están el uno en f , punto de contacto, y el otro en e más allá, o a diferentes distancias del punto de contacto, como d y g , no estarán ni a igual distancia del centro de la tierra, ni a un nivel; estando conforme se ve, el uno, g , más alto que el otro respecto de la circunferencia. Cuando los dos términos o puntos de la tangente no están a igual distancia del centro se llaman *puntos de nivel aparente*. El objeto de la nivelación es averiguar cuando uno de los puntos es más alto que el otro respecto de la superficie o del centro de la tierra, lo que es lo mismo que averiguar cuando el nivel aparente excede al verdadero, o la diferencia que va de uno a otro: los puntos f y e , están a un nivel por estar en la misma tangente, pero ese nivel no es más que aparente; y para saber cuando e está más alto que f , es preciso averiguar el valor de be , exceso que el nivel aparente lleva al verdadero o la línea ce a la cf o cb . Bien se percibe que estas diferencias son tanto mayores, cuanto más distan uno de otro los dos términos, pues la diferencia hg de nivel aparente entre los términos f y g es mayor que la be diferencia de nivel correspondiente a los términos f y e (figura 3)

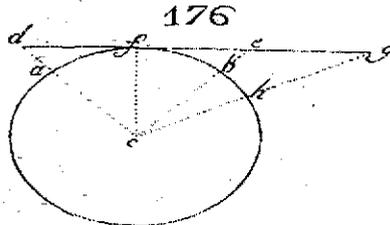


Figura 3

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Entre los instrumentos para nivelar consideró varios, según las circunstancias [Bails 1772, 357]: Cuando se quiere averiguar si todos los puntos de una línea de corta extensión están a un nivel, usa el *nivel de aire*, cuyo instrumento es un tubo lleno de vino, en el cual se deja una ampollita de aire, la cual ocupa el medio G del tubo cuando está sobre un plano perfectamente horizontal (figura 4). Otro caso es el *nivel de albañil*. Este es un triángulo isósceles sin base, cuyos lados abrazan un arco de círculo. Desde el vértice del triángulo cae una línea perpendicular a la base, señalada en el arco; del extremo superior de esta línea cuelga un plomo vertical que cae sobre la base del instrumento cuando está perfectamente horizontal (figura 4). Este nivel determina mejor que el de *aire* la cantidad de la inclinación de un plano respecto de la horizontal.

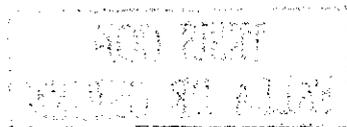
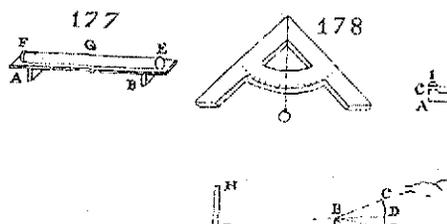


Figura 4



El último caso es el nivel de agua $CABD$, que se compone de un tubo de hoja de metal, acodillado en A y B . En los dos tubos AC , BD se introducen otros dos de vidrio I , K , pegados el uno en AC , el otro en BD . En la parte inferior, y en medio del tubo AB hay una virola para colocarle en su pie. Se llena de agua el tubo hasta que sube a la altura de dos o tres pulgadas en los dos tubos de vidrio. La línea CD que pasa por la superficie del agua en ambos tubos IA , KB , es una línea horizontal. De donde, se observa por los dos tubos A , B de dicha superficie. Y sobre la misma línea algún objeto señalará el nivel aparente, si está a más de cien varas de distancia, de lo contrario, podrá tomarse por el nivel verdadero, porque en tan corto trecho es despreciable el error de la vista entre uno y otro.

De aquí, procedió a indicar las formas en que se pueden colocar los instrumentos, para después contemplar los casos posibles: variación del observador y del punto donde se coloca el instrumento, bajar o subir el alcance del instrumento, variar en un caso específico la distancia del instrumento, y variar ángulos, entre otros (figura 5); concluyendo [Bails 1777, 365]: la diferencia entre el nivel verdadero y el aparente, sigue la proporción del cuadrado de las distancias. De donde obtuvo una relación de proporción y de ahí lo aplicó a casos particulares, obteniendo una tabla de diferencias entre el nivel aparente y el verdadero. Luego mencionó los casos en que para nivelar techos muy grandes, los niveles mencionados no son aplicables, por lo que recurrió a construir otros instrumentos que conjuntan los principios de los tres mencionados [Bails 1972, II, 363]

Posterior a esto, habló de prácticas de nivelación, tipos de nivelación (simple y compuesta), del perfil de la nivelación, que obedecen a variar las condiciones del problema (figuras 189-194 del texto original).

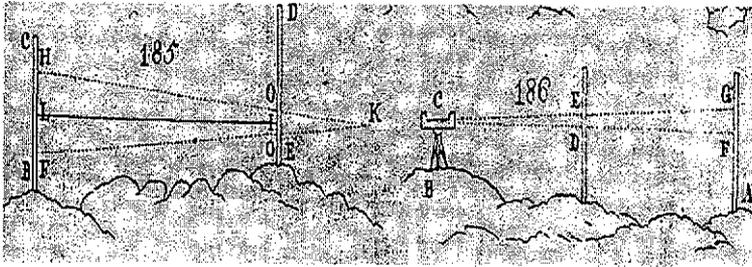


Figura 5

Fig. Tabla de las diferencias entre el nivel aparente y verdadero a diferentes distancias, cuyas diferencias están calculadas hasta milésimas de vara.

Distancias en varas.	Diferencias.	Distancias en varas.	Diferencias.
300.	0,005	2300.	0,347
400.	0,010	2400.	0,378
500.	0,016	2500.	0,410
600.	0,023	2600.	0,443
700.	0,032	2700.	0,478
800.	0,043	2800.	0,514
900.	0,053	2900.	0,551
1000.	0,064	3000.	0,590
1100.	0,079	3100.	0,630
1200.	0,094	3200.	0,672
1300.	0,110	3300.	0,713
1400.	0,127	3400.	0,758
1500.	0,147	3500.	0,804
1600.	0,167	3600.	0,851
1700.	0,189	3700.	0,898
1800.	0,212	3800.	0,947
1900.	0,236	3900.	0,998
2000.	0,262	4000.	1,050
2100.	0,289	5000.	1,640
2200.	0,317	10000.	6,563

Otro ejercicio interesante, desde la perspectiva que nos importa, fue la medición de líneas en un terreno [Bails 1777, II, 370]; los instrumentos que usó fueron: *cuerdas o sogas*, con *cadena* o con *compases*. Como estas mediciones no se ejecutaron con la exactitud necesaria, a no ser que fuera invariable el instrumento (la soga se encogió con la humedad, la cadena varió de eslabones, el peso de la soga varió, entre otros casos). El compás fue el más seguro para medir líneas en el terreno, incluyendo el compás de varas. Esta es una regla de metal o madera, armada con dos puntas de acero móviles que se afianza a la distancia que se quiere una de la otra.

Y de aquí pasó a mostrar la forma de operar los instrumentos cuando se desea medir una base, por ejemplo un terreno llano o uno inclinado. También lo hizo mediante ángulos, pero entonces habló de cuatro instrumentos más: La *plancheta*, el *grafómetro*, el *cuadrante de círculo* y la *brújula*; como en los anteriores, describe los instrumentos y ejemplifica cómo usarlos y dio las variantes de las circunstancias en que se aplican. Luego aparece la medición de alturas, con un ejemplo muy ilustrativo, conocer lo alto de un campanario donde aplica lo ya estudiado. Finalmente tomó la medida de distancias en el ejemplo de calcular lo ancho de un río, con sus respectivas variantes.

Cabe señalar que incluso mostró el modo de levantar planos, mapas topográficos y mapas geográficos de corta extensión, siguiendo el mismo procedimiento: definir lo que se necesita, describir los instrumentos necesarios, aplicarlos en el caso más sencillo, aumentar las variables y dificultad del problema hasta llegar a una circunstancia concreta real; en este proceso si es necesario hacer uso de proposiciones, se enuncian y son demostradas. Como muestra representativa de instrumentos, pueden revisarse las figuras correspondientes al tomo dos de la obra original; las figuras del tomo tres de los *Principios* corresponden a dinámica, estática, hidrodinámica, astronomía, y óptica, no se muestran ejemplos de ello, porque de hecho prácticamente todo el libro exhibe casos del tipo que ya presentamos.

Como ya mencionamos, en el libro existe una diversidad de fuentes y por lo tanto una simbología no unificada, por ejemplo cuando habla de función en ocasiones la expresa como X mientras en otros usa $y = ax^2 + bx$; una variable elevada al cuadrado aparece como x^2 y otras como xx , extrapola el uso de razones y proporciones de números finitos al manejo del infinito, por ejemplo en [Bails 1772, II, 149]: $1 \cdot x \cdot xx$, en el supuesto de ser x infinita, es infinitamente mayor que 1, también será xx infinitamente mayor que x cantidad infinita. Será pues x infinita de primer grado, xx infinita de segundo grado y así sucesivamente. Algo similar sucede con:

$$\frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{dx}{dy}$$

Problema con el que se tropezó L'Hospital, quien lo heredó a Leibniz, al intentar que la razón de incrementos finitos (izquierda de la igualdad) se extendiera a la razón de incrementos infinitamente pequeños, infinitesimales (derecha de la igualdad). Los métodos



considerados en el cálculo integral son semejantes a los popularizados por los Bernoulli y las aplicaciones se refieren a aspectos geométricos [López García 1992, 214-215].

Así, hemos analizado como la influencia de Newton en los *Principios* y en los *Elementos* de Bails, se denota por las citas y los fundamentos teóricos que él mismo autor realizó. Pero, además, esta influencia se muestra en la forma de manejar el cálculo diferencial y el cálculo integral, de ahí la necesidad de revisar estas cosas con cierta amplitud. Finalmente, el uso de instrumentos para el desarrollo de problemas prácticos de diversa índole se vio ejemplificada con lo que mostramos, y conforme aumentan las aplicaciones también lo es la complejidad de los instrumentos y por tanto la necesidad de herramientas matemáticas para explicar su funcionamiento, que es donde aparece la utilidad teórica de Newton, entre otros autores. Como el material de aplicación es muy extenso, nos hemos restringido a esta muestra únicamente.

Recuérdese que buscamos la forma de influencia de la teoría newtoniana en los libros de texto a analizar, ya que fueron el vehículo mediante el cual las ideas modernas tomaron forma y difusión en la Nueva España, y para muestra están los profesores y alumnos de *San Carlos* y *Minería* con su producción intelectual; revisemos los dos restantes.

3.4 JUAN JUSTO GARCÍA: *ELEMENTOS DE ARITMÉTICA, ÁLGEBRA Y GEOMETRÍA*

Juan Justo García publicó sus *Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría* en 1782. Fue usado como libro de texto para el curso de matemáticas en el *Real Seminario de Minas* de la Nueva España en 1793, aunque no se sabe con certeza cuándo fue abandonado, a recomendación del profesor de matemáticas José Andrés Rodríguez que ya lo conocía desde antes de su llegada a la Nueva España en 1789 y recomendó abandonarlo como texto básico. Se empleó esencialmente por su carácter de aplicación a la práctica minera, de modo que los alumnos aprendieron cómo usar las reglas en las prácticas que realizaron durante el ejercicio de su profesión [Ramírez 1982, 100], y será la obra con la que inicien las clases de matemáticas en el seminario. Fue escrito para utilizarse en el *Real Seminario de Nobles* de Madrid y en la *Universidad de Salamanca*, donde fue catedrático el autor; posteriormente fue usado como libro de texto en otras universidades como las de Santiago, Oviedo, Sevilla y Valladolid (en España) y en *San Carlos y Minería* (en México).

Juan Justo García nació en Zafra de Badajoz en 1752 y murió en Salamanca en 1830. Estudió en la *Universidad de Salamanca* recibiendo de bachiller en artes en 1773, se graduó en teología un año después, para esa época estudió dos años de matemáticas. En 1777, el rey le asignó en propiedad la cátedra de elementos de aritmética, álgebra y geometría. Para 1779, terminó de redactar su libro con el mismo nombre, pero no encontrando quien se lo publicara, él mismo lo financió en 1782. En 1810, por la ocupación de Salamanca tuvo que abandonar la ciudad, Fernando VII lo separó de la cátedra en 1816, cuatro años después se le reincorpora e indemniza. En este nuevo periodo publicó *Nuevos elementos de geografía general* [1819] y *Elementos de la verdadera lógica* [1821], llegó a desempeñar varios puestos públicos.

Según palabras de López Piñero [1983, 368], este libro contó con una espléndida introducción histórica, del estilo de las que aparecen en los libros de Saurín, Gherli y Riccati, en la que expuso la evolución de la aritmética, del álgebra y la geometría, desde los griegos hasta el momento, y describió el estado de los problemas pendientes de solución en cada uno de los temas. La obra en dos tomos contiene: aritmética, elementos de geometría, trigonometría, aplicaciones de álgebra a la geometría, cálculo diferencial, cálculo integral, series y aplicaciones del cálculo infinitesimal y trigonometría esférica. Se hicieron cinco reimpressiones sin cambios esenciales con respecto a la primera. El contenido y distribución de los temas se parece a los dos primeros tomos de los *Principios de Matemáticas* de Benito Bails, sólo que la obra de García no es un compendio. El ejemplar carece de prólogo y referencias bibliográficas [López García 1992, 223].

El cálculo infinitesimal es el cuarto capítulo y va antecedido de una descripción de curvas particulares conocidas, como la cuadratriz, la cicloide, la espiral hiperbólica y la logarítmica, entre otras. El de cálculo infinitesimal comprende las secciones de [García 1815, 234]: series, logaritmos, cálculo diferencial y cálculo integral. El objetivo del cálculo infinitesimal para García fue considerar la relación entre los incrementos o decrementos que sobrevienen a cualquier cantidad variable, para llegar a cierto estado. Dichos aumentos o decrementos que son infinitamente pequeños o elementos de las cantidades, pueden mirarse bajo dos aspectos diferentes, que dividió en dos ramas al cálculo infinitesimal, en

uno que se llamó cálculo diferencial o de las fluxiones y el otro que fue el integral o de las fuentes. Haciendo uso del cociente de dos cantidades explicó lo que es una cantidad infinita, infinitamente pequeña y sus diferentes órdenes y propiedades. También estableció reglas para el manejo de los infinitos, semejantes a las de Bails. Las únicas referencias bibliográficas fueron a Euler, en la parte de series, y Ulaq en la de logaritmos [García 1815, 238].

Respecto al cálculo diferencial ejemplificó su método a través del siguiente ejercicio [García 1815, 242]:

Por el modo en que se sacan se llaman *diferenciales* y se representan con la letra *d* puesta al lado de las cantidades cuyas partes significa. Por ejemplo, si las cantidades pequeñas x , y , crecen en un instante de una parte infinitamente pequeña dx , dy vendrán hacer $x+dx$, $y+dy$ y la diferencia entre lo que son ahora y lo que eran antes será: $x+dx+y+dy-x-y = dx+dy$, estas son las diferenciales de x , y , que se sacarán de cualesquiera cantidades sumadas o restadas juntando a cada variable la letra característica *d*.

Esto lo usó para obtener reglas de derivación; calculó derivadas de funciones exponenciales, logarítmicas y trigonométricas. Luego pasó a las aplicaciones del cálculo diferencial a las líneas curvas, donde partió del mismo postulado de Bails, tomado de L'Hospital, una curva viene a ser un polígono de infinitos lados. En ello fundamentó las demostraciones de fórmulas para tangentes, subtangentes y normales aplicadas al círculo, la hipérbola, la parábola y la espiral de Arquímedes. En la solución de diferenciales de funciones trigonométricas y logarítmicas mostró un ligero cambio, respecto a Bails, la diferencial del logaritmo estará fundamentada en un desarrollo en serie y ya no en la cuadratura de la hipérbola, mientras que la diferencial de las trigonométricas seguirá tratándolas por el cálculo de la longitud del arco del círculo. Resalta la manera de expresar las cantidades logarítmicas a la manera de Euler, $x^z = y$; $l(x) = z$, que no se encuentra en los demás libros de texto para la enseñanza de las matemáticas de la época que estamos revisando.

Para resolver los problemas que plantea siguió el esquema de ilustrar mediante una figura que le sirvió para deducir fórmulas, y luego la figura fue referida a un sistema cartesiano restringido. Para el método de máximos y mínimos hizo una amplia explicación del método, tomado de L'Hospital, pero no lo aplicó a graficación; los problemas que

manejó fueron similares a los de Bails. Estableció el cálculo integral como el inverso del cálculo diferencial, constituyó como función de una cantidad variable, cualquier expresión en donde dicha cantidad se encuentre como quiera que sea [García 1815, 281]. Resolvió varios tipos de integrales, según una clasificación que realizó por sección:

- i) $\int u^n du, n \neq -1$, las diferenciales con una sola variable capaces de integración exacta.
- ii) $\int (ydx + xdy) = xy$, integración de las diferenciales con dos o más variables, establece reglas generales y hace uso de una simbología distinta, en Bails no existe una sección semejante.
- iii) $\int x^n dx + nx^{n-1} dx = x^n dx$, construye reglas pragmáticas.
- iv) $\int \text{sen}(z) dz$ y todas las trigonométricas y exponenciales.
- v) $\int \frac{dv}{v} = lv + c$, integración de las cantidades logarítmicas.
- vi) Integrales que se refieren al círculo: $\int \frac{-b dx}{\sqrt{b^2 - x^2}}$, y las estudiadas por Bails con un tratamiento idéntico.
- vii) Integración de logaritmos por medio de series, resuelve los mismos que Bails, aunque con errores.
- viii) Aplicaciones del cálculo integral: cuadratura de curvas, rectificación de curvas, volúmenes de revolución y superficies curvas de los sólidos, y
- ix) Método inverso de las tangentes.

En general, llevó el mismo tratamiento que Bails, salvo la última sección que es exclusiva de la obra de García. Además, se observa una serie de errores posiblemente tipográficos y de tipo conceptual, que nos indican ciertas dificultades del manejo teórico del autor, y, por su puesto, que al compararlo con Bails, queda muy por abajo en cuanto a la preparación. Aunque habría que aclarar que la obra de Bails es un compendio, y esta es sólo una obra menor. García expresó que su principal influencia procedió de Benito Bails, a pesar de que para esta fecha circularon las obras de Pedrayes y la de Gianinni. Un factor a su favor fue la

unificación de simbología y la exposición concreta y sencilla de temas como razones y proporciones [López García 1992, 232].

Como su contenido lo indica, no presenta aplicaciones de la física, ni siquiera habla de instrumentos o máquinas para el uso de actividades concretas. Sin embargo, el interés de nuestro análisis recae en la comparación del desarrollo matemático. En particular, al ser Bails la principal influencia de García, resultó interesante verificar si la parte que el primero tomó de Newton lo hereda el segundo, lo cual resultó ser así aunque con algunas mejoras de notación; más adelante mostraremos un ejemplo de ello. El material no presenta la estructura de definiciones, postulados, teoremas y demás como Newton estructuró los *Principia* y como era común en los libros de la época, más bien está fundamentado en los trabajos de L' Hospital siguiendo el patrón de: Explicación, demostración de la fórmula y algunas aplicaciones. También buscamos analizar la obra como libro de texto usado en el *Seminario de Minería*, donde tuvo gran influencia para la enseñanza de las matemáticas puras, por la forma en que está escrito y como menciona López Piñero, por su introducción y los temas que trata.

3.5 JOSÉ MARIANO VALLEJO: *COMPENDIO DE MATEMÁTICAS PURAS Y MIXTAS*

Vallejo nació en Granada en 1779 y murió en Madrid en 1846; estudió en Granada, donde aprendió matemáticas del profesor Antonio Varas y Portilla, quien al mismo tiempo le enseñó metafísica, de este profesor perfeccionó su método para la enseñanza de las matemáticas. En 1801, un año antes de graduarse, se le propuso como profesor sustituto de matemáticas en la *Real Academia de San Fernando*. Para 1802, obtuvo por oposición la clase de matemáticas y la de ataque, fortificación y defensa de plazas, en el *Real Seminario de Nobles de Madrid*.

Realizó trabajos prácticos para la nivelación de los alrededores de Madrid, la medida del perímetro de la ciudad y la altura de los puentes de Segovia y Toledo. Otras de sus obras fueron: *Adiciones a la Geometría de D. Benito Bails* [1806], *Memorias sobre la curvatura de las líneas en sus diferentes puntos, sobre el radio de curvatura y sobre las evolutas* [1807]; que es la publicación más importante de Vallejo. Ya que en el siglo XIX abundaron en España los manuales y compendios, pero fueron pocas las memorias y

comunicaciones para la academia; además el material era actual y estuvo recién elaborado. *Tratado Elemental de Matemáticas* [1803], en cinco tomos. *Compendio de Matemáticas Puras y Mixtas* [1819], que es un resumen en dos volúmenes de los cinco tomos del *Tratado Elemental de Matemáticas*. *Aritmética para niños* [1804], y *Tratado sobre el movimiento y aplicación de las aguas* [1833], entre otras. En 1823 sale de España y recorre Francia, Bélgica, Inglaterra y Holanda. En París enseñó matemáticas y tomó clases con Lacroix y Cauchy; además tuvo buena amistad con Laplace. Regresó a España en 1832, y propagó los conocimientos aprendidos en el extranjero. Se crearon a su iniciativa varias escuelas normales, dos de ellas en Madrid. Fue presidente de la sección de ciencias matemáticas y físicas del *Ateneo de Madrid*, que contribuyó a fundar

El *Compendio de Matemáticas* de Vallejo fue la obra que sustituyó en la Nueva España a los *Principios de Matemáticas* de Benito Bails en todos los niveles. Fue muy utilizado en los niveles superiores y en los seminarios conciliares, principalmente. El método usado para escribir esta obra se encuentra en el prólogo e introducción del *Tratado Elemental de Matemáticas*. En este prólogo relató que para 1812 hizo un análisis de los libros de texto que en ese momento se usaban en Europa, encontrando que había autores que hacen uso de expresiones como: ‘es evidente’, ‘se viene a los ojos’, ‘es fácil de conocer’, y ‘es claro’, cuando no saben explicar el tema. Lo que demostró que incurren en absurdos, como el suponer que los principiantes saben ya lo mismo que van a aprender. Lo más paradójico fue que muchos de estos libros fueron considerados obras maestras de las matemáticas. Para no incurrir en este error, siguió los pasos que a continuación se enuncian para escribir sus libros [Vallejo 1817, 1-5]:

1. Estudió las obras maestras de matemáticas, tanto antiguas como modernas.
2. Estudió los autores modernos de metafísica como: Lock, Condillac, Destutt-Tracy, para poder aprender el verdadero método filosófico con que se deben escribir las obras elementales, que comprendía usar un lenguaje preciso y hacer uso de las definiciones de las palabras que se usan para no dejar huecos ni saltos.
3. Una vez escritos los borradores, fueron distribuidos entre sus discípulos para poder deducir cuál era la forma que menor dificultad ofrecía, prefiriendo aquel que

presentando la ciencia en el grado de avance que tenía, consideró de mejor claridad, sencillez y facilidad en la ejecución de las operaciones y la exactitud

A Vallejo le interesó escribir una matemática rigurosa donde definía y demostraba todo lo que usaba. Entonces, lo que hizo este autor fue desarrollar un primer capítulo llamado 'Introducción', donde estableció los principios de metafísica suficientes para iniciar el estudio de las matemáticas [Vallejo 1840, 25-48]. En este capítulo se dedica a definir la estructura que usa en el desarrollo de su obra (axiomas, teoremas, lemas y demás) y el lenguaje; habló de la clasificación de las ciencias de la naturaleza y de la matemática; los métodos de demostración y el método de estudio para el alumno.

Nos encontramos con un autor cuya preocupación no es actualizar los cien años de rezo en que había vivido España, como fue el caso de Benito Bails. Ahora se trata de adecuar el conocimiento para una cierta edad, pues según Vallejo, sus libros fueron escritos para que estuvieran al alcance de jóvenes de trece a catorce años, que es la edad media a que comienzan a estudiar estas ciencias los caballeros seminaristas [Vallejo 1840, 5]. También dio a conocer el método que facilita la obtención del conocimiento matemático y que al mismo tiempo desarrollara otras capacidades, además de introducir el rigor (definir, demostrar y aplicar).

El *Compendio de Matemáticas Puras y Mixtas* fue una obra didáctica en dos tomos para la enseñanza de las matemáticas, cuyo contenido se resume [Vallejo 1840, 497]:

Tomo I: Aritmética, álgebra, geometría, trigonometría rectilínea y geometría práctica.

Tomo II: Aplicaciones del álgebra a la geometría, geometría descriptiva, secciones cónicas, funciones, series, límites, cálculo de las diferenciales, cálculo diferencial y cálculo integral; en una primera sección. Las siguientes secciones abarcan: mecánica, estática, dinámica, hidrostática, hidrodinámica, mecánica industrial, afinología (unión de moléculas), capilarología, pirología, electrología, magnetología, neumatología, gasología, higrometría, anemología, acústica, óptica, meteorología, astronomía. Y dos últimas secciones, una de arte conjetural o teoría de probabilidad y un apéndice

En el prólogo expresó que su libro interesa a toda clase de personas, sin importar carrera o circunstancia, por presentarse en ella todos los principios de las matemáticas y sus aplicaciones, con la mayor concisión, claridad y exactitud, y aún al alcance de las personas que no tratan de hacer carrera por este ramo de los conocimientos humanos. El objetivo para escribir esta obra fue que contuviese todo lo descubierto sobre las diferentes ramas de las ciencias que forman su objeto, y principalmente la que se dirige a promover las aplicaciones de utilidad general, desechando las vagas abstracciones e inexactos sistemas para evitar los peligros del error; y cooperar a que sus semejantes participen de las inmensas e incalculables ventajas de la sólida instrucción [Vallejo, 1840, 6-7]. Logró su objetivo, a tal grado, que abarcó todas las ramas de la matemática y la física, y actualizó las tres primeras ediciones de las cuatro publicadas en España [López García 1992, 249] Sobre el cálculo diferencial e integral expresó [Vallejo, 1932, 164]:

El método de Leibniz era sencillo, y sus aplicaciones fáciles; pero carecía de claridad y exactitud; el de Newton era exacto, pero largo, fastidioso y difícil de aplicar; por lo cual D'Alembert, con la notación de Leibniz y el método de las primeras razones de Newton, demostró los principios de dicho cálculo, a cuyo método llamó *método de los límites*, con lo cual quedaba ya explicado el cálculo diferencial con claridad y exactitud, este método supone que se sepa ya desenvolverse en serie toda clase de funciones.

Definió de forma clara y sencilla función, clasifica las funciones, a la manera de Euler, en aparentes (constantes) y reales (algebraicas, trascendentes y multiformes; con su respectiva clasificación), define límite, a la manera de Cauchy, y algunas de sus propiedades. El cálculo infinitesimal lo dividió en dos partes, la primera fue el cálculo diferencial (trató de hallar, dada la función, el límite de la relación de su incremento con el de la variable o variables que entran en ella). La segunda trata de determinar la función, cuando se da conocido el límite de la relación de su incremento con el de la variable, y le llamó cálculo integral Encontró el coeficiente diferencial

$$\frac{dz}{dx} = \lim \frac{\Delta z}{\Delta x}$$

y procedió a demostrar algunas proposiciones, para luego entrar a las aplicaciones y calcular las diferenciales por el método de cambio de variable para varios tipos de funciones Así como calcular las derivadas de orden superior, teorema de Taylor, derivadas de funciones trascendentes y su desarrollo en serie. Estableció dos métodos para calcular máximos y mínimos, la regla de L'Hospital y las aplicaciones del cálculo diferencial a las

curvas mediante cálculos de tangentes y normales. Este capítulo fue el que presentó mayores novedades, desde la manera de expresar las funciones hasta los procedimientos para obtener las diferenciales, además de dar a conocer diferenciales de funciones que no se habían calculado hasta entonces en libros de texto [López García 1992, 255]

Continuó tomando al cálculo integral como la operación inversa del cálculo diferencial y su objetivo fue determinar la función primitiva, dado el límite de la relación entre el incremento de la función y el de la variable. Clasificó varios tipos de integrales, por ejemplo: i) integrales de funciones racionales de una sola variable como:

$$\int \frac{dx}{x}, \int (du + dv - dw), \int u dv = av - \int v du \text{ y otras variantes;}$$

ii) integrales de cantidades logarítmicas y exponenciales:

$$\int a^x x^n dx;$$

iii) integración de funciones circulares y trigonométricas. Finalmente dio aplicaciones geométricas a la cuadratura de curvas y su rectificación, todas respecto a cónicas

El *Compendio* no presentó bibliografía, pero se encuentran referencias constantes a matemáticos contemporáneos: Cauchy, Lacroix, Taylor, Lagrange, Fourier, Hirsch, Cauchy y Newton. Tomó lo que consideró lo más desarrollado y lo completó con algunas observaciones, a pesar de que algunas cuestiones habían sido superadas o puestas en duda, como el peligro de garantizar automáticamente la convergencia de funciones por Cauchy, el desarrollo del cálculo sin el uso de series, o la creencia de Lagrange en la serie de Taylor como fundamento del cálculo. Tiene la virtud de recurrir a ejemplos graduados para explicar la teoría y luego culmina con la exposición del teorema y su demostración; la estructura de definición, proposición y demostración se conserva en toda el texto, a pesar de ser un resumen de una obra mayor, el *Tratado elemental de matemáticas* (compuesto en 1807 e impreso en 1813). Por ser un compendio para un curso elemental no aparecen los ejercicios, las notas históricas y ciertos contenidos del *Tratado*.

Una justificación de Vallejo para escribir su obra fue la crisis de la enseñanza del cálculo. No le preocupó el fundamento pues considera que D'Alembert ya lo había efectuado, lo que a él le preocupa es la operatividad e intenta salvar este obstáculo mediante

su método. El material estuvo bien estructurado en definiciones, teoremas, corolarios, fórmulas y demostraciones. Usó una simbología explícita y modernizó el vocabulario matemático definiendo exactamente los términos para no dar lugar a ambigüedades, lo que sucede comúnmente con términos como función, límite, continuidad y demás. Algunas carencias fueron la falta de contenidos que para ese entonces ya se estaban estudiando como cálculo de variaciones, ecuaciones diferenciales y otros métodos de integración, entre otros. Se realizaron varias ediciones de esta obra, en España en 1819, 1826, 1835 y 1840; en Francia en 1853, 1883 y 1887; y una edición especial para el uso de los colegios de América en 1849, 1855, 1858, 1867 y 1887 impresa también en París. Esta última versión se imprime en México en 1851 [López García 1992, 261; López Piñero 1983b, 213]

Citemos ahora un párrafo de los editores, donde se da a conocer la razón de ser de la obra, que refleja el estado de las matemáticas en México a mediados del siglo XIX [López García 1992, 265]:

Que habiéndose notado la falta de una obra elemental de matemáticas que reúna en un sólo volumen las materias de estas ciencias enseñadas en la mayor parte de los colegios de la República [...] Y aunque últimamente se ha hecho una reimpression de las matemáticas de Saint-Cyr destinadas al *Colegio Militar*, esta obra tiene por objeto especial, la enseñanza de la matemática conforme al programa de estudio de dicho establecimiento. Hay también el *Compendio de Matemáticas* de Vallejo, pero tiene un segundo tomo que es inútil para la enseñanza elemental, a la vez que su precio no está al avance de todos los que más necesitan instruirse en las Matemáticas.

En la parte de geometría práctica encontramos aplicaciones a la física, y el uso de máquinas e instrumentos aplicados a problemas prácticos; de la misma manera que lo hizo Bails. De hecho, comenzó con la misma aplicación que este autor: Aplicaciones de la geometría elemental a la medición de las líneas y ángulos en un terreno, y al levantamiento de planos topográficos. Por ejemplo [Vallejo 1840, 365], habló sobre el origen de la geometría, que no fue otro que la medición de terrenos; aunque después su objeto se ha extendido a la llamada geometría práctica. Una parte de esta ciencia es la división de las tierras, a la cual se le dio el nombre de 'geodesia'; y se denominaron 'operaciones geodésicas' a todas aquellas que se ejecutaron con objeto de determinar los principales puntos de los Estados.

Vallejo continuó hablando de las líneas horizontales y verticales, el nivel verdadero y el aparente, las diferencias entre ellos con su respectiva tabla ilustrativa, el concepto de

nivelación, que para este caso fueron tres: *aire, agua y del albañil* y los respectivos instrumentos empleados para cada uno; atendiendo a las proposiciones teóricas correspondientes a cada uno. Nivelación simple y compuesta, y la medición de las líneas mediante los instrumentos necesarios: *cadena o cuerda, jalones, piquetes* y un *mazo*, expresando las propiedades mediante teoremas con sus respectivos escolios y demostraciones. Por ejemplo [Vallejo 1840, 366]:

Medir una línea inaccesible

Res 1ª Sea por ejemplo ZB la línea inaccesible a causa del río que atraviesa; levántense en su estrecho B una perpendicular BL ; divídase en dos parte iguales en H , y clávese en este punto un piquete; levántese en L la perpendicular indefinida LD ; búsqese el punto D , desde el cual tirando una visual por H vaya a parar al punto A , y digo que la línea LD es igual a la distancia AB que se pedía [figura 6].

Dem. Porque los triángulos ABH , HLD son rectángulos en B y L por construcción; además tienen $BH = HL$ también por construcción, y los ángulos en H iguales por opuestos al vértice; luego son iguales y darán $AB = LD$, que era $LQHD$

Y continúa con más proposiciones que son variantes de la misma (figura 6), pero con mayor grado de dificultad, hasta llegar a una circunstancia completamente apegada a la realidad. Como puede observarse, es el mismo tratamiento que con Bails pero de forma más ordenada y clara, con demostraciones y aclaraciones, más apegado a la manera actual de presentar la matemática.

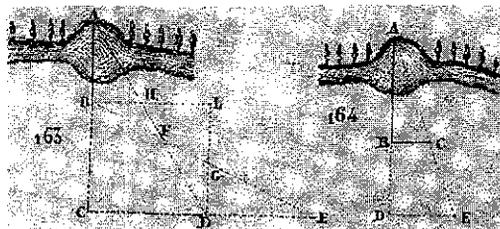


Figura 6

De los instrumentos para medir los ángulos mencionó: la plancheta, el grafómetro, la brújula, el teodolito, los cuadrantes de círculo, los círculos repetidores y los recipiángulos. Tiene una cita explícita a Newton en esta sección [Vallejo 1840, 478-479]:

Antes de concluir este punto, no puedo menos que observar, que cuando se hayan propagado las fórmulas de corrección y se tengan un gran número de observaciones exactas, hechas en diferentes parejas y de modo que sean comparables, se podrán calcular las tempestades, las nevadas, las lluvias, los años secos, etc, con mucha anticipación, y con la misma exactitud y

precisión que ahora se calculan los eclipses. Esta proposición parecería escandalosa, así como lo parecían en otro tiempo el pensar que se podrían predecir los eclipses; pero a mí se me representa con tanta viveza la utilidad que traerá al género humano el saber con anticipación los años escasos, los abundantes, aquellos en que fructificará mejor una semilla que otra, etc., que no puedo menos que decirlo, por si acaso puedo contribuir a acelerar esta época feliz. Mas para que no se repute por paradoja lo que el tiempo comprobará, pondré aquí algunas predicciones análogas a esta, que se tuvieron al principio por sueños, y luego se han ido verificando.

1º Los Franceses habían estado haciendo operaciones geodésicas, por espacio de treinta y seis años, y todas ellas les daban que la tierra era prolongada por los polos. Newton y Huygens, sin hacer ninguna, sostenían desde su gabinete todo lo contrario. El primero se fundaba en su teoría de la gravitación, y el otro en la de los péndulos. Como en las operaciones de los franceses se habían empleado los mejores astrónomos y los mejores instrumentos, no querían conceder lo que Newton y Huygens sostenían; pero estos firmes en sus teorías, dijeron en que estribaba el error, propusieron el método con que se debían hacer las operaciones, se ejecutaron y hallaron el mismo resultado que Huygens y Newton tenían determinado de antemano.

2º Newton, por las leyes de la refracción, dijo que en el agua y en el diamante había un principio combustible, y en estos últimos tiempos, ha hecho conocer la química ser verdadera la proposición de Newton; pues uno de los factores del agua es el hidrógeno, y el diamante viene a ser el carbón puro; el primero que llamó la atención de los sabios sobre la verdad de la última proposición fue nuestro Feijoo, al referir que en el incendio de la Capilla Real se habían quemado los diamantes del copón.

3º Euler concibió la idea de hacer desaparecer la aberración de refrangibilidad en los telescopios, Dollond fundándose en un experimento de Newton, se le opuso terriblemente: Euler y otros, sin ejecutar el experimento, sostuvieron que era falso; se vio precisado Dollond a repetirlo, y encontró lo que decía Euler; y de la continuación de estas investigaciones, resultó la invención de los telescopios acromáticos.

Es importante mencionar que la alusión a las figuras, al menos en esta sección de geometría práctica son totalmente idénticas en ambos libros, en Bails y en Vallejo; como punto de comparación obsérvense las diversas figuras empleadas por ambos autores en cada libro. Finalmente realizaremos la comparación entre los tres autores manejados, Bails, García y Vallejo, en el desarrollo de dos problemas de la época.

3.6 ANÁLISIS DE DOS TEMAS EN LOS TEXTOS DE BAILS, GARCÍA Y VALLEJO

Haremos una comparación del tratamiento de dos temas en los tres libros descritos, para apreciar el método en cada autor. El primer tema que se ha escogido es un problema de aplicación de máximos y mínimos, ya que aparece en los tres libros y continúa apareciendo en algunos libros de cálculo como el Flores Meyer [1982, 162] o el Granville [1986, 80]; desglosaremos cada una de las soluciones respectivas.



El problema tomado de la versión de Bails es: Partir un número en dos partes con circunstancia que el producto de la una por la otra sea mayor que el producto de otras dos partes cualesquiera del mismo número.

Solución de Bails [1772, 185]: Llamo x a una de las dos partes, con la que la otra es $(a-x)$ y el producto de ambas es $ax-xx$. Por lo que dicho [sea lo que fuere la expresión algebraica de una cantidad se le puede considerar que representa la ordenada de una curva] será $y = ax-xx$ $dy = adx-2xdx$ y por consiguiente:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{a-2x}$$

Si suponemos el numerador igual con cero, sacaremos $1 = 0$, absurdo manifiesto. Si hay un máximo lo sacaremos igualando con cero el denominador. Hagámoslo pues, y sacaremos

$$a - 2x = 0, \text{ queda } x = \frac{1}{2} a$$

Cuyo valor nos está diciendo que de cualquier modo que se parta en dos partes un número dado, el producto de ambos será el mayor, cuando cada una de las dos partes sea la mitad del número propuesto.

Solución de García [1815, 265]: Suponiendo x por una de las partes será $(a-x)$ la otra, y $ax-xx$ el producto. Si su diferencial, $adx-2xdx$ se supone igual a cero, será $adx-2xdx = 0$ $adx = 2xdx$, y

$$x = \frac{1}{2} a, \text{ luego el producto de las dos mitades de } a \text{ será el máximo.}$$

Solución de Vallejo [1840, 114-115]: Sea x una de las partes de a , con lo que la otra será $(a-x)$. Y representando, por justificación, Z como el producto cuyo máximo se busca, se tendrá $Z = x(a-x) = ax-x^2$ de donde sale:

$$\frac{dz}{dx} = a - 2x$$

Que igualando a cero da:

$$x = \frac{1}{2} a,$$

volviendo a diferenciar será

$$\frac{d^2x}{dx^2} = -2,$$

cuyo valor constante y negativo manifiesta que el producto es un máximo cuando

$$x = \frac{1}{2}a,$$

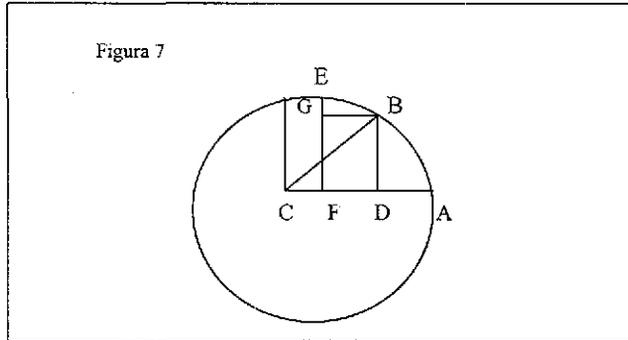
o cuando las partes en que se descompone la a son iguales. Si ahora resulta que el a fuese el perímetro de un rectángulo, y se quisiera que este fuese el rectángulo con máxima área, no habrá más que construir un cuadrado cuyo lado fuese igual a la mitad de a , luego el cuadrado es el máximo de todos los cuadriláteros isoperímetros. Que es lo mismo que dedujimos en otro lugar (1.170).

Como se puede observar, el planteamiento general es partir de una interpretación, pasar al planteamiento geométrico, luego a la justificación para expresar el resultado geométrico en términos de una cantidad variable o función, realizar las operaciones pertinentes y establecer el método para determinar si se trata de un máximo o un mínimo, finalmente el análisis del resultado encontrado. La solución de Bails va por un camino más largo de lo que había venido manejando en los ejercicios anteriores, y sobre todo no aclara si con el método que explicó ampliamente en un apartado anterior, ya le es posible establecer que se trata de un máximo, cómo lo sabe. En cuanto a la propuesta de García, resulta ser bastante corta pero sin la profundidad debida, trabaja con cantidades variables y le cuesta trabajo expresarlas como función, le bastará igualar a cero la diferencial y encontrar un valor numérico para decir que se trata de un máximo, aunque había desarrollado una teoría para máximos y mínimos muy similar a la de Bails. Mientras que Vallejo es una muestra de la claridad y sencillez que caracterizan a las matemáticas modernas, además de que aplica un método diferente a los dos autores anteriores

El segundo problema es la demostración de la diferencial de la función seno, que se escogió por ser el más socorrido para el tema de paso al límite y porque evidencia los avances teóricos al respecto de los tres autores.

Solución de Bails [1772, 167]: Sea el arco $AB=u$, su seno $BD=y$, su coseno $CD=x$, y el radio $CA=\alpha$ y supóngase que al arco BA se le agrega el incremento $EB=\Delta u$, su seno BD

será entonces EF . Desde B trácese a EF la perpendicular BG , será $EG = \Delta y$, y será $FD = -\Delta x$. Porque el coseno que era CD cuando el seno era BD , es $CF = CD - DF$, así que el seno llega a ser EF (figura 7)



Llegando a expresar Δu , Δy , $-\Delta x$ como el límite de la razón entre las cantidades, cuyas expresiones serán du , dy , $-dx$, y entonces el arco EB se confunde con su tangente y puede considerarse como una línea recta. Trácese el radio CB , entonces será recto el ángulo EBC ; si de cada ángulo recto EBC y GBD se resta el ángulo GBC , las restas, o los ángulos EBG y CBD serán iguales. Como los ángulos en G y D son rectos, los triángulos EGB y CBD serán semejantes; luego será $CD : CB :: EG : EB$, o

$$x : a :: dy : du = \frac{ady}{x} = \frac{adsenu}{\cos u}, \text{ luego } du = \frac{adsenu}{\cos u} \text{ y } dsenu = \frac{\cos u du}{a}$$

Esto es, primero la diferencial del arco es igual al producto de la diferencial de su seno multiplicada por el radio, partido el producto por su coseno; y segundo, la diferencial del seno de un arco es igual al producto de la diferencial del arco multiplicada por el coseno, partido el producto por el radio

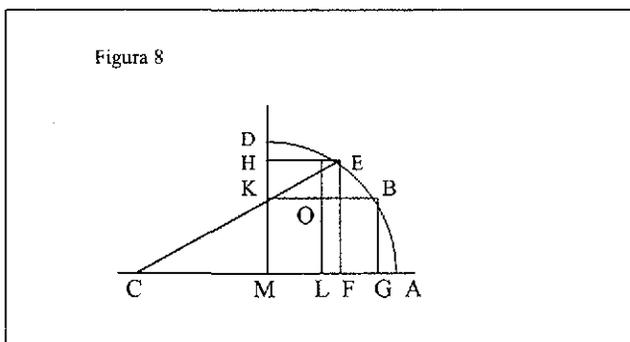
Solución de García [1815, 249]: De la proposición 271 y la figura 8:

$$\text{sen}(a+b) = \frac{\text{sen}a \cos b + \cos a \text{sen} b}{r}$$

Si el seno x de un ángulo o arco llega a ser $x dx$, tendremos (271) suponiendo $r = 1$

$$\text{sen}(x+dx) = \text{sen}x \cos dx + \text{sen} dx \cos x$$

y como el seno de un arco dx infinitamente pequeño se confunde con el arco ó $\text{sen} dx = dx$ y su coseno es el radio (263) o como $\cos dx = 1$, será $\text{sen}(x+dx) = \text{sen}x + dx \cos x$, tomemos pues la diferencial y resultará: $d(\text{sen}x) = d(\text{sen}(x+dx)) = \text{sen}(x+dx) \cos x - \text{sen}x = dx \cos x$; o la diferencial de un $\text{sen}x$, cuyo radio es 1, es el producto de la diferencial de un ángulo multiplicado por su coseno



Solución de Vallejo [1840, 95-100]: Pasemos ahora a las funciones circulares y supongamos que se tenga primero $Z = \text{sen} x$, sustituyendo $x+\Delta x$ en vez de x , será por (IS460): $Z' = \text{sen}(x+\Delta x) = \text{sen}x \cos \Delta x + \text{sen} \Delta x \cos x$, de donde se saca por la diferencia: $Z'-Z=\Delta Z = \Delta \text{sen}x = \text{sen}x \cos \Delta x + \text{sen} \Delta x \cos x - \text{sen}x = \text{sen}x(\cos \Delta x - 1) + \cos x \text{sen} \Delta x$ Y tomando la relación será:

$$\frac{\Delta z}{\Delta x} = \text{sen}x \frac{\cos \Delta x - 1}{\Delta x} + \cos x \frac{\text{sen} \Delta x}{\Delta x} = -\text{sen}x \frac{1 - \cos \Delta x}{\Delta x} + \cos x \frac{\text{sen} \Delta x}{\Delta x}$$

Y como $\text{sen} \Delta x^2 = 1 - \cos \Delta x^2 = (1 + \cos \Delta x)(1 - \cos \Delta x)$, sacando de aquí el valor de $1 - \cos \Delta x$, será:

$$1 - \cos \Delta x = \frac{\text{sen} \Delta x^2}{1 + \cos \Delta x}$$

luego sustituyendo arriba este valor se tendrá:

$$\frac{\Delta z}{\Delta x} = \left(\begin{matrix} -\operatorname{sen} x \\ \Delta x \end{matrix} \right) \frac{\operatorname{sen} \Delta x^2}{1 + \operatorname{cos} \Delta x} + \operatorname{cos} x \frac{\operatorname{sen} \Delta x}{\Delta x} = \left(\begin{matrix} -\operatorname{sen} x & \operatorname{sen} \Delta x \\ 1 + \operatorname{cos} \Delta x & + \operatorname{cos} x \end{matrix} \right) \frac{\operatorname{sen} \Delta x}{\Delta x}$$

Y para pasar a los límites buscaremos en lo que se convierten los dos factores del segundo miembro cuando el incremento Δx se desvanece. En este caso $\operatorname{sen} \Delta x = 0$, $\operatorname{cos} \Delta x = 1$, y el primer factor se reduce a $\operatorname{cos} x$. El factor

$$\frac{\operatorname{sen} \Delta x}{\Delta x}$$

se acerca sin cesar a la unidad, porque de

$$\tan a = \frac{\operatorname{sen} a}{\operatorname{cos} a} \text{ se deduce}$$

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\tan a} = \operatorname{cos} a$$

y puesto que $\operatorname{cos} a = 1$, cuando $a = 0$, la unidad será el límite de la relación entre el seno y la tangente, cuando el arco se desvanece; pero siendo el arco menor que la tangente y mayor que el seno, se tendrá:

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\tan a} < \frac{\operatorname{sen} a}{a} < 1,$$

y siendo el límite de

$$\frac{\operatorname{sen} a}{\tan a},$$

con mayor razón lo será de

$$\frac{\operatorname{sen} a}{a},$$

luego se tendrá en virtud de todo esto

$$\frac{dz}{dx} = \frac{d\operatorname{sen} x}{dx} = \operatorname{cos} x, \text{ o } dz = d\operatorname{sen} x = \operatorname{cos} x dx$$

Tanto Bails como García consideraron a las funciones trigonométricas como ligadas a la longitud del arco de la circunferencia, es decir, a la manera en que se interpretó el cálculo de la primera mitad del siglo XVIII. Bails usó la figura geométrica para justificar la demostración, no deja que nada quede sin verse, obtuvo la diferencial del arco y la

diferencial del seno del arco. García refirió todo a la trigonometría, retomando resultados anteriores como el seno de una suma y el coseno de cero grados, la figura es la misma que usó en geometría, trigonometría y cálculo infinitesimal, resulta poco clara la explicación. Mientras que Vallejo hizo una exposición explícita sin dejar de justificar absolutamente nada, no uso figuras. Sin embargo, el camino de la demostración resultó trabajoso, pudiendo haberlo simplificado como venía haciéndolo como parte de su método. De donde, se pudo observar la diferencia entre ellos, pero más que nada la similitud de Vallejo con el manejo actual. Claro que esto no es un criterio para emitir juicios de calidad, sino sólo para mostrar adelantos en notación y claridad de conceptos, entre otros.

De esta manera, el uso de la física newtoniana que buscamos a lo largo de estos tres libros de texto ha quedado evidenciada en medida de las fechas en que cada libro es usado. En Bails no sólo es clara por palabras propias del autor sino, además, por las adecuaciones de la teoría a ciertos casos de estudio. En García se ve más como una transmisión de la teoría a través de los trabajos mismos de Bails, como asumir lo que estaba hecho. Por último, en Vallejo es más como dato histórico y razón de ser de la teoría con fines didácticos. Pero, lo que sí es vital reconocer es la manera de interpretar los trabajos de Newton, en particular el cálculo diferencial e integral, ya que aún cuando se cuenta con los trabajos de Euler y los Bernoulli para abandonar la forma geométrica se continúa trabajando en Bails y García, y sólo hasta Vallejo se ve el uso del análisis como lo conocemos. Así que esta misma tendencia se vio reflejada en la manera de enseñar la física y las matemáticas en el *Colegio de Minería* y en la *Academia de San Carlos*, con las reservas propias de las fechas y los adelantos en los trabajos de análisis por parte de los profesores.

CONCLUSIONES

En esta disertación, a partir de los trabajos novohispanos de personalidades como Bartolache, León y Gama, Constanzó, Bataller y Guadalajara, entre otros, se concluye que la mecánica, la astronomía, la óptica y las matemáticas newtonianas se vieron reflejadas en sus obras como argumentación y sistematización de procedimientos técnicos en minería, astronomía y agrimensura, donde queda muy clara la intervención de Newton en varios tratamientos conceptuales. Esta tesis refleja la influencia newtoniana en la elaboración de máquinas acordes a las necesidades locales, así como en métodos de extracción de minerales, cálculos astronómicos, elaboración de mapas, y reparación de aparatos de medición y observación. Aunque también se ejemplificaron casos de divulgadores con alusión simple a temas o citas a la personalidad de Newton y que correspondió a la moda del siglo XVIII newtoniano

También, tuve oportunidad de mostrar la existencia de una comunidad científica novohispana que pasó por una asimilación de la obra en latín de Newton y cuyo proceso fue complementado por libros, primordialmente de origen francés y holandés (Muchenbroek, S'Gravesande y Nollet, entre otros), que divulgaron los conocimientos newtonianos. Esta última etapa corresponde a la notación y el sentido matemático y físico que conocemos en la actualidad. Concluimos que esta comunidad privilegiada formaba parte de sociedades científicas importantes y ocupaba puestos de poder, lo que determinaba su ingerencia en la institucionalización de la física newtoniana en establecimientos de educación superior creados a partir de su intervención

Del análisis presentado se deduce que la introducción de la mecánica newtoniana en la *Real Academia de San Carlos* y en el *Real Seminario de Minería* de manera oficial, y en la *Real y Pontificia Universidad de México* de forma extraoficial, se dio a través de los profesores que impartieron las cátedras de física y matemáticas, personalidades no autodidáctas y con formación jesuita en su mayoría. Estas instituciones jugaron un papel fundamental en la introducción de las teorías newtonianas. Los egresados de estas

instituciones aplicaron la mecánica newtoniana en trabajos arquitectónicos, geográficos, astronómicos y de agrimensura.

Hemos mostrado que la difusión de Newton a través de los libros, tanto los llegados de Francia como de aquellos escritos en la Nueva España, fueron de vital importancia; incluyendo los libros de texto para la enseñanza de la física y las matemáticas, en especial los de Bails, García y Vallejo. La primera obra de esta índole fue los *Principios de matemáticas* de Bails, donde observamos la influencia de Newton en especial para el desarrollo del cálculo diferencial e integral, el manejo de la teoría gravitacional y la teoría de la luz en varias aplicaciones. Hemos analizado detalladamente como es que uno de los libros de texto que aún se utiliza para la enseñanza del cálculo diferencial e integral (Granville) contiene ejercicios que fueron usados desde el libro de Bails. No debe de soslayarse que la ubicación de la física y las matemáticas como materias básicas en los planes de estudio actuales, en la mayoría de las escuelas técnicas y superiores sobre todo en ingeniería, tienen su origen en el *Real Seminario de Minas* y en la *Real Academia de San Carlos*, donde se les asignaron una finalidad pragmática.

Como sabemos mediante el estudio de la hidráulica se llegó a conocer el comportamiento de los fluidos, en especial el agua, el azogue y el aire, que intervienen en el trabajo de minas. Esto resultó vital, pues incluso hemos examinado como los libros de Bails y Vallejo manejan la aplicación de instrumentos que manipulan estos elementos en la parte correspondiente a la geometría práctica. Dicho sea de paso, ambos presentan las mismas figuras, aunque existen varios años de diferencia entre la publicación de sus respectivas obras. Los intelectuales mexicanos se vieron influidos por esta tendencia, asimilaron la ciencia moderna y la aplicaron a los problemas de la minería y otros de índole práctico, según las necesidades de su actividad profesional o de sus cargos públicos.

REFERENCIAS

- Aceves Pastraña, Patricia (ed). 2000 *Periodismo científico en el siglo XVIII. José Antonio de Alzate y Ramírez* Estudios de historia social de las ciencias químicas y biológicas, num. 6. México: UAM.
-
- _____ 1994. *La química en Europa y América*. México: UAM.
- Almacén 1803 (M L 288 B). Fondo Reservado del Palacio de Minería
- Alva Martínez, Ernesto 1983 *La enseñanza de la Arquitectura en México, en el siglo XX* Edit. Dirección de Arquitectura y Conservación del Patrimonio Artístico y Nacional. Cuadernos de Arquitectura y Conservación del Patrimonio Artístico Número 26-27, p. 47-165. Mayo.
- Alzate, José Antonio 1792. *Gazetas de Literatura de México*, México. Tomo I. Imp. por Felipe Zúñiga y Ontiveros (Reimpresas en Puebla, 1831, y en México 1897).
-
- _____ 1980. "Observaciones sobre física, historia natural y artes útiles", en *Obras*, vol. I Periódicos, México: UNAM, pág. 224-241
-
- _____ 1980 *Obras*. Vol. I, México: UNAM. Edición de Roberto Moreno.
- Arboleda, L. C. 1987. "Acerca de la difusión científica en la periferia: El caso de la física newtoniana en la Nueva Granada". *Quipu* 4₁: 7-30.
-
- _____ 1987. "Sobre una traducción inédita de los *Principia* al castellano hecha por Mutis en la Nueva Granada circa 1770". *Quipu* 4₂: 291-313.
-
- _____ 1995. "Introducción de una cultura newtoniana en las universidades del Virreinato de la Nueva Granada" en *Newton en América*, Celina Lertora (comp.)
- Arias Divito, Juan Carlos 1968 *Las expediciones científicas españolas durante el siglo XVIII, expedición botánica de Nueva España*. Madrid: Ediciones de cultura hispánica.
- Arce Gurza, Francisco. *Historia de las profesiones en México*. México: El Colegio de México
- Anderson, Enrique 1970. *Historia de la literatura hispanoamericana*. México: FCE. Tomo I.
- Babini, José 1949. *El siglo de las luces. Ciencia y técnica*. México: Porrúa. Tomo II.
- Baez Macías, Eduardo 1974 *Fundación e Historia de la Academia de San Carlos*. México: Colección Popular.
-
- _____ 1972. *Guía del Archivo de la Antigua Academia de San Carlos, 1801-1843*. México: UNAM. Instituto de Investigaciones Estéticas Estudios y Fuentes del Arte en México. XXXI
-
- _____ 1976. *Guía del Archivo de la Antigua Academia de San Carlos, 1844-1867*. México: UNAM. Instituto de Investigaciones Estéticas.

- Bails, Benito. 1772 *Principios de Matemática* Madrid Biblioteca del Palacio de Minería
- _____. 1772a. *Tratado de Matemáticas que para las escuelas establecidas en los regimientos de infantería*. Madrid.
- _____. 1779. *Elementos de matemáticas*. Madrid.
- _____. 1790. *Aritmética para negociantes*. Madrid.
- Bargallo, M. 1955. *La minería y la metalurgia en la América Española durante la época colonial*. México: FCE.
- _____. 1966. *La química inorgánica y el beneficio de los metales en el México prehispánico y colonial*. México: UNAM.
- Bartolache, J.I. 1983. *Mercurio Volante (1772-1773)*. México: UNAM.
- Bataller, Francisco Antonio. 1802. *Física Matemática Experimental*. Manuscrito México. 1802, 1803.
- _____. 1802a. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado I, México, MS 1511.
- _____. 1802b. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado II, México, MS 1512.
- _____. 1802c. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado III, México, MS 1513.
- _____. 1802d. *Principios de física matemática y experimental*, Tratado IV, México, MS 1514.
- Benítez, Fernando. 1987. "Manuel Tolsa: el cambio radical". *La Jornada Semanal*. Año tres, número 146 (5 de julio de 1987), p. 3-5.
- Bernal, J.D. 1979. *La ciencia en la historia*, México: UNAM y Nueva Imagen.
- Bernau Albert, Salvador. 1989. *La comisión española en la expedición de Chappe d'Auteroche* en [Peset 1989].
- Bouguer, M. 1749. *La figure de la Terre*. París. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Boyer, Carl. 1986. *Historia de la Matemática*. Madrid: Alianza Editorial. Versión española Mariano Martínez Pérez.
- Brading, D. 1975. *Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810)*, México: FCE.
- Braudel, F. 1976. *El Mediterráneo y el mundo mediterráneo en la época de Felipe II*, México: FCE
- Bravo Ugarte, José. 1966. "Los jesuitas mexicanos del siglo XVIII y sus actividades en el campo de la ciencia" en *Temas Históricas Diversos*. México: Jus

- Brown, Thomas A. 1976. *La Academia de San Carlos en la Nueva España* Vol. II. *La Academia de 1792 a 1810*. México: Sep Setentas Num. 300. SEP. Trad. María Elena Martínez Negrete.
- Cajori, Florian 1985. *A History of Mathematics*. New York: Chelsea Publishing Company. 4ª Ed.
- Capel, Horacio. 1985. *La Física Sagrada*. México: Ediciones de Serbal.
- Cardozo, Galué G. 1973. *Michoacán en el siglo de las luces* México: El Colegio de México.
- Castera, José María. 1841. *Colegio de Minería. Su estado actual en el Mosaico Mexicano*. México: Colección de Ameneidades curiosas e instructivas. Tomo VI.
- CESU, San Ildefonso, Ramo: Rector, Subramo: Vida Académica, Serie: Noticias de Cátedra y Sistemas de Enseñanza (s. XVIII), Caja 54, Exp. 34. Doc 108 (bibliografía). Biblioteca Nacional de México.
- Chandrasekhar, S 1995. *Newton's Principia for the Common Reader* Clarendon Press Oxford.
- Christianson, Gale E. 1986a *Newton*. Vol. I. Barcelona: Salvat.
_____ 1986b. *Newton*. Vol. III. Barcelona: Salvat.
- Cohen, Bernard I. 1980. *The Newtonian revolution*. Cambridge University Press.
_____ 1978. *Introduction to Newton's Principia*. Harvard University Press.
- Collete, Jean Paul 1979. *Historia de las matemáticas*. México: Siglo XXI.
- Cortés Nava, Ana María. 1985. Catálogo del Subramo Superiores Ordenes del Rector del Fondo Colegio de San Ildefonso. México: Tesis de Licenciatura.
- Cotes, M.R. 1742. *Leçons de Physique Expérimentale*, Paris, Biblioteca del Palacio de Minería.
- Cruz, Salvador. 1988. "Newton en México". *Crítica*. Num. 34 Primavera, pag. 81-87.
- Cue Canovas, Agustín. 1975. *Historia Social y Económica de México*. México: Trillas
- Dampier, W.C. 1972. *Historia de las ciencias*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Desaguliers, J. T. 1751 *Cours de Physique Expérimentale*. Paris. Biblioteca del Palacio de Minería.
- De Felipe, Emilio. 1993. *La labor de Fausto de Elhuyar como científico y administrador, en el Seminario de Vergara y en el Colegio de Minería de México (1782-1822)* en

- Seminarios de Historia de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. La R.S.B.A.P. México: Colmex
- De Gandt, F. 1990. "El estilo matemático de los Principia de Newton", *Mathesis* 62: 163-190.
- _____. 1995. *Force and geometry in Newton's Principia*. Princeton University Press.
- De Gortari, Eli. 1963. *La ciencia en la historia de México*. México: FCE
- _____. 1980. *La ciencia en la historia de México*. México: Grijalbo.
- De la Font, Sigaud. 1787. *Elementos de física teórica y experimental*. Madrid. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Díaz de Ovando, Clementina. 1985. *El Colegio Máximo de San Pedro y San Pablo*. México: UNAM, Instituto de Investigaciones Estéticas. 2da. Ed.
- Diccionario Porrúa de Historia. 1965. *Biografías y Geografías de México*. México: Porrúa. 2 vol. 2da. Ed.
- Elhuyar F. 1818. *Indagaciones sobre la amonedación en Nueva España, con licencia de Madrid*. México. Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional.
- Enciclopedia de México*. 1987-88. México: Compañía Editora de Enciclopedias de México. Coediciones SEP.
- Eguía, J.J. 1818. *Memorias sobre la utilidad e influjo de la minería en el reino*. México, Fondo Reservado del Palacio de Minería
- Espinoza Sánchez, Juan Manuel. 1997. *La comunidad científica novohispana ilustrada en la Real y Pontificia Universidad de México*. Tesis de Maestría en Filosofía de la Ciencia. México: UAM.
- _____. 1994. *La óptica novohispana en la segunda mitad del siglo XVIII*. Tesis de licenciatura en Historia. Facultad de Filosofía y Letras. México: UNAM.
- _____. 2002. *La ciencia newtoniana en la Nueva España del siglo XVIII*. Tesis de Doctorado en Historia (manuscrito). México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Fauvel Jhon (et. al.). 1988. *Let Newton Be A new perspective on his life and works*. Oxford University Press.
- Feijóo, Benito Jerónimo. 1781. *Cartas eruditas y curiosas en que por la mayor parte se continúa el designio del Teatro Crítico Universal, impugnando o reduciendo a dudosas varias opiniones comunes*. Madrid: Blas Roman (impresor). 5 Tomos.
- Fernández de Lizardi, José Joaquín. 1959. *El periquillo sarmiento*. México: Porrúa

- Fernández del Castillo, Francisco. 1957. "El bachiller José Antonio Alzate y Ramírez", *El Médico*, año 6, num. 11, febrero, pág. 59-69.
1953 *La Facultad de Medicina*. México: UNAM.
- Fernández, Justino. 1968. *Guía del Archivo de la Antigua Academia de San Carlos 1781-1800* Documentos del 1 al 1035. Suplemento 3 del número 37 de los Anales del Instituto de Investigaciones Estéticas. México: UNAM.
- Flores Clair, Eduardo. 1993. *La influencia vasca en la formación del Real Seminario de Minería* en Seminarios de Historia de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. La R.S.B.A.P. México: Colmex
- Flores Meyer, Marco (ed). 1982. *Cálculo Básico 6 Cálculo Diferencial e Integral*. Progreso.
- Gamboa, Francisco Xavier de, 1761. *Comentarios a las Ordenanzas de Minas*. Madrid. Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional
- Gaos, José. 1947. *Prólogo a los Tratados* de Juan Benito Díaz de Gamarra, México: UNAM.
- García, Juan Justo. 1815. *Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría*. Salamanca.
- García del Real. 1921. *Historia de la medicina en España*, Madrid: Reus
- García Stahl, Consuelo. 1978. *Síntesis histórica de la Universidad de México*, México: UNAM Secretaria de Rectoría, 2da. Ed.
- Gjertsen, D. 1986. *The Newton Handbook*. London: Routledge & Kegan.
- Glick F., Thomas 1989. *Imperio y dependencia científica en el XVIII español e inglés. la provisión de los instrumentos científicos* en [Peset 1989].
- González Claverán Virginia. 1989. *Aportación novohispana a la expedición de Malaspina* en [Peset 1989].
- Granville, W.A. 1986 *Cálculo Diferencial e Integral*. UTEHA.
- Guerlac, Henry. 1981. *Newton on the continent*. Cornell University Press.
- Guirao de Vierna, Ángel. 1989. *Análisis cuantitativo de las expediciones españolas con destino al Nuevo Mundo* en [Peset 1989]
- Guicciardini, N. 1989. *The development of newtonian calculus in Britanian 1700-1800* Cmabridge University Press.

- Hamnett, Brian R. 1985. *La política española en la época revolucionaria 1790-1820*. México: FCE.
- Heilbron, J.L. 1982. *Elements of Early Modern Physics*. EUA: University of California Press.
- Herr, Richard. 1958 *The eighteenth century revolution in Spain*. EUA: Princeton University Press.
_____. 1979. *España y la Revolución del siglo XVIII*. Madrid: Aguilar.
- Hernández Luna, Juan 1945. *José Antonio Alzate. Estudio biográfico y selección*. México: SEP.
- Hessen, Boris. 1989. "Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton", en [Saldaña 1989].
- Humboldt, Alejandro de 1978. *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*. México: Porrúa, 3ra Ed.
- Izquierdo, José Joaquín. 1955. *Montaña y los orígenes del movimiento social y científico de México*. México: Ediciones Ciencia
_____. 1958 *La primera casa de las ciencias en México El Real Seminario de Minería (1792-1811)*. México: Ediciones Ciencia.
- Junco de Meyer, Victoria. 1973. *Gamarrá o el eclecticismo en México*, México: FCE.
- Kamen, H. 1986 *La sociedad europea (1500-1700)*, Madrid: Alianza Universidad
- Labastida, Jaime. 1975. *Humboldt, ese desconocido*. México: Sep Setentas.
- Larroyo, Francisco. 1982. *Historia comparada de la Educación en México*. México: Porrúa, 17ª Ed.
- Lassaga, J.L. & Velásquez Cárdenas de León. 1774. *Representación que a nombre de la minería de esta Nueva España hacen el rey nuestro señor*, imprenta de Felipe de Zúñiga y Ontiveros. 1774.
- Lazo Yolanda & Juan Manuel Espinoza. 2000. *Alzate y las matemáticas en las Gacetas de Literatura*, en [Aceves Pastraña 2000].
- Lemoine, Ernesto. 1970. *La Escuela Nacional Preparatoria*. México: UNAM.
- León Portilla, Miguel, Jorge Gurriá Lacroix, Roberto Moreno y Enrique Madero Bracho 1978. *La Minería en México*. México: UNAM

Lertora Mendoza, Celina (ed.) 1995. *Newton en América*. Simposio. Tercer congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y la Tecnología. 1992. México. Buenos Aires: FEPAL.

Libro de Almacén, años de 1792 y 1793 (M.L.177.B¹) Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libros del Almacén, año de 1796 (M.L. 284.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio Metálico. Minería. Año de 1794 (M.L. 239 B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio de Minería. Año de 1797 (M.L. 238.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio de Minería. Año de 1799 (M.L. 282.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio de Minería. Año de 1798 (M.L. 285.B) Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio de Minería. Año de 1802 (M.L. 287.B) Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén del Colegio de Minería. Año de 1804 (M.L. 298.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro del Almacén. Año de 1797 (M.L. 283 B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro de Cuentas Mensuales del Colegio de Minería. Año de 1793 (M.L.302.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro de Cuentas Mensuales del Colegio de Minería. Año de 1798 (M.L. 306.B) Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libros de Cuentas Mensuales año de 1792 (M.L.301.B), Fondo Reservado del Palacio de Minería.

Libro de Cuentas Mensuales del Colegio de Minería. Año de 1801 (M.L.309.B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.

¹ La referencia incluida entre paréntesis indica la clasificación de la biblioteca, por cuestiones de localización

- Libro de Juntas de Sinodales de 1766 á 1800*. Manuscrito encuadrado n.2 267 F.S.U
Ramo: rector. Subramo: vida académica Serie: Noticias de cátedras y sistemas de enseñanza. CESU. Biblioteca Nacional de México.
- López García, Victoria América. 1992. *Historia de los inicios de la enseñanza del cálculo infinitesimal en México: 1785-1867* México: Tesis Maestría en Matemática Educativa. CINVESTAV.
- López Piñero, José M. 1969. *La introducción de la ciencia moderna en España* España: Ariel.
- _____ et. al. 1983a *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. España: Península. Vol. 1.
- _____ et al. 1983b. *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*. España: Península. Vol. 2.
- _____, V. Navarro Brotons, E. Portela Mano. 1976. *Materiales para la historia de la ciencia en España siglos XVI-XVII*. España: Pre-Textos.
- Luzzana Caraci Ilaria 1989. *Alejandro Malaspina y la geografía en* [Peset 1989].
- Marañón. 1934. *Las ideas ideológicas del padre Feijoo* Madrid: Espasa-Calpe.
- Martínez Reyes, Magally. 1996. *La solución newtoniana al problema de Pappus*. Tesis de licenciatura en Matemáticas, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Martínez Rosales, Alfonso. 1988. *Francisco Javier Clavijero en la Ilustración Mexicana 1731-1787*. México: Colmex.
- Mason F., Stephen. 1988. *Historia de las ciencias Tomo 3. La ciencia del siglo XVIII*. México: Alianza Editorial.
- Mendez Arceo, Sergio 1990. *La Real y Pontificia Universidad de México* México: UNAM.
- Méndez Bejarano, Mario. 1980. *Historia de la filosofía en España*. Madrid: Renacimiento.
- Mendez Plancarte, Gabriel. 1941. *Humanistas del siglo XVIII*. México: UNAM.
- Menegus, Margarita (coord.) 1998. *Saber y poder en México Siglos XVI al XX* México: Porrúa. Colección: Problemas educativos de México. CESU.
- Millares, Carlo. 1944. "Feijóo en America". *Cuadernos Americanos*, año III, num 3, pp 139-160
- Minería, Informes 1789-1800* (M.L. 120. B) Fondo Reservado del Palacio de Minería.
- Minería, Informes 1789-1800* (M.L.90 B) Fondo Reservado del Palacio de Minería.

- Minería, Informes 1801-1808* (M.L.91 B). Fondo Reservado del Palacio de Minería.
- Mingüet, Charles. 1989. *Alejandro de Humboldt y los científicos españoles e hispanoamericanos en [Peset 1989]*
- Moncada Maya, José Omar. 1994. *El ingeniero Miguel Constanzó. Un militar ilustrado en la Nueva España del siglo XVIII*. México: UNAM.
- Morayta, Miguel. 1910. *El padre Feijóo y sus obras*. Sempere y Compañía
- Moreno Corral, Marco Arturo. 1992. "Libros de matemáticas llegados a América durante los siglos XVI y XVII". *Mathesis* 83: 321-330.
- Moreno, Rafael et al. 1985. *Estudios de historia de la filosofía en México* México: UNAM, 4ta. Ed.
- Moreno de los Arcos, Roberto. 1953. "Alzate, educador ilustrado". *Historia Mexicana*, 23: 371-389.
- _____. 1977. *J. Velázquez de León y sus trabajos científicos sobre el valle de México, 1773-1775*. México: UNAM.
- _____. et al. 1985. *Ensayos de historia de la ciencia en México*. México: UNAM.
- _____. 1994. *Ciencia y conciencia en el siglo XVIII mexicano* México: UNAM.
- _____. (et. al). 1978. "Las instituciones de la industria minera novohispana" en *La minería en México*. México: UNAM.
- Mornet, Daniel. 1980. *Los orígenes intelectuales de la Revolución Francesa 1715-1787* Buenos Aires: Paidós
- Muchenbroek, Pierre Van. 1796. *Cours de Physique Expérimentale et Mathématique*. París. Biblioteca del Palacio de Minería.
- _____. 1734. *Elementa Physicae*. París. Biblioteca Nacional.
- _____. 1762. *Introductio ad philosophian naturalem* París. Biblioteca Nacional.
- Navarro, Bernabe. 1967. *Cultura mexicana moderna en el siglo XVIII*. México.
- Navascues Palacios, P. 1983. *Benito Baile. De la Arquitectura Civil. Estudio Critico* Tomo I. Edita el Colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de Murcia.
- Necrologías*, tomo dos. México. Fondo Reservado de la Biblioteca Nacional.
- Newton, I. 1987. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Alianza Editorial. Tomo I
- _____. 1982. *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* Madrid: Editora Nacional.
- _____. 1977. *Óptica o Tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz*. Madrid: Alfaguara.

- Nollet, M.P. Abbè. 1783. *Leçons de Physique Expérimentale* Paris. Biblioteca del Palacio de Minería.
- _____. 1770. *L'art des expériences physiques* Paris. Biblioteca del Palacio de Minería.
- Palacio Atard, Vicente 1978. *La España del siglo XVIII, el siglo de las reformas*. Madrid: UNED.
- Papeles Varios* (R, 573, LAF). *Revista Correo Literario de la Europa*, Paris. 1780. Fondo Reservado del Palacio de Minería
- Papeles Varios*, Tomo 3 (R, 969, LAF). *Diálogo sobre el globo aerostático, y nave atmosférica, entre un abate y una dama*. Madrid, imp. Blas Roman, 1784. Fondo Reservado del Palacio de Minería
- Pereyra, R. *Humboldt en México* Madrid: América.
- Pérez Marchand, M. 1945. *Dos etapas ideológicas del siglo XVIII en México a través de los papeles de la inquisición*. México: El Colegio de México.
- Peset, José Luis (coord.). 1989. *Ciencia, Vida y Espacio en Iberoamérica*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España
- Piña Garza, Eduardo. *Los relojes de México*. México: UAM.
- Quiroz Martínez. 1949 *La introducción de la filosofía moderna en España. El eclecticismo español en los siglos XVII y XVIII*. México: El Colegio de México.
- Ramírez, Santiago. 1982. *Datos para la historia del Colegio de Minería* SEFI. Ed. Sociedad Alzate.
- _____. 1983. *Biografía del Sr. Andrés Manuel del Río*. México Imp. Sagrado Corazón de Jesús 1891. Ed. Facsimilar. SEFI. 1983.
- Ramos, Samuel 1943. *Historia de la filosofía en México*, México: UNAM.
- _____. 1976. *Obras completas II. Hacia un nuevo humanismo*. México: UNAM.
- Ramos Lara, María de la Paz. 1994. *Difusión e institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII*. Universidad Autónoma de Puebla Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología A.C.
- _____. 1991. *Difusión e institucionalización de la mecánica newtoniana en México en el siglo XVIII*. México: Tesis de Maestría en Ciencias (Física). Fac. de Ciencias. México: UNAM
- _____. 1995. *La mecánica newtoniana y la institucionalización de la física en México en [Lertora Mendoza 1995]*
- _____. 1992. *La nueva física y su relación con la actividad minera en la Nueva España en [Saladaña 1992].*

- Rey Pastor, Julio & José Babini 2000. *Historia de la matemática*. Vol. 2. México: Gedisa.
- Reyes, Alfonso. 1959. "La divulgación de Newton", en *Las burlas veras*. Segundo ciento, México: FCE.
- Ribnikov, A. 1987. *Historia de las matemáticas*. Moscú: MIR.
- Robles Alessio. 1945 *Alejandro Humboldt, su vida y su obra*, México: SEP.
- Rodríguez, Martha Eugenia. 1994. "Enfermedades, astros y matemáticas en la Nueva España" en *Ciencia y Desarrollo*, XX₁₇: Jul-Ago. México: CONACYT.
- Romero de Terreros, Manuel 1963. *Catálogo de las exposiciones de la Antigua Academia de San Carlos de México (1850-1898)*. México: Imprenta universitaria.
- Ronan Charles, E. 1993. *Francisco Javier Clavijero S.J (1731-1787) Figura de la Ilustración Mexicana, su Vida y Obras*. México: ITESO-UAG
- Ruiz de Esparza Gracida, José. 1993. *Fausto de Elhuyar Las matemáticas en su propuesta educativa* en Seminarios de Historia de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. La R.S.B.A.P. México: Colmex.
- S'Gravesande, J. 1746. *Eléments de Physique Demostrez Mathématiquement*. Leyde. Biblioteca del Palacio de Minería.
- _____. 1746. *Physices elementa matemática experimentis confirmata*. Leyde. Biblioteca Nacional.
- _____. 1723. *Philosophiae newtoniane institutiones in uses academicos*. Leyde. Biblioteca Nacional.
- Saenz de Escobar, J 1749. *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados. El primero de medidas de tierras, el segundo de minas, el tercero de aguas, manuscrito*. Archivo General de la Nación de México. Tierras, vol. 3706.
- Saladino García, Alberto 1998. *Libros científicos del siglo XVIII latinoamericano*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- _____. 1999. *José Antonio Alzate y Ramírez. Homenaje en el bicentenario de su nacimiento*. UAEM.
- _____. 1996. *Ciencia y prensa durante la ilustración latinoamericana*. UAEM.
- Saldaña, Juan José (coord.) 1989. *Introducción a la teoría de la historia de las ciencias*. México: UNAM.
- _____. (ed.) 1992. *Los orígenes de la ciencia nacional*. Cuadernos de Quipu 4. México: UNAM.

- Sarrailh, J. 1981 *La España Ilustrada de la Segunda Mitad del Siglo XVIII*. México: FCE
- SEFI. 1987. *Ingenieros en la Independencia y la Revolución* México: UNAM
- Semo Enrique 1977. *Historia del capitalismo en México. Los orígenes 1521-1763*. México: Era
- Sosa Francisco. 1884. *Biografías de Mexicanos Distinguidos* México: Edición de la Secretaría de Fomento. Oficina tipográfica.
- Solana, Fernando, Raúl Cardiel Reyes y Raúl Bolaños Martínez (coord.) 1982. *Historia de la educación pública en México*. México: FCE. Tomo I, SEP/80.
- Struik, D. J. 1959 "American science between 1780 and 1830. The exploration and industrialization of the new nation led in natural science and technology", *Science*, 129³³⁵⁶: 1100-1106.
- Tamayo, Jorge L. 1958. *Breve reseña sobre la Escuela Nacional de Ingenieros* México
- Tank de Estrada, D. 1982. "La Colonia", en [Arce 1982]
- Tatón, R. 1986. *Enseignement et diffusion des sciences en France au dix-huitième siècle*. Hermann Editeurs des sciences et des artes.
- Torrales Pacheco María Cristina. 1993 *Los socios de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País en México* en [Trabulsee 1993].
- Trabulsee, Elias 1983. *Historia de la Ciencia en México*. México: FCE. Tomo I Siglo XVI.
- _____. 1984. *Historia de la Ciencia en México*. México: FCE. Tomo II. Siglo XVII.
- _____. 1985. *Historia de la Ciencia en México* México: FCE. Tomo III Siglo XVIII.
- _____. 1985b. *Francisco Javier Gamboa; un político criollo en la Ilustración Mexicana (1717-1794)* Jornadas 109. México: El Colegio de México.
- _____. 1989. *Los científicos mexicanos socios de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País*. Colmex.
- _____. 1994. *Historia de la ciencia en México*. Versión abreviada. México: FCE.
- _____. 1984. *El círculo roto*. México: FCE.
- _____. 1991. *Historia de la ciencia y la tecnología*. México: Colmex.
- _____. 1993 *Los científicos mexicanos socios de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País* en Seminarios de Historia de la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País. La R.S.B.A.P. México: Colmex

- _____. 1973. "Díaz de Gamarra y sus Academias Filosóficas" en *Humanidades*, Anuario del Instituto de Investigaciones Humanísticas: Tomo 1, número 1: Universidad Iberoamericana
- Turnbull, H. 1947 *The Mathematical Discoveries of Newton*. London: Blackie & Son Limited.
- _____. 1993. *The Great Mathematicians*. Barnes & Noble
- Vallejo, José Mariano. 1807 *Memorias sobre la curvatura de las líneas en sus diferentes puntos, sobre el radio de la curvatura y sobre las evolutas*. Madrid.
- _____. 1833. *Tratado sobre el movimiento y aplicaciones de las aguas*. Madrid.
- _____. 1817. *Tratado Elemental de Matemáticas*. Valencia.
- _____. 1840. *Compendio de matemáticas puras y mixtas*. Madrid
- Vera, Francisco. 1980. *Lexicon*. Argentina: Kapeluz. Serie Matemáticas.
- Vidal Abarca, Juan. 1993. *Los socios desconocidos de la RSBAP en México (correcciones y adiciones al catálogo de socios)* en [Trabulse 1993].
- Westfall, R. 1980 *Newton at rest. A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press.
- Whiteside, D. 1969. *The Mathematical Papers of Isaac Newton*. Cambridge University Press.
- Wiener, Norbert. 1969. *Cibernética y sociedad*. Editorial Sudamericana
- Woods, Alan & Grant Ted. 1995. *Razón y Revolución*. Fundación Federico Engels

