

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**PROPOSICION DE UN CURSO PARA LABORATORIO  
DE CIENCIA BASICA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**QUIMICO**  
**P R E S E N T A**

**FRANCISCO REBOLLEDO LOPEZ**

**MEXICO, D. F.**

**1974**



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.

CLAS. Tosis  
ADQ. 1974 268  
FECHA  
PROC. M. t. 2711

PRESIDENTE	Prof. Enrique Villareal Domínguez
VOCAL	Prof. José Ma. García Saiz
SECRETARIO	Prof. Carlos Castañeda Estrada
1er. SUPLENTE	Prof. Socorro Salas Tavares
2o. SUPLENTE	Prof. Teresa Reguero Reza

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA;

Biblioteca de la Facultad de Química y Comisión  
Académica de Laboratorio de Ciencia Básica.

SUSTENTANTE	FRANCISCO REBOLLEDO LOPEZ
ASESOR DEL TEMA	CARLOS CASTAÑEDA ESTRADA

A MI MADRE

A ROSARIO

A CARLITOS Y PAQUITO

A TODOS MIS SERES  
QUERIDOS

Quiero agradecer profundamente al profesor Carlos Castañeda E., la valiosísima ayuda que me prestó en la elaboración de este trabajo, sin la cual hubiera sido imposible llevarlo a feliz término. Y a mi hermana Juana Rebolledo, por haberme ayudado en el penoso trabajo de mecanografiar esta tesis.

INDICE:

Advertencia . . . . .	7
Primera Parte:	
Introducción . . . . .	13
Actividad Científica . . . . .	15
Los Métodos de la Ciencia . . . . .	25
Teoría del Conocimiento . . . . .	43
Segunda Parte:	
Introducción . . . . .	60
Primera serie de experimentos . . . . .	62
Segunda serie de experimentos . . . . .	89
Tercera serie de experimentos . . . . .	104
Bibliografía . . . . .	111



## ADVERTENCIA.

En el primer semestre del curso escolar de 1974, se ha instaurado en los planes de estudio de la Facultad de Química una nueva materia: "Laboratorio de Ciencia Básica", que se imparte en los primeros semestres de todas las carreras de la Facultad, sustituyendo las horas de laboratorio de las materias restantes. Esta nueva asignatura ha sido planeada "...para cubrir dos objetivos de enseñanza fundamentales como parte de la formación de profesionistas dentro de la facultad. El primero consiste en establecer - una plataforma de conocimientos básicos, generalizada a todas las carreras de la Química, dentro del plano experimental..." Por otra parte, es objetivo fundamental de este curso desarrollar en el estudiante la capacidad de análisis, manejando para ellos los principios generales de la ciencia y en especial el método científico\*..." Una de las mayores y más ambiciosas novedades que presenta esta nueva asignatura, es la de elaborar el material didáctico que el alumno empleará a lo largo del curso, así como un sistema de enseñanza más directo entre profesor y alumno a través de un método que se ha llamado "instrucción personalizada", el cual "...permite que cada estudiante avance a un ritmo que él mismo se marque y no todos a uno que marque el profesor..." Esta situación permite asegurar al estudiante que los conocimientos adquiridos son función de su trabajo, por lo que se hace necesaria su auto-organización, para lo que cuenta en todo momento con un asesor personal, profesor de esta Facultad..."

---

\* "Introducción y guía general al curso de laboratorio de ciencia básica", Facultad de Química, UNAM, 1974

Como profesor ayudante en la asignatura de Análisis I, fui integrado a L.C.B. y he tenido la oportunidad de pertenecer a la Comisión Académica de la materia, cuyo trabajo consiste en escribir, compilar y revisar el material didáctico antes mencionado. En la dinámica de este trabajo, he percatado las interesantes perspectivas que plantea la posibilidad de programar y elaborar el material para un curso experimental. Es por ello, que me he visto interesado en elaborar mi tesis de licenciatura sobre este tema.

Quisiera, antes de explicar el contenido de mi trabajo, hacer algunas consideraciones en cuanto al curso de L.C.B.:

Primero: debe ser formativo.

En una materia experimental para el primer año de estudio en las carreras de Química, resulta claro que no es conveniente plantear un curso rico en información y experimentación sofisticada, dado que el alumno no cuenta con la formación básica para asimilarlo realmente. Se debe, por el contrario, presentar un curso en el cual la cantidad de información sea mínima y fundamental; proporcionando en cambio, la mayor cantidad posible de elementos formativos (metodología, capacidad crítica, habilidad para el trabajo práctico, etc.), los cuales una vez adquiridos, permitirán al alumno comprender con claridad los aspectos meramente positivos que estudiará a lo largo de su carrera y apreciar por otro lado, la importancia de la ciencia en la vida humana.

Segundo: debe ser funcional

Para que un curso de este tipo, rinda verdaderos dividendos, es necesario que desde un principio el alumno se enfrente en la actividad práctica de la ciencia. El estudio fenomenológico de experimentos sencillos pero relevantes, lo obligará a observar, reflexionar, explicar, etc., acercándolo así a la metodología del trabajo científico y a aprehender además, los -- conceptos fundamentales de las ciencias físicas. Lo capacitará, por otra parte, a resolver problemas concretos que su trabajo exija y percibir las enormes posibilidades de aplicación de los conocimientos científicos en la vida cotidiana.

Tercero: debe invitar a la reflexión

Paralelamente a su trabajo experimental, el alumno debe estudiar los conceptos fundamentales de la ciencia y sus métodos, estudio que le permitirá sopesar continuamente su actividad práctica y le dará los elementos necesarios para avanzar a mayores pasos --cualitativamente hablando-- en su formación científica. Los problemas fundamentales del conocimiento deben ser continuamente reflexionados por el alumno para que pueda ser capaz de realizar trabajo fructífero, conciente y crítico.

Según estas consideraciones, el curso que propongo para L.C. B. tiene como objetivos primordiales:

El alumno debe:

a) Comprender el concepto de Ciencia.

b) Adquirir una metodología en el trabajo científico.

c) Tener elementos filosóficos suficientes para poder adquirir una capacidad crítica en su trabajo.

d) Aprender la relación sustancia-energía como fundamental en el estudio de la Química.

e) Conocer la importancia que tiene la aplicación de los conocimientos en la vida social.

Estos objetivos se proponen satisfacer de la siguiente manera:

En la planeación de L.C.B. se optó por impartir el curso en forma de unidades o grupos de estudio cuya realización se cumple de manera seria da. Respetando este sistema, el curso que propongo se integra de seis unidades de las cuales tres contienen material para estudiar en la lectura y tres en la práctica experimental, aunque su seriación será a pares, esto es, para lelamente se estudia la primera unidad de lectura con la primera experimental, etc. Las unidades de lectura son: a) actividad científica, b) los métodos de la ciencia y c) teoría del conocimiento. Las unidades experimentales son: a) transformaciones de la energía, b) termoquímica y c) máquinas térmicas.

La idea es que el alumno por medio de las lecturas, comprenda que la ciencia es producto de la actividad humana y como tal, sólo es posible encontrar su significado en el estudio de la propia historia del hombre, así como la misma actividad científica ha generado procedimientos de trabajo cu ya comprensión y empleo permite facilitar y multiplicar el estudio de la ciencia. Por último, se hacen pequeñas consideraciones en cuanto a los proble-

-mas fundamentales del conocimiento, en cuyo estudio el alumno podrá encontrar mayor sentido a su trabajo y tendrá mejores elementos para comprender plenamente los conceptos fundamentales de la Química.

En el trabajo práctico, debe contrastar lo que está estudiando en sus lecturas y encontrar nuevos y más ricos nutrientes para su formación, que solamente puede darle el trabajo experimental.

Los experimentos propuestos versan en el estudio de la interacción sustancia-energía, partiendo de un estudio sencillo de las transformaciones de la energía para después estudiar la energética química y por último, - las posibilidades de aplicar estos conocimientos en máquinas térmicas capaces de realizar un trabajo útil al hombre.

PRIMERA PARTE.

"Un animal sólo se produce a sí mismo, en tanto que el hombre produce universalmente".

KARL MARX<sup>\*</sup>

## INTRODUCCION

En esta primera parte, está el contenido de las tres primeras unidades que integran el curso propuesto para el primer semestre de Ciencia Básica, que el alumno deberá estudiar paralelamente a su trabajo experimental.

Dado que el alumno que ha elegido una carrera como la de Química, difícilmente está familiarizado con el lenguaje de la Filosofía, aún en su nivel más elemental, se ha pretendido que el contenido de estas unidades sea conciso y sencillo y de ninguna manera se ha intentado hacer un análisis riguroso —filosóficamente hablando— de los temas abordados.

El propósito fundamental que me ha llevado a proponer en esta forma el contenido del curso, es el de lograr que el alumno comprenda que es primordial el análisis de la ciencia no sólo en su aspecto positivo, sino que también en su aspecto histórico, metodológico y filosófico.

La primera parte está formada de tres capítulos o unidades. El primero está referido a la actividad científica, donde se hace especial hincapié en que la ciencia no es algo abstracto y suficiente en sí mismo, sino que es una actividad continua realizada por el hombre. Es por ello, que éste capítulo sea planteado de forma histórica como demostración de la formación de la

---

\*K. MARX, "Manuscritos Económicos y filosóficos de 1844". Editora política, La Habana, 1965. Pag. 78

ciencia en el curso de la formación del hombre mismo.

El segundo capítulo se refiere a los procedimientos y métodos — que surgen en el seno de la actividad científica. Se ha elegido para el análisis de este tema, el empleo de un ejemplo clásico de trabajo científico, en cuyo estudio es posible entresacar las pautas esenciales de las metodologías científicas. Por último, en el tercer capítulo, se reseña brevemente la Teoría del Conocimiento, como doctrina filosófica fundamental para la comprensión de la — ciencia en su actividad y sus métodos. Se hace ver además, que la propia Teoría del Conocimiento se adquiere, enriquece y cobra sentido, en la misma actividad científica.

El contenido de ésta primera parte, verá cumplido su objetivo, si si logra que después de su estudio, el alumno se interese no solamente por adquirir gran cantidad de información en su aula de clase, sino además, saber so pesar ésta información, saber cuestionar los métodos como la adquiere y se le enseña, saber apreciar en fin, que detrás de cualquier conocimiento científico — por ínfimo que sea, hay un gran trabajo que no es fruto de este o aquél científico, sino de todo el esfuerzo humano mismo.



## ACTIVIDAD CIENTÍFICA

La Ciencia existe porque existe el hombre, al igual que el Arte o la Filosofía, la Ciencia es producto de la actividad humana; y es en esta actividad, donde pretendo encontrar su significado, sus métodos y sus logros.

Un buen diccionario de Filosofía nos diría que la ciencia es: " Un conocimiento que incluye, en cualquier modo o medida , una garantía de la propia validez" (1). Una definición que filosóficamente es excelente aunque, para quien se inicia en el mar de la ciencia, poco o nada dice. La cuestión es simple, cualquier definición estatiza un concepto, dice esto es así o asado, pero ninguna definición puede explicarnos en toda su riqueza a un concepto, como lo haría el estudio de su propia dinámica. La ciencia, es producto de una actividad, y mucho más que cualquier definición, la propia actividad científica nos ayudará a comprenderla.

Podría decirse que la actividad científica ( según se entiende a la ciencia hoy en día) consta de cuatro aspectos fundamentales, a saber:

La adquisición de conocimientos; la explicación de los mismos; la comprobación de dichas explicaciones, la capacidad para relacionarlos con otros y predecirlos; por último, la aplicación de dichos conocimientos, explicados y contrastados, en el ámbito de la práctica humana. (2#)

Ahora bien, ¿de qué manera se integran estos aspectos hasta llegar a la ciencia moderna?. En las siguientes líneas, pretendo demostrar que estos aspectos de la actividad científica no se gestaron en un mismo tiempo, sino que fueron desarrollándose en un largo período que empieza con el hombre primitivo que comenzó a adquirir conocimientos, hasta llegar a nuestros días, en los que los

hombres de ciencia elaboran conceptos científicos de tan complejo carácter, que es difícilmente, sino imposible, encontrarles un significado físico en — nuestra mente.

La primera capacidad que desarrolló el hombre, fue la de percatar — vía sus sentidos, la gran cantidad de hechos que la naturaleza le presentaba. Así, se encontró en un mundo rico en objetos e interminablemente cambian— te. Estos objetos, estos cambios, fueron las primeras chispas que encendie— ron el eterno fuego del intelecto humano. El hombre como pequeño niño, reci— bía atento todas estas noticias del mundo que lo rodeaba, su instinto, su — necesidad de alimentarse, lo obligaban a ver los objetos, a tocarlos, a oler— los, a probarlos, a distinguirlos. Podría decirse, que hasta donde llevo di— cho, el hombre se comportaba como cualquier otro animal y de hecho esto — es cierto, sólo reaccionaba instintivamente a los impulsos que llegaban a — sus sentidos. Pero cuando descubrió que una simple piedra tenía más fuerza y dureza que su propio puño y la empleó para procurarse su propio alimento, en ese momento, el hombre cruzó el umbral que lo difiere y caracteriza de— las demás especies, al hacer este descubrimiento, había adquirido un "con— cimiento científico" (3). Es cierto que algunos animales emplean ciertos — "instrumentos" ( en ejemplo típico es el del buitres egipcio, que emplea pe— queñas piedras para romper los huevos que le sirven de alimento), pero tam— bién es cierto que no se ha encontrado evidencia alguna de que dichos anima— les hayan superado sus "instrumentos" o inventado otros, mientras que el— hombre lo hizo y rápidamente. Una vasija hecha de un fruto seco primero —

y de barro después, sustituyó las palmas de sus manos para acarrear el agua. Su propio excremento en un principio, y diversas sustancias naturales después, fueron empleadas para hacer "pinturas" donde reproducían los objetos más importantes en su vida cotidiana. El fuego, que al principio fue un fenómeno natural que lo aterraba, pudo ser producido por sus manos y en el momento en que se le antojase. Aprendió también a cultivar las semillas que le darían alimento y le permitirían llevar una vida sedentaria. Entonces aprendió el hombre a convivir con otros como él, se formaron las primeras tribus, que después fueron clanes y por último ciudades. Sus conocimientos se multiplicaban; la rueda facilitó los transportes, los metales, tantos años dormidos en las entrañas de la tierra, se fundieron generosos a su actividad. En fin, hasta este punto, ya había adquirido gran cantidad de conocimientos que empleaba para facilitar las labores que la vida cotidiana exige. Naciendo entonces una serie de actividades que no exige propiamente la vida natural pero sí la humana, como lo es el Arte, por ejemplo.

Según las regiones que ocupaban, así eran sus costumbres, sus conocimientos y sus artes. Se fueron entonces forjando las primeras grandes culturas. En la antigüedad, son de especial importancia para los fines de este estudio las culturas egipcia y babilonia, ya que marcarán una influencia decisiva sobre la griega, que es de hecho, como veremos más adelante, donde nace el pensamiento científico (4).

Son las culturas egipcia y babilonia complejas sociedades donde las

actividades primarias de subsistencia recaer en una gran cantidad de hombres mientras que unos cuantos privilegiados poseían, gracias al esfuerzo de los primeros, tiempo suficiente para encauzar su actividad intelectual hacia temas abstractos. Nace así la Astronomía, como fruto de una semilla que se sembró cuando el hombre volvió por primera vez la cabeza al cielo, las matemáticas — que tuvieron su origen en el acto de contar y de medir; la Medicina, que tiene por fuente de conocimiento al cuerpo humano mismo; la Metalurgia, o el arte de mezclar durante la fundición a distintos metales para obtener aleaciones de mayor brillo o dureza; la Arquitectura o el arte de producir bellos techos para sus nobles vivos o para sus reyes muertos; la Navegación que es donde por primera vez una fuerza natural sustituye a una animal o humana (5).

Pero ¿y la explicación de todos estos conocimientos? ¿qué era el fuego? ¿por qué fundía con el calor un metal? ¿por qué el jugo de uva envejecido producía embriaguez? ¿qué y cómo por fin, era el Mundo?. Sería absurdo afirmar — que en estas culturas no existiera nadie interesado en contestar semejantes preguntas y que, súbitamente, pocos siglos después en Grecia surgiera un enorme ansia de explicarlas. Sí pretendieron hacerlo, pero para sus explicaciones se valieron no de las cosas mismas, sino de algo que está "fuera de ellas", algo inmaterial. Así, según los egipcios, son los dioses los responsables del origen de la tierra, del fuego y de la vida (6). Los identificaban con los cuerpos celestes, símbolo de lo abstracto y con el Nilo, medio fundamental de su subsistencia. La Teología como explicación del mundo resulta inevitable en estas primeras culturas si se consideran estos dos factores primordiales:

Primero: Impresionado por la fastuosa grandiosidad de la naturaleza, el hombre pensó que fuerzas muy superiores a él la gestaron y la rigen, incluyéndolo a él mismo.

Segundo: La idea de seres superiores era conveniente que existiera, pues así las clases nobles podrían justificar su posición privilegiada, autoproclamándose sucesores directos de los dioses. (el Faraón egipcio por ejemplo, era considerado un descendiente directo de Atón, el Dios principal de su mitología (7)).

Definitivamente, tal explicación a los conocimientos no puede ser considerada como "científica", si admitimos que la ciencia es el producto de la actividad del hombre en la naturaleza.

Cuando ya las primeras culturas estaban en franca decadencia, un tribu medio salvaje proveniente del sur del Asia, se estableció en la región del Egeo, eran hombres fuertes sin duda, casi bárbaros, pero de ninguna manera obtusos. Dada la magnífica posición geográfica de los lugares en que se establecieron, rápidamente asimilaron los conocimientos adquiridos por las antiguas culturas, incluyéndolos sus religiones a las cuales, los griegos nunca les debieron mucha fé. Su religión era más bien frívola, más que enseñanzas, las andanzas de sus dioses (bastante humanos por cierto) eran anécdotas y moralejas. Es interesante hacer notar que paradójicamente, los griegos conservaron celosamente las supersticiones primitivas (como lo muestra el gran respeto que tenían por los oráculos, los sueños, los designios, etc.), y a la vez, fueron poco sino nada fanáticos a la religión. Poseían, es justo decirlo, una imagen material del

mundo, tan es así, que uno de sus más "abstractos" filósofos, Heráclito de Efeso (535-475 a.n.E.), asociaba un concepto tan "poco material" como el "alma" con un elemento natural: el fuego (8). En esta Grecia, de suave clima, exquisito vino, nobles tierras, frívolos dioses y grandes poetas, es donde la actividad científica dá un segundo paso trascendental, y es un filósofo conocido como Tales, oriundo de la ciudad Jónica de Mileto, sobre quien recae este gran honor: Tales de Mileto afirmaba que el mundo entero estaba formado de agua. Al leer esta frase, es fácil preguntarse por qué semejante disparate juega un papel tan primordial en el desarrollo de la actividad científica. La respuesta es que Tales de Mileto es el primer pensador que trata de explicar a la Naturaleza valiéndose de la Naturaleza misma que, como veremos más adelante, es una premisa fundamental en la actividad científica. Pero Tales fué sólo la mecha que pronto provocó la gran explosión de la Filosofía Natural en Grecia. Nombres como Empédocles, Anaxágoras, Pitágoras, Leucipo, Demócrito, etc., contribuyeron a dar explicaciones más satisfactorias a los conocimientos, tema cuyo estudio es fascinante abordar, pero que nos alejaría notablemente de los fines de este trabajo (9).

Lleguemos entonces al punto culminante de toda una actividad que tuvo su principio en Tales de Mileto: Aristóteles, quien en su Física (10) pretende explicar todos los fenómenos naturales; así como en su Ética y Política los fenómenos sociales. Valiéndose para ello de un método conocido como deductivo: Postular un Axioma que por ende, es indemostrable pero evidente en sí mismo, a partir del cual es posible explicar toda una serie de fenómenos. Así por ejem

—plo, para explicar el fenómeno del movimiento, Aristóteles postula que para que un cuerpo experimente un movimiento, es necesario que otro se lo — produzca, el cual a su vez, ha sido movido por otro y así sucesivamente, — hasta llegar al primer motor o "motor inmóvil" que es el origen del movimiento. La existencia o no de tal "motor inmóvil" es indemostrable, pero — gracias a él, es posible explicar cualquier movimiento. La contribución que con este método hace Aristóteles a la ciencia es enorme, pese a lo que afirman algunos autores de corte mecanicista (11).

Resumiendo: los primeros hombres adquirieron conocimientos mediante su actividad; los griegos buscaron la explicación de los mismos y encontraron un método para lograrla, el deductivo.

Pero, aún faltaba dar un paso fundamental. Los griegos aportaban — una explicación intelectual a los conocimientos, mientras que sus artesanos — adquirían nuevos conocimientos; los filósofos pensaban que era posible explicarlos sin necesidad de comprobar dichas explicaciones prácticamente, su — actividad era puramente intelectual; la de los artesanos manual y nunca se — forjó un puente entre ambas: la actividad experimental. Tuvo que esforzarse — muchos años la humanidad para lograr esta fusión, que en cierta manera comenzó ya desde los últimos griegos antiguos (principalmente con Arquímedes) (12), pero que se consolidó definitivamente hasta la época del Renacimiento, siendo el sabio italiano Galileo un ejemplo típico (es justo decirlo, entre muchos otros (13) ) del logro de la comunión entre actividad manual e intelectual.

Galileo afirmaba que para aceptar la explicación de un conocimiento, —

hay que comprobarla prácticamente y así y sólo así se podrá aceptar. Con su famosísimo experimento en la torre de Pisa adquiere experimentalmente una conclusión, una explicación que no ha sido deducida de un axioma, sino que ha sido inducida de un hecho. Una explicación particular puede ser contrastada experimentalmente con un fenómeno y si es comprobada, puede a partir de ella, inducirse una ley que explique ese fenómeno y toda una serie afín a él. Dicha ley entonces, puede predecir (volviendo ahora al viejo método aristotélico), éste o aquél fenómeno.

Es entonces cuando la actividad científica alcanza su nuevo nutriente (el método inductivo) y se desencadena febrilmente a una pasmosa velocidad, tal cual ahora la encontramos y que será lenta vista por los ojos de los habitantes de nuestro mundo dentro de un par de siglos.

El conocimiento así adquirido, es más rico que el simple hecho de percatar algo. Cuando se habla de un conocimiento que posee una explicación comprobada y sujeta a cualquier comprobación se dice que se trata de un conocimiento científico que supera y rechaza a un conocimiento sin explicación o al menos de explicación no comprobable. El primero es Ciencia (Episteme) el segundo es Opinión (Doxa). Quizás ahora lo que se ha discutido en torno a la actividad científica, haga más clara la primera definición que se planteó de ciencia: "Un conocimiento que incluye, en cualquier modo o medida, una garantía de la propia validez" (1).

Como se postuló en un principio, la aplicación de los conocimientos en la práctica humana es un aspecto de la actividad científica. F. Bacon afirma



—ba en su *Novum Organum*: "Es aconsejable observar, la fuerza, efecto y — consecuencias de los descubrimientos. En ninguna parte se ven aquéllos más fácilmente que en esos tres descubrimientos que los antiguos desconocieron y cuyo origen, aunque reciente, es oscuro: la imprenta, la pólvora y el imán. Porque estos tres han hecho cambiar por completo la faz del mundo y el estado de cosas existente; el primero en el campo de la literatura, el segundo — en el de la guerra y el tercero en el de la navegación. A partir de aquí se han producido innumerables cambios, hasta el punto que ningún imperio, ninguna secta ni estrella parece que haya ejercido un poder e influencia sobre las cosas humanas mayor que el de estos inventos mecánicos" (14). La frase puede parecer quizás exagerada, aunque sí previene con gran lucidez, la importancia que puede tener la aplicación del conocimiento científico en las sociedades humanas.

Como Platón ya lo apuntaba: "...Ten, pues, por cierto que lo que — esparce sobre los objetos de las ciencias de la luz de la verdad, lo que con— fiere al alma la facultad de conocer, es la idea del bien, y que esa misma idea es el principio de la ciencia y de la verdad, en cuanto éstas pertenecen al dominio de la inteligencia" (15). La ciencia puede ser un factor que sea para — el hombre obra benefactora que lo conduzca a su bienestar, pero también por desgracia, puede ser nefasta hijastra que lo lleve a su destrucción. Y es que — la ciencia, como producto del hombre mismo, es fiel reflejo de sus virtudes — así como de sus defectos. Es por ello criticable creo yo, el considerar a la — ciencia como algo "amoral", algo que no conoce el bien o el mal (16), que se—

desentiende de los problemas éticos del hombre. La ciencia como he dicho muchas veces, se entiende como actividad, actividad humana, práctica — constante del hombre y no veo posible que actividad humana alguna esté libre de la conciencia del hombre mismo. Una vez estudiado el problema del conocimiento y de los métodos de la ciencia, se volverá con estos nuevos — elementos, al problema que se acaba de plantear y que es, en última instancia, el que el hombre de ciencia nunca debe dejar de tener presente para — darle sentido a su actividad: La Ciencia y la Sociedad.

Hasta aquí, se ha esbozado a la ciencia en su desarrollo como fruto de una actividad humana. Se ha tratado de demostrar que solamente es posible comprender a la ciencia si se estudia la historia del esfuerzo humano — mismo, la ciencia es algo que cobra sentido cuando se habla del hombre. Pero, ¿es posible extraer de toda esta actividad algunas normas metodológicas que la rijan? ¿existen tales pautas generales que aliviarían gran parte — el trabajo de hacer ciencia?. Esto es justamente lo que nos proponemos analizar en el segundo capítulo de este texto.

"Porque no podemos dominar la naturaleza si no es obediéndola".

F. BACON\*

## LOS METODOS DE LA CIENCIA

### A. Introducción:

En el capítulo anterior se ha estudiado ya la importancia de la actividad humana en el desarrollo de las ciencias. Ahora nos proponemos resolver la pregunta planteada al final del mismo: ¿Cómo es posible extraer del seno de la actividad científica unos ciertos procedimientos cuyas normas o pautas alivien el trabajo de hacer ciencia?. El científico además de su actividad constante sobre su objeto de estudio, debe reflexionar también sobre esta cuestión ya que en gran parte hará que su trabajo sea más fecundo y a la vez, evite rodeos innecesarios en su estudio, generalmente debidos al desconocimiento de tales posibles métodos.

Podría llamarse "investigación científica" a cualquier trabajo que tenga por objeto el descubrimiento de conocimientos nuevos en el campo de la ciencia (17). Por otro lado, el término "método" corresponde a un procedimiento de investigación ordenado, repetible y autocorregible, que garantiza la obtención de resultados válidos (18). Según lo que se ha dicho antes, el problema es: ¿existen procedimientos para la investigación científica ordenados, autocorregibles, etc.; es decir, existen "métodos científicos" ?.

---

\*Tomado de: B. Farrington, "F. Bacon Filósofo de la Revolución Industrial". Ed. Ayuso, Madrid (1971). Pag.15

B. El trabajo de Oersted como ejemplo de la actividad científica.

La respuesta la encontraremos nuevamente en la actividad científica misma, en el trabajo mediante el cual se obtienen conocimientos explícitos, comprobables, predecibles y aplicables. Para ello, resulta útil analizar un ejemplo clásico de la investigación científica, el llevado a cabo por J.C. Oersted en 1820 trabajando en el campo del electromagnetismo:

Los fenómenos de la electricidad y el magnetismo eran viejos conocidos por los hombres de ciencia en tiempos de Oersted (19). Existía no obstante, un serio problema en torno a estos fenómenos que distraía la atención de los más grandes eruditos en ciencias físicas de la época: ¿existía o no una relación entre ambos? ¿era la electricidad y el magnetismo fenómenos de la misma "especie" o por el contrario, obedecían a causas de muy distinta índole? El sabio holandés J.H. van Swinden, por ejemplo, afirmaba que las "dos fuerzas (eléctrica y magnética) eran esencialmente de distinta clase" (20); mientras que el físico italiano G.D. Romagnosi, amparado en sus experimentos entorno al tema, sostenía que existía una evidente relación entre ambas (21), -- aunque sus argumentos no eran todo lo contundentes que él deseaba, debido -- principalmente, a lo endeble y dudoso de sus resultados experimentales.

Con estos antecedentes, que podríamos llamar "juicios" y "observaciones" previas, inicia su trabajo Oersted quien, fue directamente al hecho, es decir, se enfrentó frontalmente al problema, no valiéndose (y esto es muy importante) de sus propias conjeturas o de simpatías a tal o cual autor, sino que buscó la respuesta en el fenómeno mismo:

"...El aparatogalvánico que empleamos está compuesto de 20 barras de cobre, cuya longitud y altura era de 12 pulgadas cada una, pero cuyo ancho no era mayor de  $2\frac{1}{2}$  pulgadas. Cada barra se abastece con 2 placas de cobre dobladas de tal manera que puedan llevar una varilla de cobre que apoya la placa de zinc - en el agua en la canal contigua. El agua de las canales contenía una 60 avas parte de su peso de ácido sulfúrico y una igual cantidad de ácido nítrico. La porción de cada placa de zinc se hundió en el agua dentro de un cuadro de 10 pulgadas de lado. Un aparato más pequeño serviría siempre y cuando sea lo suficientemente fuerte para calentar un alambre metálico al rojo vivo.

Las puntas opuestas de la batería galvánica fueron unidas por un alambre metálico el cual para abreviar, llamaremos conductor unificador o alambre unificador. Para el efecto que se lleva a cabo en este conductor y en el espacio - circundante le daremos el nombre de "conflicto de electricidades".

Permítase que la parte recta de este alambre se coloque horizontalmente sobre la aguja magnética debidamente suspendida y paralela a ella. Si es necesario el alambre unificador se dobla para que tome la posición adecuada para el experimento. Estando así las cosas, la aguja deberá moverse y la punta que este junto al lado negativo de la batería apuntará hacia el Oeste.

Si la distancia del alambre unificador no excede tres cuartas de pulgada desde la aguja, la declinación de la misma hace un ángulo de  $45^{\circ}$ . Si la distancia es aumentada, el ángulo disminuye proporcionalmente. La declinación varía también con el poder de la batería.

El alambre unificador puede cambiar su lugar ya sea hacia el Este o -

en dirección opuesta..."

"...Para que estos hechos puedan ser más fácilmente retenidos, podemos usar esta fórmula -el polo superior sobre el que entra la electricidad negativa da vuelta al Oeste; si está por debajo, al Este.

Si el alambre unificador es doblado en un plano horizontal de forma que gradualmente incremente el ángulo con el meridiano magnético, la declinación de la aguja, se incrementa, si el movimiento del alambre es hacia el lugar de la aguja disturbada; pero este disminuye si el alambre se mueve más allá de ese lugar.

Cuando el alambre es situado en el mismo plano horizontal en el cual se mueve la aguja por medio del contrapuesto, y paralelo a él, no se produce declinación alguna, pero una inclinación es producida, de manera que el polo próximo a la electricidad negativa entre al alambre, hay una depresión cuando el alambre esta situado en el lado Oeste, y una elevación cuando se sitúa en el lado Este.

Si el alambre unificador es puesto perpendicularmente al plano del meridiano magnético, sea arriba o abajo, la aguja permanece en reposo, solamente si está muy cerca del polo; en este caso el polo es elevado cuando la entrada es desde el lado Oeste del alambre, y es hundido, cuando es desde el lado Este..."

"... Si el alambre es doblado de forma de dos brazos paralelos uno a otro, este repele o atrae a los polos magnéticos de acuerdo con las diferentes condiciones de el caso. Suponga al alambre colocado opuesto a cualquier polo de-

el Oeste , siempre y cuando siga paralela a la aguja, sin ningún otro cambio del efecto con respecto a su cantidad. Por lo tanto el efecto no puede atribuirse a la atracción, pues el mismo polo de la aguja magnética que se aproxima al alambre unificador, mientras esté colocado en su lado Este debiera retroceder de él cuando este en el lado Oeste sin que estas declinaciones dependieran de la atracción o repulsión. El conductor unificador puede consistir de varios alambres metálicos que estén conectados entre sí. La naturaleza del metal no altera el efecto sino simplemente la cantidad. Los alambres de platino, oro, plata, bronce, fierro o cintas de plomo u hojalata, o una masa de mercurio fueron empleados con igual éxito. El conductor no pierde su efecto aunque este interrumpido por agua, solamente que la interrupción ascienda a varias pulgadas de largo.

El efecto del alambre conductor pasa a la aguja a través de vidrio, metales, madera, agua, resina, pasta de cerámica y piedra; pues no quita su efecto al interponer placas de vidrio, metal o madera. Aún estas sustancias interpuestas a la vez, no disminuyen y de hecho disminuyen muy escasamente el efecto..."

"...Encontramos que los efectos seguían sin cambio cuando la aguja fue introducida en una caja de bronce llena de agua. Resulta innecesario observar que la transmisión de los efectos a través de todas estas sustancias nunca antes habían sido observadas en la electricidad y el magnetismo. Los efectos por lo tanto, que se llevan a cabo en el conflicto de la electricidad son muy diferentes a los efectos de cualquiera de las electricidades.

Si el alambre conductor se pone en un plano horizontal bajo la aguja magnética, todos los defectos son iguales que cuando está sobre de ella, sólo que

la aguja, de manera que el plano de los brazos paralelos es perpendicular al meridiano magnético, y deje el brazo que se orienta al Este sea unido con la terminal negativa, el brazo que se orienta al Oeste con la terminal positiva de la batería; en este caso el polo más cercano será repelido tanto al Este como al Oeste, de acuerdo con la posición del plano de los brazos. El brazo orientado al Este sea unido con el positivo, y el del Oeste con el lado negativo de la batería, el polo más cercano será atraído. Cuando el plano de los brazos es colocado perpendicular al lugar entre el polo y el medio de la aguja, los mismos efectos ocurren pero al revés.

Una aguja de bronce, suspendida como una aguja magnética, no se mueve por el efecto del alambre conductor. Así mismo agujas de vidrio y de laca de goma permanecen inalteradas.

Vamos a hacer unas pequeñas observaciones hacia la explicación de estos fenómenos.

El conflicto eléctrico actúa sólo sobre las partículas magnéticas de la materia. Todos los cuerpos no-magnéticos aparecen penetrables por el conflicto eléctrico, mientras que los cuerpos magnéticos, o bien sus partículas magnéticas, resisten el paso de este conflicto. Entonces ellos pueden ser movidos por los ímpetus de los poderes contendientes.

Es suficientemente evidente de los hechos precedentes que el conflicto eléctrico no está confinado al conductor, sino dispersado bastante ampliamente en el espacio circundante.

De los hechos precedentes nosotros podemos así mismo, concluir que



este conflicto produce círculos; puesto que sin esta condición, parece imposible que una parte del alambre conductor, cuando se coloca bajo el polo magnético, pueda girarlo hacia el Este, y cuando se pone encima hacia el Oeste; pues es la naturaleza de un círculo que los movimientos en partes opuestas deban tener una posición opuesta. Juntos, un movimiento en círculos, unido con un movimiento progresivo, de acuerdo a la longitud de un conductor; debiera formar una línea concoidal o espiral, pero esto, a sólo que yo esté equivocado, no contribuye en nada para explicar el fenómeno hasta aquí observado.

Todos los efectos en el polo norte arriba mencionados son fácilmente entendibles si se supone que la electricidad negativa se mueve en una línea espiral doblada hacia la derecha, y el polo norte es impulsado, pero no actúa sobre el polo sur. Los efectos en el polo sur son explicados de una manera similar, si se postula una electricidad positiva con movimiento contrario y poder de acción sobre el polo sur, pero no sobre el polo norte. El acuerdo de esta ley con la naturaleza puede ser mejor vista con la repetición de los experimentos que con largas explicaciones. El modo de juzgar los experimentos será muy facilitado si el curso de las electricidades en el alambre unificador son apuntadas por marcas o figuras.

Solamente agregaré a lo anterior que yo he demostrado en un libro publicado hace cinco años que el calor y la luz consisten de conflicto de las electricidades. De las observaciones ahora establecidas, podemos concluir que un movimiento circular parecido ocurre en esos efectos. Esto yo creo contribuirá mucho a ilustrar los fenómenos a los cuales se les ha dado el nombre de polarización de la luz ...<sup>1</sup> (22).

En este breve texto, Oersted sienta las bases teóricas del electromagnetismo, ciencia que forma un papel relevante en la vida humana cotidiana. Vayamos al análisis de este documento, el punto será determinar si el sabio siguió una pauta de investigación ordenada, autocorregible y capaz de servir como guía a otro investigador especializado en una rama distinta del conocimiento:

Es interesante hacer notar como en su informe, Oersted describe minuciosamente los aparatos que empleó durante el experimento. Esto resulta importante ya que proporciona los medios para que cualquier otro investigador lo reproduzca, dando así garantía de la validez y de reproducibilidad de sus resultados. Durante su trabajo, como claramente lo describe, Oersted observó las relaciones que existen entre las fuerzas eléctricas y magnéticas. Cambió en todos los sentidos la corriente eléctrica, observó meticulosamente las posiciones que tomaba la aguja magnética, hasta que por fin, fue capaz de aprehender la relación entre el fenómeno eléctrico y magnético. Encontró entonces, como él mismo la llama la "ley natural" que rigen a los hechos experimentados.

Hasta aquí, Oersted ha encontrado una evidencia que confirma la teoría de los seguidores de Romagnosi, la respuesta se la ha dado el propio fenómeno. Ahora bien, esta respuesta satisfecería a "espíritus científicos estrechos" (23), pero no a un verdadero científico. El hecho es evidente y demostrado: la corriente eléctrica produce un campo magnético, pero inmediatamente surge un nuevo problema: ¿por qué?. Oersted lo pretende explicar: "... podemos hacer ahora una serie de observaciones para explicar este fenómeno, el conflicto eléctrico actúa solamente en las partículas magnéticas de materia...!", en el lenguaje

El trabajo científico se diría que ha planteado una hipótesis o explicación del fenómeno. Esta nueva hipótesis, habrá que contrastarla buscando para ello nuevos experimentos, en cuyo curso los conocimientos se irán ampliando a la vez que profundizando. En el caso del electromagnetismo, los trabajos de Faraday y Maxwell — entre otros, continúan el camino iniciado por Oersted (24). El trabajo de la ciencia nunca acaba; la ciencia busca el conocimiento verdadero y éste es infinito (25).

Otro aspecto importante del sabio danés, es la reflexión que hace al final del mismo, en el sentido de que su descubrimiento posiblemente lleve a la explicación del fenómeno de la polarización de la luz. Como es sabido, Faraday lo demostró más tarde y poco después Maxwell encontró el aparato matemático — formal que explica la naturaleza electromagnética de la luz. Hay que hacer notar que Oersted no se conformó con su triunfo, sino que quiso llevarlo a horizontes — más lejanos, un buen científico aspira no sólo a encontrar hechos aislados, sino — explicarlos en el contexto más general posible.

#### C. El "hecho" frente al científico.

El hombre de ciencia encuentra en la realidad un todo cambiante cuyos componentes son característicos y a la vez están entrelazados entre sí dándole su total forma. El científico entonces va al hecho particular; después cuando ya ha — aprehendido sus conexiones internas, su desarrollo y su movimiento propio, entonces busca los hilos con los que está ligado con la totalidad, con la universalidad, para así comprenderlo y predecirlo, logrando además comprender una gran cantidad de nuevos hechos. Quizás este último razonamiento nos lleve a pensar la existencia de principios que en última instancia rijan todas las cosas sin excepción,

sean seres vivos, cuerpos celestes o átomos, como con tanta vehemencia lo -- creían los filósofos de los dos siglos anteriores al nuestro (26), siendo un pen- samiento de esta naturaleza simplista que subestima lo complejo de la realidad que nos rodea. A lo que intentaba referirme, es al hecho de que nada existe -- aisladamente, concebir un fenómeno aislado es "privarlo de sentido" (27); es -- más justo considerarlo en conexión con otros muchos, formando así un conjunto de ellos, conjunto para el cual sí podemos encontrar unas leyes que lo rijan. Es posible entonces, hablar de leyes para el conjunto de fenómenos químicos -- o leyes para la economía o la psicología. Pero creo imposible hablar de leyes- tales que lo mismo sean útiles para explicar un fenómeno astronómico que uno- sociológico. Dentro de la totalidad del mundo, existe la diversidad de sus compo- nentes y a lo más que podemos aspirar, es a un método cuyas leyes objetivas -- sean válidas tanto para el pensamiento como para el movimiento de las cosas.

#### D. La Observación.

Volvamos pues al trabajo de Oersted en busca de estos procedimien- tos:

En el documento encontramos gran cantidad de aseveraciones de este tipo: "...si la distancia del conductor no excede tres cuartas de pulgada desde -- la aguja, la declinación de la aguja hace un ángulo de  $45^{\circ}$ . Si la distancia es in- crementada, el ángulo disminuye proporcionalmente..."; "...si el conductor es -- colocado en un plano horizontal bajo la aguja magnética, todos los efectos son -- los mismos que cuando está sobre ella, sólo que en dirección opuesta...". etc. Podemos afirmar que Oersted se enfrasca continuamente en la observación de --

los hechos. Si reflexionamos sobre cualquier trabajo científico, encontraremos que siempre es necesario observar; pero no hay que entender por observar el mero acto de mirar minuciosamente algo, la investigación científica va mucho más allá, desde que se comienza a observar es necesario que exista una real interacción entre la cosa observada y nuestra mente. La observación científica no es una actitud receptiva, contemplativa, sino activa, práctica. Oersted no estaba contemplando un hecho, estaba actuando sobre él, sólo de esa manera es posible avanzar sólidamente hacia el conocimiento científico (28). Cuando ha hecho una observación activa del fenómeno, el sabio danés cambia las variables que contiene el mismo ( tipo de conductor, sentido e intensidad de la corriente, etc. ), observa nuevamente hasta encontrar la pauta de su comportamiento. Durante esta fase del trabajo, el científico recurre a una técnica invaluable: la medición, la cual le proporciona una serie de datos cuantitativos ( los que adquiere por la observación ) que convenientemente ordenados contribuyen notablemente a la profundización de sus conocimientos. Si Oersted no hubiese medido las inclinaciones de la aguja magnética, hubiera encontrado simplemente una relación entre el fenómeno eléctrico y magnético, pero no podría haber llegado a afirmar que el campo magnético producido fuese circular. Es clara la diferencia entre un conocimiento y otro.

La medición —y eso se verá claramente en el curso experimental— es de medular importancia en la ciencia moderna; y lo es tanto, que hoy en día puede hablarse de una ciencia cuyo objeto de estudio es la propia medición y los instrumentos para efectuarla.

E, La explicación de los hechos y su contrastación,

Oersted en su trabajo no se conforma solamente con observar a los hechos, sino que pretende explicarlos: "... El conflicto eléctrico actúa sólo sobre las partículas magnéticas de la materia...", "... Entonces ellos pueden ser movidos por los ímpetus de los poderes contendientes..." está entonces explicando mucho, e inmediatamente busca la contrastación de su aplicación y explicación.

Las explicaciones científicas deben ser producto de la observación y sujetas a demostrarse de alguna manera. Cuando el propio Oersted, al final de su informe, sugiere la explicación posible al fenómeno observado afirma: "...El acuerdo de esta ley con la naturaleza deberá su mejor veracidad mediante la repetición del experimento...", es decir, mediante su contrastación. Se le llama entonces "hipótesis" a la explicación plausible de un hecho observado y que en su enunciado implique alguna manera de contrastarse y comprobarse.

Es importante hacer notar la diferencia entre una hipótesis y lo que Oersted llama una "ley natural". Mientras que la segunda corresponde a un conocimiento comprobado por una confiable cantidad de hechos (en este caso, la relación entre electricidad y magnetismo); la hipótesis corresponde a la explicación posible del hecho (en este mismo caso el por qué de esa relación) pero, por supuesto no confirmada por una confiable cantidad de resultados. La hipótesis que sienta Oersted por ejemplo, en cuanto a la posible naturaleza electromagnética de la luz, lo sería así hasta que se logró comprobar su veracidad en una considerable cantidad de hechos.

Una vez enunciada la hipótesis, que recalco, debe ser susceptible a -

contrastarse (alguien puede afirmar que morimos cuando el alma se escapa de nuestro cuerpo. Una afirmación de este tipo corresponde a un hecho observado, la muerte, pero no esta sujeta a contrastación, luego no es una hipótesis entendida según la terminología de la ciencia), el siguiente paso será buscar la manera de aceptar o rechazar tal hipótesis. Esto se puede lograr por medio de la experimentación, aunque como veremos más adelante, no es posible en todos los casos.

Se puede llamar experimento al procedimiento para producir o re- producir un fenómeno, cuyas observaciones permitan aceptar o rechazar una hipótesis (29). El experimento de Oersted por ejemplo, confirmó la hipótesis de Romagnosi, mientras que rechazó la de van Swinden. A primera vista, el procedimiento parece sencillo, pero desde luego no lo es tanto. Consideremos un ejemplo clásico: Desde el siglo XVII existen dos hipótesis encontradas en cuanto a la naturaleza de la luz. Huygens afirmaba que se propagaba en forma de ondas continuas; mientras que Newton la consideraba como un flujo de corpúsculos emitidos por la fuente inicial luminosa (30). Ante estas dos hipótesis, el experimento nos puede dar la respuesta: se estudiaron las propiedades de distintos tipos de ondas (las sonoras, por ejemplo) y se experimentó con la luz para ver de qué manera se comportaba. Young y Fresnel (31) demostraron que la luz sufre un fenómeno típicamente ondulatorio: la interferencia y difracción. Con esto, la hipótesis de Huygens fue experimentalmente comprobada de forma contundente. Pero, años más tarde, el experimento del efecto fotoeléctrico (32), evidencia la hipótesis de A. Einstein (33), el cual consideraba a la luz como --

"algo" que se propaga discontinuamente. Ahora bien, ¿cuál de las hipótesis es la correcta? al parecer ninguna y es necesario plantear una tercera; la luz se comporta como pequeños corpúsculos o "fotones" que se propagan en forma de paquetes de onda discontinuos. Esta última hipótesis satisface a algunos científicos, pero a otros no y unos y otros buscan el experimento definitivo que demuestre más luz al problema. Experimento que, como decíamos, no resulta sencillo llevar a cabo.

Hay otro tipo de hipótesis que, como avisaba antes, no son posibles de contrastar experimentalmente, por lo menos directamente. Un historiador — por ejemplo, sienta la hipótesis de que la cultura Maya desapareció a causa de una epidemia de viruela negra. Desde luego, nuestro historiador no puede reproducir el fenómeno (la desaparición del pueblo Maya) para confirmar o rechazar su afirmación; pero sí puede, y de hecho eso hace buscar los hechos (restos arqueológicos, estudios étnicos de quienes actualmente habitan la región, etc.) que afiancen su hipótesis (elevándola al rango de teoría), o que la invaliden. Este tipo de problema no ocurre sólo en las ciencias sociales, también es común encontrarlo en las naturales. Un astrónomo puede afirmar que nuestra galaxia se formó de tal o cual manera, pero desde luego, no está en sus manos reproducir el hecho, aunque sí puede buscar evidencias indirectas para enriquecer su hipótesis.

#### F. Los modelos.

En el ejemplo visto anteriormente, queda claro que el conocimiento en torno al fenómeno de la luz cada vez se ha hecho más profundo y a la vez — —



más complejo. Se puede entorno a este tema plantear la siguiente pregunta: ¿Si la luz no es simplemente un continuo de ondas, sino algo más complicado, entonces qué es esta primera explicación, a qué corresponde?. A esta "concepción simbólica" de Huygens se le conoce como modelo; a saber: "Los modelos son el resultado mental o material a partir de los correspondientes conceptos" (34).

La explicación científica se elabora mediante modelos los cuales son continuamente contrastados con la realidad y consecuentemente, sufren modificaciones que los acercan cada vez más a ella.

#### G. Tipos de modelos.

Pensemos por ejemplo en un mapa, podría decirse que es el "modelo" de un sitio geográfico determinado. Pero el mapa existe, independientemente de lo que contenga dibujado, es una realidad material, se dice entonces que es un modelo "material". Cualquier sustancia purificada en un laboratorio de química, resulta ser un modelo material de las sustancias que existen en la naturaleza siempre en forma impura. Cuando estudiamos el estado gaseoso, irremediablemente nos topamos con la conocidísima relación:  $PV = nRT$ , todos sabemos que ningún gas se comporta según esa relación, que solamente es útil para darnos una idea aproximada del comportamiento de un gas. Estamos hablando entonces de un modelo, pero de un modelo intelectual, que no tiene ninguna realidad material será por tanto, un "modelo abstracto".

El científico puede valerse de modelos, sean materiales o abstractos, con el objeto de explicar más profundamente un hecho real, que es en últi-

—ma instancia, su verdadera meta. Es interesante hacer notar que conforme la ciencia avanza, sus explicaciones son cada vez más complejas y sus modelos — más complicados y abstractos (piénsese por ejemplo, en los modelos atómicos desarrollados por la física moderna).

H. La generalización de las explicaciones.

El conocimiento se nos presenta como una espiral infinita, cuanto — más dudas se resuelven, más se plantean. No solamente se es buen científico — resolviendo problemas, sino encontrándolos (35), esta actitud, aunque parezca — contradictoria, va de la mano del hombre de ciencia. En el siglo XIX<sup>f</sup> gran can— tidad de pensadores creían tener mucho más al alcance de sus manos el conoci— miento total de lo que se cree hoy en día, con artefactos nucleares, satélites es— paciales y demás adornos que nos rodea.

A la gran pendiente que hay que escalar para encontrar la validez de una hipótesis, le sucede el gran descenso que consiste en generalizar dicha hipó— tesis. Lo importante que hizo Galileo no fue sólo demostrar que dos cuerpos — caían con la misma aceleración, sino encontrar que todo cuerpo caía a esa mis— ma aceleración y calcularla. Y aún más grande fue lo que hizo Newton al demos— trar por qué sucedían así las cosas. El llegar a una Ley (hipótesis demostrada en una gran cantidad de hechos) es el punto culminante de la actividad científfi— ca y también el más vulnerable. Porque una ley se nutre de los hechos que ex— plica y predice y cuanto mayor son estos, más general será. Pero cuando una — ley adquiere ese grado de generalización, tanto más rápido se derrumbará si un simple hecho la contradice. Las leyes científicas, es justo decirlo, son mucho

más "democráticas" que las que gobiernan a los hombres. Cuanto más generales (poderosas en la otra terminología) sean, tanto más rápido se desmoronan si el más ínfimo de sus súbditos (los fenómenos que rige) la contradice. Así, — el rebelde experimento de Michelson, pone en crisis unas leyes que habían — costado siglos de esfuerzo humano en edificarse (36). Debo aclarar un poco — mi aparente pesimismo, sería absurdo hacer ciencia, si al cabo de gran fatiga construyo una obra que mi sucesor borraré del mapa. El derrumbamiento — de una ley, siempre va acompañado del nacimiento de una nueva que la asimila en toda su obra fructífera y la supera ahí donde la primera fue incapaz de contestar satisfactoriamente. Así, exenta de egoísmos, la ciencia se autocritica, — se autogesta, en su interminable camino a la verdad.

#### I. Conclusión.

De lo que se ha hablado anteriormente, se desprende que no es posible hablar de un "método científico" entendiéndolo como un procedimiento — que sea válido para todas las ciencias. Dado que cada ciencia particular tiene su objeto propio de estudio, así lo serán también los procedimientos que emplee. El método empleado en las matemáticas es muy distinto al método experimental de la física o la química; el método empleado durante su investigación por un — economista, sería inaplicable para un biólogo, etc.

El término "método científico" empleado por muchos autores, resulta engañoso, ya que normalmente en su descripción abarca las pautas propias de la investigación en las ciencias naturales, que son inaplicables a las — sociales. De lo que resulta que o bien, este método no debería llamarse "cien-

-tífico, o las ciencias sociales no deberían llamarse "ciencias". Como definitivamente es rechazable la segunda posición, es mejor hablar no de "Método Científico", sino más bien de "métodos científicos" o mejor aún, de "epistemologías" (34).

De lo que sí es bien posible hablar, es de la actitud que cualquier hombre de ciencia (sea cual sea su especialidad), debe asumir ante su objeto de estudio:

- 1.- Ir a los hechos, observándolos activamente.
- 2.- Buscar en los hechos mismos, los mecanismos que expliquen su comportamiento.
- 3.- Contrastar estas posibles explicaciones con nuevos hechos (sea experimentando, sea buscando evidencias indirectas).
- 4.- Postular entonces, una ley que rijan dichos mecanismos (sea directamente; sea empleando modelos).
- 5.- Contrastarla con nuevos hechos, aceptándola o rechazándola y así sucesivamente.

La actividad científica genera sus propios procedimientos, cuya comprensión la enriquece considerablemente. Pero, la propia ciencia en su actividad y sus métodos, nos conduce irremediabilmente hacia cuestiones de índole más sustancial, como por ejemplo: al adquirir un conocimiento científico, ¿qué relación existe entre el objeto de estudio y el sujeto cognocente?; ¿existe realmente tal objeto o es tan sólo producto de la mente?. Estas cuestiones han llevado al hombre a forjar una Gnoseología o Teoría del Conocimiento, teoría que se enriquece y a la vez es enriquecida en la actividad científica.

" El pensar y la conciencia son producto del cerebro humano ".

F. ENGELS\*

## TEORIA DEL CONOCIMIENTO

"La teoría del conocimiento (o gnoseología) es la doctrina que trata de las regularidades fundamentales del proceso cognoscitivo, de los métodos, — medios y procedimientos generales de que se vale el hombre para conocer el — mundo que nos rodea" (37).

Según esto, la actividad científica nos lleva a analizar los problemas de el conocimiento. De hecho, cualquier persona que se adentre en el campo de la ciencia, debe conocer al menos las premisas fundamentales de la teoría del — conocimiento, para poder así, por un lado comprender la razón de su trabajo, y por el otro para poder emplear con la mayor utilidad posible los métodos de — adquisición de conocimientos. Es interesante hacer notar como, la actividad — científica nos lleva a preguntarnos acerca de la legitimidad de los conocimien— tos adquiridos, así como del origen y realidad del objeto sobre el que se actúa y del sujeto actuante. Siendo estas cuestiones propias del campo de la gnoseolo— gía, la cual una vez adquirida, nos permite comprender de manera más amplia y profunda a la actividad científica y a los procedimientos que de ella emanan.

El estudio del conocimiento se nos presenta hoy en día como propio del campo de trabajo de los filósofos y no es común que nuestros m aestros de

---

\*F. Engels, "Anti-Dühring," Ed. Cartago, Buenos Aires 1973. Pág. 49

ciencias naturales hagan siquiera hincapié en el mismo. Esto puede ser debido al carácter estrictamente positivista de la educación en nuestro país. La separación entre la investigación científica y filosófica es algo relativamente nuevo. Los pensadores que forjaron los distintos aspectos de la gnoseología eran tanto filósofos como científicos (piénsese por ejemplo en el físico Descartes, el historiador Hegel, el economista Engels, y más recientemente, los físicos E. Mach, W. Heisenberg o los matemáticos H. Poincaré y B. Russell). Y es que, de todos los campos de la investigación filosófica, la teoría del conocimiento es la que más depende del avance y desarrollo de las ciencias dado que, como decíamos antes, su objeto de estudio es el propio conocimiento y la adquisición del mismo. El gran sabio alemán A. Einstein afirmaba: "...la teoría del conocimiento desconectada de la ciencia se convierte en un esquema vacío. La ciencia sin la teoría del conocimiento, en el caso de que sea concebible en general sin ella, es rudimentaria y desordenada (38)". Percató Einstein claramente la importancia que representa para el científico esta doctrina.

En este capítulo, nos proponemos analizar de la forma más somera posible, los aspectos fundamentales de la gnoseología para después, interaccionarlos con la actividad científica y sus métodos, alcanzando entonces la imagen más precisa posible de la ciencia. En los capítulos anteriores se ha abordado la actividad y los métodos científicos, mientras que ahora nos proponemos estudiar el problema de la adquisición de conocimientos. Para lograr estos fines es ineludible apelar con más frecuencia que en los temas anteriores, al lenguaje filosófico y a los conceptos fundamentales de la filosofía, muchos de los

cuales será necesario definirlos en principio, método que —como ya apuntaba en el primer capítulo— no resulta del todo conveniente, pero dada la extensión del tema y como el propósito que me anima es el de presentarlo lo más compacto — posible, será entonces necesario recurrir a las definiciones.

#### A. El problema objeto-sujeto.

Todo proceso cognositivo supone un "objeto" real sobre el que se — adquieren conocimientos y un "sujeto" (el pensamiento, el hombre) que los ad— quiere (39).

Ahora bien, ¿de qué manera el "sujeto" adquiere el conocimiento — del "objeto"? en las diversas respuestas a esta pregunta, se encuentran las prin— cipales posiciones filosóficas. Analicemos pues, las posibles soluciones:

El hombre común, que no está compenetrado con la filosofía, pien— sa sencillamente, que existen las cosas reales (objetos) y nosotros las percibi— mos (sujetos) por medio de nuestros sentidos tal cual son. A esta primera acti— tud, conocida como "realismo ingenuo" (40) se le contraponen, rechazándola con relativa facilidad cualquier doctrina filosófica. Aunque, como veremos más ade— lante, el "realismo ingenuo" es punto de partida de doctrinas muy importantes y eminentemente científicas.

Una segunda posibilidad, sería la de separar al objeto y al sujeto — analizándolos por separado, para buscar así el proceso cognositivo. Pero como — demostraremos, este procedimiento lleva a un problema irresoluble: Supon— amos que separamos al sujeto y buscamos una explicación para el mismo. Inmediata— mente vemos que es imposible, ya que el sujeto en la gnoseología está referido

por su capacidad cognocente, es decir, por su capacidad para conocer al objeto y por tanto, en cuanto lo separamos de éste, su explicación será vacía. Otro — tanto por supuesto, ocurriría con el objeto, si lo analizamos independientemente del sujeto, habría que admitir que existe un procedimiento tal que sea posible, — aún sin el conocimiento real y objetivo (que sólo existe en la relación objeto-sujeto—), un procedimiento que actúe "más allá" por decirlo de alguna manera, del mundo cognoscible. A un procedimiento de este tipo se le denomina "metafísica" y este mismo término se emplea para cualquier doctrina filosófica que lo emplee (41).

#### B. El idealismo.

Una importante corriente del pensamiento humano, interpretaba al conocimiento de la siguiente manera: Yo, como sujeto, adquiero conocimiento — de los objetos, pero en cuanto puedo hablar de mi existencia (sujeto), no puedo — hablar de la del objeto, ya que la única evidencia de su existencia es la mía propia. Por lo tanto lo que conozco no son más que las sensaciones de mis propias — ideas (42). Así, el obispo inglés Berkeley afirmaba allá por 1710: "...Cuando — digo que la mesa en la que escribo existe, esto quiere decir que la veo y la siento; y si yo saliese de mi habitación, seguiría diciendo que la mesa existe, com— prendiendo por esto que podría percibirla si yo estuviese en mi habitación..." "... Pues ¿qué son dichos objetos sino las cosas que percibimos por medio de — nuestros sentidos?. ¿Y no es sencillamente absurdo creer que puedan existir — ideas o sensaciones, o combinaciones de ideas y de sensaciones, sin haber sido percibidas? ..." (42). Una interpretación al conocimiento de este tipo, la cual—



antepone el pensamiento al objeto, se conoce como idealismo. Por definición, todo idealismo es metafísico (ya que reduce la relación objeto-sujeto al sujeto-solamente), pero no toda metafísica es idealista (43) como veremos más adelante. Pero, sigamos en el estudio del idealismo y de las distintas posibilidades que esta doctrina dá a la teoría del conocimiento:

### C. Idealismo subjetivo.

El idealismo más primitivo, más "idealista", es el que antepone de manera tan contundente al sujeto, acaba por negar la existencia real del objeto: "la realidad soy yo y mis ideas", diría un idealista de este tipo. Y a la pregunta ¿por qué existes tú y tus ideas? siempre tendrá que responder en términos metafísicos, ya sea por la existencia de una "fuerza generadora", la "divinidad" o el mismísimo Dios. Se define entonces, como idealismo subjetivo a la doctrina que afirma "que los objetos no existen fuera de nuestra mente" (44) y que, por supuesto, nuestra propia mente no tiene un origen objetivo y material. Los razonamientos de este tipo, irremediablemente llegan a la conclusión de que sólo Yo existo, pues todo lo que me rodea no son más que mis propias ideas. Actitud que en filosofía se conoce como solipsismo, a saber: "la creencia de que yo sólo existo" (45). Una posición de esta naturaleza frente al problema del conocimiento, resulta incompatible con la ciencia. Un científico, profese las ideas que sean, no podría enfrascarse en su actividad si realmente estuviese convencido de que nada existe, ¿para qué conocer lo que no existe?, sería un trabajo absurdo. El solipsismo hoy en día encuentra seguidores solamente entre "pensadores" místicos o locos y ningún verdadero científico o filósofo lo toma realmente en se-

-rio,

#### D. Idealismo Objetivo,

Una segunda actitud idealista al problema del conocimiento, es la que admite la existencia real del objeto y la posibilidad del sujeto a conocer. Sólo que, en última instancia, tanto el sujeto como el objeto obedecen su existencia a un "algo" metafísico, sea el "Dios perfecto" de Descartes (46) o "la idea absoluta" de Hegel (47),

A esta interpretación idealista se le conoce como idealismo objetivo y es desde luego, mucho más importante que el solipsismo en su concepción del conocimiento visto desde el punto de vista del interés a la ciencia. El idealismo objetivo, al admitir la existencia de los objetos que nos rodean, alimentó considerablemente el acervo científico: "...Descartes perfeccionó el álgebra — e inventó la geometría analítica; descubrió la ley de la refracción, los reflejos fisiológicos y una parte del mecanismo de la circulación sanguínea. En tanto — que fisiólogo y físico, él cree en la existencia objetiva de la "red extensas" — del espacio geométrico hacia el que llevaban los nuevos instrumentos matemáticos inventados por él. Simultáneamente es el metafísico idealista que definió — a la existencia del puro pensamiento y la pura conciencia de sí: "cogito ergo — sum". Su sistema metafísico llegó pues, a conclusiones idealistas; él yuxtapone su idealismo metafísico y su materialismo científico en un "dualismo" discutible; el cuerpo y el pensamiento, la naturaleza y el espíritu existen cada uno por su — parte, cada uno con sus leyes propias..." (48),

## E. Materialismo.

A la doctrina opuesta al idealismo, es decir, a la que afirma — que el objeto existe real e independientemente del sujeto, se le conoce como "materialismo" (49).

Al igual que el idealismo, el materialismo es una doctrina de — origen muy antiguo, El materialismo de hecho, tiene sus raíces en el "realismo antiguo"; mientras que el idealismo las tiene en la teología. Al igual — que en el caso del idealismo, existen distintas interpretaciones materialistas — al problema del conocimiento:

Podremos hablar de un "materialismo metafísico" siempre y cuando: "...Admita una realidad absoluta (la materia) acepta lo impensable, lo incognoscible, una cosa en sí, la materia situada fuera de la conciencia y la experiencia, e incluso del conocimiento..." (50). Llegamos así al otro extremo del idealismo subjetivo. Materialismo metafísico alcanzó a ser muy abrazado por los pensadores de los dos siglos anteriores al nuestro, debido fundamentalmente a los espectaculares avances de la ciencia natural (especialmente la mecánica).

### 1.- El mecanicismo.

Se entiende por mecanicismo a toda doctrina que para su explicación se sirve exclusivamente del movimiento de los cuerpos, entendido en el — sentido restringido de movimiento espacial. En este sentido, una teoría mecanicista de la naturaleza es la que no admita más explicación posible de los hechos naturales, sea cual fuere el dominio al que pertenezcan, que las que los con—

—sidera como movimientos o combinaciones de movimientos de cuerpos en el — espacio. El materialismo de los siglos XVIII y XIX adoptó esta concepción, que se distingue por las siguientes características: a) la negación de todo orden finalista. La polémica entre materialismo mecanicista y finalismo comenzó, — a partir del siglo XVII, en cuanto el mecanicismo se afirmó con el surgimien— to de la ciencia moderna. También actualmente, a menudo, se entiende por me— canicismo la mera negación del finalismo; b) el determinismo riguroso, es — decir, el concepto de una causalidad necesaria que inviste todos los fenómenos de la naturaleza. Actualmente se considera como no mecanicista toda concep— ción del mundo que niega el determinismo riguroso.

En la física, el mecanicismo es la tesis de que todos los fenóme— nos de la naturaleza deben ser explicados mediante las simples leyes de la me— cánica y que, por lo tanto, la mecánica misma posee un lugar privilegiado en— tre las otras ciencias, en cuanto suministra a todas los principios de explica— ción.

El materialismo mecanicista es entonces, una doctrina metafísica al afirmar la existencia de leyes inalcanzables incluso por la acción del hom— bre, en este caso el sujeto.

El materialismo mecanicista se vió desacreditado por dos razo— nes fundamentales: a) las crisis que empezó a sufrir a finales del siglo pasado la mecánica clásica o newtoniana; b) por las críticas que no contestaba satis— factoriamente al positivismo.

## 2.- El positivismo.

El término fue adoptado por primera vez por Saint-Simón para designar el método exacto de las ciencias y su extensión a la filosofía. Auguste Comte tituló así su filosofía y por obra suya pasó a designar una gran dirección filosófica que, en la segunda mitad del siglo XIX, tuvo muy numerosas y variadas manifestaciones en todos los países del mundo occidental. La característica del positivismo es la romantización de la ciencia, su exaltación como única guía de la vida particular y asociada del hombre, esto es, como único conocimiento, única moral y única religión posible.

Las tesis fundamentales del positivismo son las siguientes:

a) La ciencia es el único conocimiento posible y el método de la ciencia es el único válido; por lo tanto recurrir a causas o principios no accesibles al método de la ciencia, no originará conocimientos y la metafísica que precisamente recurre a tal método carecerá de todo valor.

b) El método de la ciencia es puramente descriptivo, en el sentido de que describe los hechos y muestra las relaciones constantes entre los hechos, que se expresan mediante las leyes y permiten la previsión de los hechos mismos o en el sentido que muestra la génesis evolutiva de los hechos más complejos partiendo de los más simples.

c) El método de la ciencia, en cuanto es el único válido, se extiende a todos los campos de la actividad humana y la vida humana en su conjunto, ya sea particular o asociada, debe ser guiada por dicho método.

El trato que le dá el positivista al hecho es, siguiendo una vieja tra

-dición idealista, de tipo empirista, es decir, sólo se puede creer en lo que se ha adquirido experimentalmente por medio de los sentidos o sus ramificaciones (los instrumentos) de un objeto se percatan sólomente sensaciones que afectan a los sentidos con las cuales, psíquicamente el cerebro forma una imagen. Dado que el color, el sabor y demás sensaciones que se perciben, no existen físicamente, entonces no es posible decir que el objeto percibido es realmente así fuera de nuestros sentidos. De hecho, los positivistas afirman que nunca se podrá conocer realmente a un objeto. Uno de los más grandes pensadores positivistas afirma: "...podemos decir que es muy improbable que el sol tenga brillantez o pensamientos, pero de hecho no podemos decir que es imposible..." (51). En filosofía, una actitud de este tipo es conocida como "agnosticismo", es decir, la negación de la posibilidad del conocimiento objetivo.

Entonces, según el positivismo, el científico debe investigar a los objetos, inducir las leyes que rigen sus fenómenos y no preocuparse por saber si realmente es así el objeto, dado que este, en última instancia, es incognoscible. Pero, pese a este aparente científicismo del positivismo es posible demostrar, que está altamente impregnado de un idealismo que en algunos casos raya con el subjetivo:

Al afirmar que las cosas que percibimos son producto de un -- complejo de sensaciones sobre nuestros sentidos, el positivismo no sólomente desconoce o se desentiende del problema objeto-sujeto, pues desconoce como tal al objeto real (agnosticismo); sino que asume la tan molesta actitud meta-

-física de que las cosas son sensaciones mías y por lo tanto sólo existen si yo existo, etc. (solipsismo) (52).

La actitud que el positivismo le pide al científico (trabajar, pero admitir que lo que conoce no es realmente la cosa que investiga, sino una serie de impresiones psíquicas en su mente), es realmente imposible que este la lleve a cabo. Cuando se hace ciencia, se está convencido —y este es un hecho— que el objeto que se estudia existe ahí fuera de mi mente, y que lo estoy conociendo y si mi esfuerzo es grande, lo conoceré más profundamente, tal cual es objetivamente. Si un científico durante su actividad tomara en serio el solipsismo o el agnosticismo, no haría ciencia, ¿qué objeto tendría?

### 3.- El materialismo dialéctico.

Por último, existe una moderna actitud materialista ante el problema del conocimiento. Este materialismo moderno, que preserva el principio fundamental del materialismo, a saber: "...el objeto existe real e independientemente del sujeto ...", se contraponen al materialismo metafísico ya que considera al objeto-sujeto en una relación de interacción inseparable. El sujeto (el hombre) en su carácter de producto de la materia misma, está objetivizado, en tanto que el objeto, en su carácter de fuente de conocimiento al sujeto, está subjetivizado, en una interacción insoluble. Se habla entonces de una relación de interioridad (53) entre objeto y sujeto, entre pensamiento y materia, entre naturaleza y espíritu, en contradicción continua, fuente de su movimiento.

Por otra parte, el materialismo moderno rechaza al agnosticismo: el objeto es cognoscible, pero no como un simple reflejo en nuestra mente, es-

cognosible sólo mediante la actitud práctica del hombre ante él. Así, cuando observamos por primera vez un objeto, tendremos una imagen muy aproximada e imprecisa de él; pero si volvemos al objeto continuamente, si entramos en actividad práctica con él, podremos entonces conocerlo más y más profundamente.

Nosotros mismos somos materia, pero también somos sujetos, tenemos ideas y pensamientos, somos capaces de conocer. Nuestro cerebro es el punto final donde concluyen las informaciones de los sentidos para crear una imagen del objeto, nuestro pensamiento se hace pues en el cerebro, pero no es el cerebro; de esta contradicción, surge la explicación dialéctica del materialismo moderno.

Resumiendo, el materialismo moderno o dialéctico, explica así la teoría del conocimiento:

" a) El conocimiento supone: un "objeto" real exterior, la naturaleza o materia, penetrada progresivamente en el curso de la historia de la práctica, de la ciencia y de la filosofía por el "sujeto" humano activo, cuyas representaciones, imágenes e ideas corresponden al objeto de forma cada vez más exacta.

b) El ser humano es un 'sujeto+objeto'; piensa, es 'sujeto', pero su conciencia no se separa de una conciencia objetiva, su organismo, su actividad vital y práctica. El actúa y como tal, es objeto para otros sujetos actuales.

c) El sujeto y el objeto, el pensamiento y la materia, el espíritu



y la naturaleza, son a la vez distintos y están ligados en su interacción, en --  
lucha incesante en su propia unidad.

Para el materialismo moderno, el idealismo se define y se critica  
ca por su propia unilateralidad. Pero los materialistas no deben dejar que se  
simplifiquen las verdades primeras del materialismo, no dejarlas caer al ni-  
vel del materialismo vulgar, olvidando los apreciables resultados obtenidos --  
por los idealistas en la historia del conocimiento y especialmente en lógica.  
Al contrario, el materialismo debe dar todo su sentido y todo su valor a los --  
instrumentos del conocimiento forjados por los grandes idealistas" (54).

El materialismo dialéctico contiene y supera al idealismo objeti-  
vo, producto de tan grandes pensadores; mientras que el mecanicismo conti-  
núa, junto con el positivismo, la tradición del idealismo subjetivo, con sus --  
agnosticismos y solipsismos.

El conocimiento es pues, accesible y nadie mejor que el científico  
lo confirma. Porque durante su actividad, está convencido de que su objeto de --  
conocimiento existe y es posible conocerlo mediante el esfuerzo, la actividad,  
la práctica, que es como dije en un principio, la condición necesaria para que  
la ciencia exista.

#### F. Conclusión.

La teoría del conocimiento ha sido motivo de preocupación por --  
el hombre, en su insaciable esfuerzo por conocer el mundo que lo rodea. Ha --  
encontrado en ella la manera de comprender en sus aspectos más sustanciales  
a la ciencia y sus métodos. Es por ello importante que el científico en su acti-

-vidad, se plantee los problemas cognositivos que la propia actividad científica le sugiere, buscando las respuestas no sólomente en el ámbito de un laboratorio o cualquiera que sea su lugar propio de trabajo; sino en la Filosofía, que es en última instancia, el pozo donde se vierten las inagotables reflexiones del hombre en cuanto a la realidad total, dentro y fuera de él mismo.

## ACLARACION A LAS NOTAS:

- (1) Abbagnano N., Diccionario de Filosofía, p.163.
- (2) C. Hempel, Filosofía de la Ciencia Natural.
- (3) Farrington B., Ciencia y filosofía en la antigüedad, p. 27
- (4) Ibid.
- (5) Farrington B., F. Bacon Filósofo de la Revolución Industrial.
- (6) Véase, por ejemplo: Aldred C., Los egipcios, Aymá, Barcelona, 1968.
- (7) Ibid.
- (8) Farrington B., Ciencia y filosofía en la antigüedad, p.41
- (9) Hay una considerable cantidad de libros acerca de la ciencia en Grecia, recomendamos por ejemplo: Sarton G., Ciencia Antigua y Civilización Moderna, FCE, México, 1971; Finley M.I., los griegos de la antigüedad, Ed. Labor, Barcelona, 1966; Guthrie, Los Filósofos Griegos, FCE México, 1958; Los Científicos Griegos, Ed. Aguilar, Madrid, 1970; La Obra de Farrington antes señalada, etc.
- (10) Aristóteles, Obras Completas, Ed. Aguilar, Madrid, 1954.
- (11) James Jeans, Historia de la Física, FCE, México, 1970.
- (12) Ibid.
- (13) Véase por ejemplo: Mieli A., La Ciencia del Renacimiento, Espasa-Calpe Buenos Aires, 1952.
- (14) Farrington B., F. Bacon Filósofo de la Revolución Industrial, pp.15-16.
- (15) Platón, Diálogos (La República), Ed. Porrúa, 7a. Ed., México, 1968, pp. 445-5
- (16) Bunge M., Ética y Ciencia.
- (17) Abbagnano N., Op. Cit.
- (18) Ibid.

- (19) Dibner B., Oersted and the Discovery of Electromagnetism, p. 42.
- (20) Dibner B., Op. Cit., p.23
- (21) Ibid.
- (22) Dibner B., Op. Cit., p.71
- (23) Lefebvre H., Lógica formal. Lógica dialéctica.,
- (24) James Jeans, Op. Cit.
- (25) Lefebvre H., Op. Cit.
- (26) Véase inciso E (1) "El Mecanicismo" del tercer capítulo de este trabajo.
- (27) Lefebvre H., Op. Cit.
- (28) Kursánov G., Materialismo dialéctico.
- (29) Abbagnano N., Op. Cit.p. 606.
- (30) James Jeans, Op. Cit.
- (31) Ibid.
- (32) Ibid.
- (33) Ibid.
- (34) Villarreal E., Teoría del Conocimiento y de la Información, LCB, UI, México 1974, p.6
- (35) Wartofsky M., Introducción a la Filosofía de la Ciencia.
- (36) Gamow G., Biografía de la Física, Ed. Salvat, Barcelona, 1974
- (37) Kursánov G., Op. Cit. p.253.
- (38) Kursánov G., Op. Cit. p. 256.
- (39) Lefebvre H., Op. Cit.
- (40) Lenin V. I. Materialismo y empiriocriticismo .

- (41) Lenin V.I., Op. Cit. p.16.
- (42) Ibid.
- (43) Lefebvre H., Op. Cit.
- (44) Lenin V.I., Op. Cit., p.32.
- (45) Russell B., El Conocimiento Humano., p.218
- (46) Véase por ejemplo: Xirau, R., Introducción a la Historia de la Filosofía  
2a. ed. UNAM; México 1968.
- (47) Ibid.
- (48) Lefebvre H., Op. Cit. p.69.
- (49) Lefebvre H., Op. Cit.
- (50) Lefebvre H., Op. Cit., p.73.
- (51) Russell B., Op. Cit., p.250
- (52) Ibid.
- (53) Lefebvre H., Op. Cit.
- (54) Lefebvre H., Op. Cit., p.80

SEGUNDA PARTE.

"Restringir el acceso al campo del conocimiento a un pequeño grupo mata el espíritu filosófico de la gente y conduce a la pobreza intelectual"

ALBERT EINSTEIN\*

## INTRODUCCION

Esta segunda parte está compuesta de las unidades que integran el curso experimental. Se ha considerado que los conceptos fundamentales - en las ciencias físicas y especialmente de la química, son los de materia y - energía. Es por ello, que el trabajo experimental ha sido diseñado de manera que verse esencialmente sobre esos conceptos.

Es frecuente presentar el estudio de la materia y la energía de manera separada, si bien este procedimiento tiene sus ventajas prácticas en cuanto a que facilita la comprensión de esos términos, la naturaleza se nos - presenta de forma bien distinta; cualquier fenómeno natural que observemos - presenta una interacción entre la materia y la energía indisoluble. Y es precisamente el estudio de esa interacción y su aplicación en la vida humana el objetivo medular de esta segunda parte.

Es también importante que durante el trabajo experimental el -- alumno adquiera y emplee una metodología científica y sea capaz por otra parte, de establecer criterios de explicación a los fenómenos estudiados así como hacer revisiones críticas de su trabajo con el fin de mejorarlo continua--

---

\*Tomado de: L. Barnett; "El Universo y el Doctor Einstein", F.C.E. 3a. ed. México 1967. p 7

-mente.

Esta parte esta formada de tres series de experimentos: a) "las transformaciones de la energía". En estos experimentos se hace un estudio - fenomenológico de la energía en algunas de sus manifestaciones ( mecánica, - térmica y eléctrica ) y de sus transformaciones, de donde se debe postular un principio de su comportamiento; b) "termoquímica". Aquí se trata de estudiar a algunas reacciones químicas así como la energía que asocian y c) "máquinas térmica". En donde se estudian a los aparatos que en base al principio de interacción sustancia-energía, han desempeñado un relevante papel en la vida - del hombre.



## PRIMERA SERIE: "TRANSFORMACIONES DE LA ENERGIA"

### INTRODUCCION:

En estos experimentos se realizará un estudio de la energía y su transformaciones, para poder por un lado, postular un comportamiento para las mismas y por otro, poder estudiar los fenómenos de los cambios químicos de las sustancias y su relación con la energía, tema que se verá en la segunda serie de experimentos.

Otro aspecto importante de este trabajo, es el de comprender la importancia que tiene la medición como una necesidad que surge en la investigación científica, por lo que se estudiarán los aspectos fundamentales de las técnicas y métodos matemáticos de la medición.

Ahora que empieza su trabajo experimental, es necesario que recuerde que para que una obra científica sea fructífera es menester una disciplina rigurosa de trabajo, realizar todas las veces necesarias el experimento hasta que sea realmente comprendido, cuestionar continuamente sus procedimientos, elaborar informes claros y concretos, plantearse continuamente dudas y buscar la manera de resolverlas y no conformarse nunca con un conocimiento adquirido, pues este es puerta a nuevos más ricos y más fascinantes.

## EXPERIMENTO 1. PLANO INCLINADO

### Definiciones Básicas:

Se puede definir la "velocidad", como el cambio de posición de un cuerpo en movimiento con respecto al tiempo empleado. Entonces:

$$v = \frac{x}{t} ,$$

en la cual, ( $x$ ) se mide en unidades de longitud y ( $t$ ) en unidades de tiempo.

Cuando un móvil recorre iguales intervalos de distancia en los mismos intervalos de tiempo, se dice que su movimiento es de "velocidad - uniforme" o de velocidad constante.

Cuando un móvil sufre cambios de velocidad en el tiempo, se dice que su movimiento es acelerado. Y si estos cambios de velocidad se realizan en los mismos intervalos de tiempo, el movimiento es de aceleración - constante o "uniformemente acelerado". Por lo que:

$$a = \frac{\Delta v}{t} ,$$

en la cual, ( $\Delta v$ ) se mide en m/seg y ( $\Delta t$ ) en seg.

### Objetivo del experimento.

Estudiar la relación entre las distancias recorridas por un móvil en un plano inclinado y los tiempos empleados para ello.

### Procedimiento.

Para iniciar el estudio de este experimento, es necesario medir la longitud del plano inclinado que se utilizará y disponer de un reloj que permita determinar los tiempos de caída del móvil. Se requiere entonces, -

que se construyan los instrumentos de medición apropiados.

#### A. Medición de longitud.

Para conocer las distancias entre dos objetos en el espacio, el hombre se ha valido de la comparación de longitudes usando para ello unidades patrón. Así por ejemplo: la vara, el pie, la cuarta, etc. De tal manera que la longitud a medir ( el largo de un salón de clase, por ejemplo), se comparaba con el patrón y su magnitud era igual al número de veces que se requería del patrón para igualar la longitud problema.

En el caso que nos preocupa, es decir, la determinación de la longitud del plano inclinado, deberá:

- a) Sugerir y construir un instrumento para efectuar la medición.
- b) Indicar las unidades que se van a emplear.
- c) Indicar los múltiplos y submúltiplos de la unidad elegida.
- d) Determinar la precisión de su instrumento.
- e) Dividir el plano en seis partes y medir las distancias con respecto al punto superior. Anotar los valores de cada medición e indicar su precisión.

#### B. Medición del tiempo.

La segunda variable en el estudio del plano inclinado es el tiempo. Al igual que las distancias, el tiempo se mide mediante comparaciones tomando para ello patrones de medida. Un "reloj" se caracteriza por tener un dispositi-

-vo que presenta cambios uniformes. Por tanto, un reloj de "buena" precisión es aquel que presenta una "buena" uniformidad en sus cambios. El hombre, - en el transcurso de la Historia, ha usado varios tipos de relojes, los prime--ros fueron naturales: el cambio del día a la noche, el cambio de las estaciones o su repetición, etc. ; otros los ha inventado él, por ejemplo: el reloj de arena, de sol, de agua, de péndulo, etc.

La medición del tiempo de caída de un móvil en plano inclinado - requiere un reloj, así que usted deberá:

a) Construir un reloj para medir la temporalidad de descenso del móvil en el plano.

b) Indicar cuales son las unidades de su instrumento.

d) Considerando las características de su instrumento, ¿cuál es la precisión de sus mediciones?

e) ¿Qué factores influyen en la precisión del instrumento?

C. Realización del experimento.

1.- Una vez que cuenta con los instrumentos necesarios para determinar longitud y tiempo, realice los experimentos de bajada del móvil por el plano midiendo el tiempo que tarda en caer a lo largo de todo el plano.

Con los datos obtenidos, construya la siguiente tabla:

No. de experimento	$x ( \quad )$	$t ( \quad )^*$
1		
2		
3		
4		
5		
6		

\*Dentro del paréntesis se coloca la unidad o unidades en que se mide la propiedad tabulada.

a) ¿Qué puede aseverar en cuanto a los datos de la tabla en relación a:

i) El fenómeno, es decir, ¿es reproducible?: presenta regularidades aproximadamente o bien, tienen un alto grado de precisión, ¿El experimento se realizó en óptimas condiciones o se pueden mejorar?. ¿Qué importancia tiene el número de experimentos realizados?, etc.

ii) ¿Los instrumentos poseen la precisión adecuada para cuantificar el fenómeno?. ¿Qué factores influyen en la medición de éste fenómeno?

2.- Si ahora planteamos el problema de medir el tiempo involucrado en recorrer  $1/6$ ,  $2/6$ ,  $3/6$ ,  $4/6$ ,  $5/6$  y  $6/6$  de la longitud total del plano en una sólo caída,

a) ¿ La precisión de sus instrumentos permitirá realizar el experimento?

b) Si esto no fuera posible, ¿qué instrumento propone usted?--  
(en caso de no encontrar un instrumento adecuado, consulte a su asesor).

Una vez que disponga de los instrumentos necesarios, realice el experimento sugerido con los datos obtenidos, construya la siguiente tabla:

No. de Exp.	1o.	2o.	3o.	4o.	Prom.
x ( )	t ( )	t ( )	t ( )	t ( )	
1/6 de L.					
2/6 de L.					
3/6 de L.					
4/6 de L.					
5/6 de L.					
6/6 de L.					

donde L es la longitud del plano inclinado.

Para obtener el valor promedio de cada determinación (1/6 por ejemplo), sume los cinco valores obtenidos, o los que haya determinado y divida entre cinco, o los que haya determinado, el resultado es el valor promedio. En general:

$$\frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}_i ,$$

en la cual  $\sum x_i$  es la suma de todos los valores de  $x_i$ ; n es el número de valores de  $x_i$  y  $\bar{x}_i$  es el valor promedio.

3.- Haga una gráfica con los datos de la tabla anterior de distancia recorrida vs. tiempo promedio ( $x$  vs.  $\bar{t}$ ). Después de colocar los puntos de la tabla en un plano cartesiano, intérpretelos mediante una curva,

a) ¿qué conclusiones se pueden obtener de la gráfica con respecto al tipo de movimiento ocurrido?

En tanto que los puntos de la gráfica representan las relaciones determinadas experimentalmente para  $x$  y  $\bar{t}$ , ¿podemos considerar que la curva representa un modelo de comportamiento entre  $x$  y  $\bar{t}$ ?

b) ¿Existen fuentes de error en el experimento y en los instrumentos?

c) ¿Se podría postular que el comportamiento de  $x$  y  $\bar{t}$  serían como lo describe la curva si se eliminaran las fuentes de error tanto en los instrumentos como en el experimento?. ¿Qué ventajas tendría esto?.

4.- Investigación:

Haga una gráfica de  $x$  vs.  $\bar{t}^2$ . Explique ampliamente sus resultados.

## EXPERIMENTO 2, PLANO INCLINADO

### Definiciones Básicas:

Al estudiar un movimiento en el cual la velocidad no permanece constante sino que varía, es conveniente definir el concepto de "velocidad instantánea", a saber:

$$\frac{dx}{dt} = v_{inst.},$$

en la cual  $dx$  es la distancia (muy pequeña: diferencial) que recorre el móvil en un tiempo sumamente pequeño;  $dt$ .

La determinación experimental de velocidades instantáneas implica que se pueda medir la distancia recorrida por un móvil en un tiempo sumamente pequeño (diferencial), lo cual sólo podrá realizarse aproximadamente si se dispone de instrumentos bastante precisos.

### Objetivo del Experimento:

Estudiar el tipo de movimiento que presenta un cuerpo al caer por un plano inclinado,

### Procedimiento:

Instale un aparato como el que se muestra en la figura 1. El reloj eléctrico que forma parte del aparato se muestra con detalle en la figura 2.

1.- Déjese caer el carrito por el plano inclinado y accione el vibrador simultáneamente. Cuando el móvil llegue al final del plano, detenga el reloj. Procure que la cinta que arrastra el carrito pase libremente a través del martillo del timbre y que éste imprima bien los golpes. Así obtendrá-



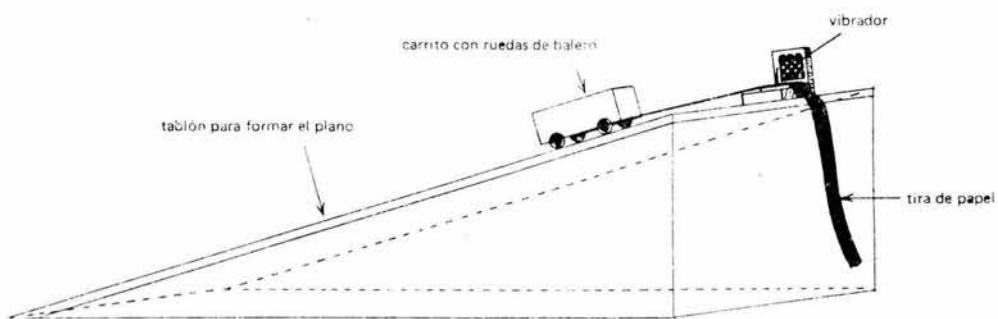


FIGURA 1.

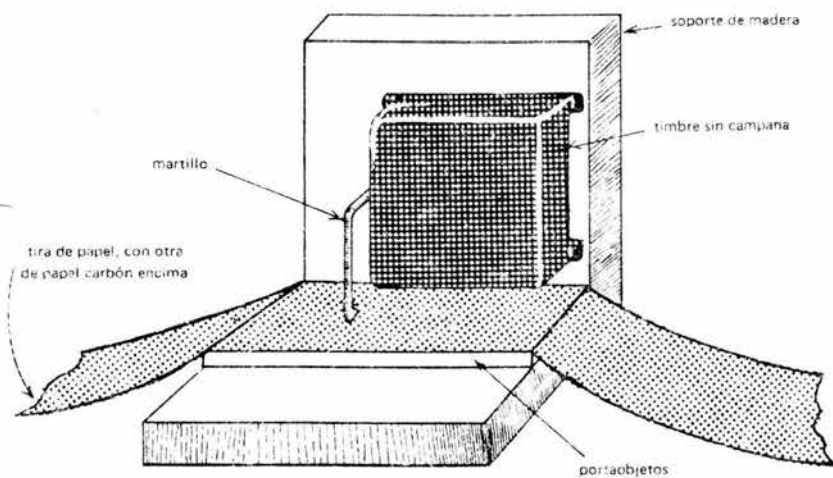


FIGURA 2.

Figura 1.

una serie de puntos sobre la tira de papel y como cada punto se imprime en el mismo lapso de tiempo ( $1/50$  de seg.), con los que podrá determinar fácilmente varios cocientes del tipo:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{\text{inst.}}$$

donde  $\Delta x$  es la distancia recorrida entre dos puntos consecutivos impresos por el martillo del timbre y  $\Delta t$  el tiempo que tarda en imprimirlos ( $1/50$  de seg.).

Con estos datos construya la siguiente tabla:

	$x$ ( )	$t$ ( )	$v$ inst. ( )
$1/6$ de L.			
$2/6$ de L.			
$3/6$ de L.			
$4/6$ de L.			
$5/6$ de L.			
$6/6$ de L.			

2.- Con los datos de la tabla construya una gráfica de  $v_i$  contra  $t$ .

Una vez señalados los puntos en un plano cartesiano únalos mediante la curva más adecuada.

a) ¿Qué tipo de curva obtuvo?

b) De acuerdo con los datos que le proporciona la gráfica, calcule la (s) característica (s) más importante (s) del movimiento.

c) ¿De qué tipo de movimiento se trata?

### 3.- Investigación;

Repita el experimento anterior variando la inclinación del plano - hasta que el ángulo de inclinación sea de 90 grados. Comente ampliamente sus resultados.

### EXPERIMENTO 3. ENERGIA POTENCIAL Y ENERGIA CINETICA.

#### Definiciones Básicas:

En su forma más simple, se define al trabajo como el producto de la fuerza aplicada a un cuerpo por la distancia que recorre:

$$\text{Trabajo} = \text{fuerza} \times \text{distancia.}$$

Pero para realizar un trabajo es necesario utilizar cierta cantidad de energía; de aquí que se defina a la energía como la capacidad de realizar un trabajo.

Sobre un cuerpo que cae libremente actúa una fuerza que está dada por:

$$F = \text{masa del cuerpo} \times \text{aceleración de la gravedad,}$$

o bien:

$$F = ma.$$

Así que el trabajo que es capaz de realizar un cuerpo de masa  $m$  cuando cae libremente desde una altura  $h$  es:

$$\text{Trabajo} = \text{masa del cuerpo} \times \text{aceleración de la gravedad} \times \text{altura,}$$

o bien:

$$W = mgh.$$

Las unidades que resultan para el trabajo son:

$$W = \text{Kg. m}^2/\text{seg}^2;$$

y a esta unidad se le llama: 1 Joule.

**Energía Potencial:** se dice que un cuerpo asocia energía potencial en virtud de posición o estado dentro de un campo gravitacional.

**Energía Cinética:** todo cuerpo que se desplaza asocia una energía cinética en virtud de su movimiento; se calcula:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Objetivo del Experimento:

Estudiar la relación que existe entre la energía potencial de un móvil antes de caer de un plano inclinado y la energía cinética que adquiere al final del mismo.

Procedimiento:

1.- Determinación de la masa del móvil.

De acuerdo con lo anotado más arriba, para calcular la energía cinética y potencial de un cuerpo, es necesario conocer su masa, por lo tanto:

- a) ¿Qué aparato sugiere para medir la masa del móvil?
- b) Explique el principio de operación de su instrumento.
- c) Indique los múltiplos y submúltiplos de la unidad usada.
- d) ¿Qué precisión tiene su instrumento?
- e) Determine la masa del carrito (móvil).

2.- Determinación de la energía potencial ( $E_p$ ) y energía cinética ( $E_c$ ).

Para determinar la  $E_p$  y  $E_c$  se usará nuevamente el plano inclinado y el reloj eléctrico construido durante su experimento anterior. Deje caer el carrito y accione el reloj simultáneamente, cuando llegue al final del plano, detén-

-galo. Calcule la velocidad instantánea empleando para ello las dos últimas marcas de la tira de papel. ¿ Por qué precisamente las últimas dos?, justifique su respuesta.

Realice la siguiente tabla para diez lecturas al menos, sin variar la inclinación del plano:

No. de experimento	$E_p$ ( )	$E_c$ ( )
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Los experimentos anteriores, la energía potencial tiene si empre el mismo valor, pero la energía cinética probablemente no. Determine el valor promedio de la energía cinética para tener un valor más representativo de la misma al final del plano.

2.- Aquí se introduce un nuevo aspecto en el tratamiento de los da

-tos obtenidos en un experimento repetido varias veces, con la finalidad de obtener el error neto con relación al valor medio, este procedimiento se conoce como "cálculo de la desviación media":

$$dm = \frac{\sum (\bar{x} - x_i)}{n}$$

en la cual  $\sum (\bar{x} - x_i)$  es la suma de todas las diferencias entre el valor promedio y cada uno de los datos obtenidos en el experimento; y n es el número de datos o diferencias.

Para obtener la desviación media del ejemplo anterior, es conveniente hacer la siguiente tabla:

No. de Exp.	Ec ( )	$\bar{Ec} - Ec_i$
1	$Ec_1 =$	$\bar{Ec} - Ec_1$
2	$Ec_2 =$	$\bar{Ec} - Ec_2$
3	$Ec_3 =$	$\bar{Ec} - Ec_3$
.		
.		
.		
SUMA:		SUMA:
PROMEDIO:		dm:

- Obtenga la desviación media para el experimento anterior.
- Obtenga el valor neto de la energía cinética.
- ¿Cuál es la importancia del valor neto?

3.- Compare el valor de la energía potencial con el valor neto de la energía cinética,

a) Los datos de la tabulación anterior, ¿pueden llevar a postular el principio de conservación de la energía?. Explique.

b) Para confrontar con la realidad este principio de conservación, realice una nueva caída y a diferentes longitudes del plano calcule las correspondientes  $E_p$  y  $E_c$  para cada longitud escogida:

i.- ¿Se comprueba el principio de conservación postulado?

ii.- Si los valores muestran diferencias, ¿a qué se puede deber este hecho?.

c) Es fácil observar que el cuerpo al llegar al final del plano acabará por detenerse, ¿qué sucede con la energía cinética?. Explique su respuesta.

#### 4.- Investigación:

Calcule las  $E_p$  y  $E_c$  para distintas inclinaciones del plano; construya una gráfica de  $E_p$  vs. altura del plano y de  $E_c$  vs. altura, en la misma gráfica. Analice y explique sus resultados.

a) ¿Podrá hacerse este estudio de la relación entre  $E_p$  y  $E_c$  en un experimento de caída libre?. Explique su respuesta y en caso afirmativo, diseñe y realice el experimento, haciendo cálculos similares a los anteriores.

b) ¿Podrá hacerse este mismo estudio en un experimento de péndulo simple?. Explique su respuesta y en caso afirmativo, diseñe y realice el experimento, haciendo cálculos similares a los anteriores.

c) Los resultados de los incisos a y b, ¿contribuyen a confirmar el principio de conservación de la energía?. Explique ampliamente su respuesta.



## EXPERIMENTO 4. ENERGIA MECANICA Y ENERGIA TERMICA

### Objetivo del Experimento:

Estudiar la transformación de Energía Mecánica a Energía Térmica. Construir un termómetro y estudiar su principio de funcionamiento.

### Procedimiento:

#### 1.- Transformación de energía mecánica a térmica:

En un tubo de cartón de un metro de longitud y cinco centímetros de diámetro, se introduce un kilogramo de postas de plomo. En estas condiciones se mueve el tubo de tal manera que las postas caigan de un extremo a otro cien veces, procurando que el centro del tubo (A) (ver fig. 1) no suba ni baje con respecto al suelo:

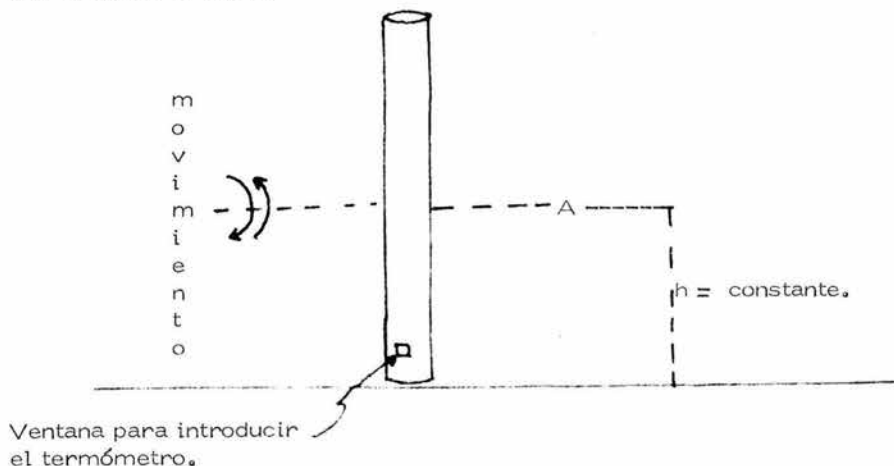


Figura 1.

Así como "...con quince o veinte martillazos enérgicos y rápidos dados en la punta de una varilla de hierro de una cuarta de pulgada de diámetro aproximadamente y puesta encima de un yunque, puede un herrero experto poner visiblemente al rojo la punta del trozo de hierro ..." (J.P.Joule)\*. También en este caso, podemos suponer que las postas se calentarán como resultado que entre ellas se experimenta al chocar unas contra otras en su movimiento de un extremo al otro del tubo.

Para cerciorarnos de esto último, construiremos un termómetro que nos permita saber si efectivamente se calientan las postas. Una vez que se haya construído el termómetro como se indica en el número 2 de éste experimento, proceda a:

a) Calcular la energía potencial de las postas en una caída.

b) ¿Cuánta energía mecánica deberá transformarse a térmica en las cien caídas?

c) ¿Cuál es el incremento de temperatura de las postas?

d) Si la energía térmica que recibe un cuerpo se calcula por la expresión:

$$Q = mc(t_2 - t_1),$$

en la cual Q es la energía térmica suministrada; m es la masa del cuerpo; C es el calor específico del plomo y  $(t_2 - t_1)$  la diferencia de temperaturas, ¿qué-

---

\* Tomado de: "Física" col. lecturas universitarias, UNAM, México 1972.

cantidad de energía térmica recibió el plomo?

e) Con los valores de inciso b y d calcule el equivalente mecánico de la energía térmica.

f) Repita el experimento tratando ahora con pastas de otro metal (cobre, por ejemplo). Compare sus resultados.

g) Investigue el valor del equivalente mecánico de la energía térmica en la literatura y compárelo con los valores que ha obtenido experimentalmente. Comente ampliamente sus resultados.

## 2.- Construcción de un termómetro de gas :

Se puede construir un termómetro de gas con mucha facilidad de la siguiente manera:

Un tubo de vidrio de 5 cm. de longitud y 10 mm. de diámetro se cierra en uno de sus extremos, obteniéndose así un bulbo (ver fig. 1). Por otro lado, un tubo capilar de paredes gruesas de 40 cm. de largo se le coloca en un extremo una gota de mercurio (ver fig. 2), que sirve de tapón para el aire contenido en el bulbo y como indicador de la dilatación del mismo, se acopla al bulbo por medio de un trozo de manguera de hule de aproximadamente 2 cm. (ver fig. 3)

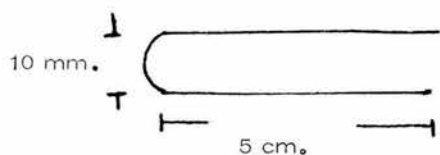


Fig. 1

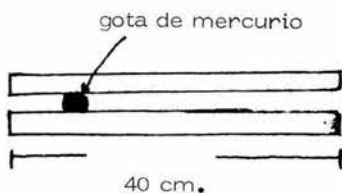


Fig. 2

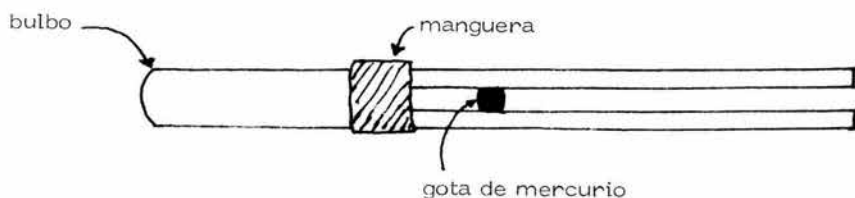


Fig. 3

Si calentamos el bulbo (hasta donde está la manguera), el aire se dilatará y la gota de mercurio se desplazará hacia el extremo opuesto del bulbo. Si se enfría el bulbo, el gas que contiene se contraerá y la presión atmosférica empujará la gota de mercurio hacia el bulbo.

- ¿Cómo se puede calibrar el termómetro?
- ¿Qué influencia tiene el tamaño del bulbo?
- ¿Qué influencia tiene el diámetro del capilar?
- ¿Es lineal la escala del termómetro?
- ¿De qué depende la precisión del termómetro?

3.- Investigación:

Construya un termómetro de agua, calíbrelo y compare su precisión y utilidad con el de gas.

a) ¿Qué influencia tiene la nueva sustancia en sus resultados?

## EXPERIMENTO 5. ENERGIA ELECTRICA Y ENERGIA TERMICA

### Definiciones Básicas:

Intensidad de corriente (I): Se define como el flujo de un coulomb de corriente por segundo. Se mide en unidades llamadas "amperes".

Cantidad de corriente (q): se mide en unidades llamadas coulombs y se define: un coulomb es igual a  $6,24 \times 10^{18}$  electrones. Por tanto:

$$q = I \times t$$

Resistencia (R): Se mide en ohms y se puede definir como la oposición ofrecida al flujo de electrones por un circuito.

Potencial eléctrico (V) : se mide en volts y se define: el potencial eléctrico de un cuerpo es igual a la cantidad de trabajo realizado por unidad de carga positiva para llevar cualquier carga desde el suelo hasta el cuerpo cargado entonces:

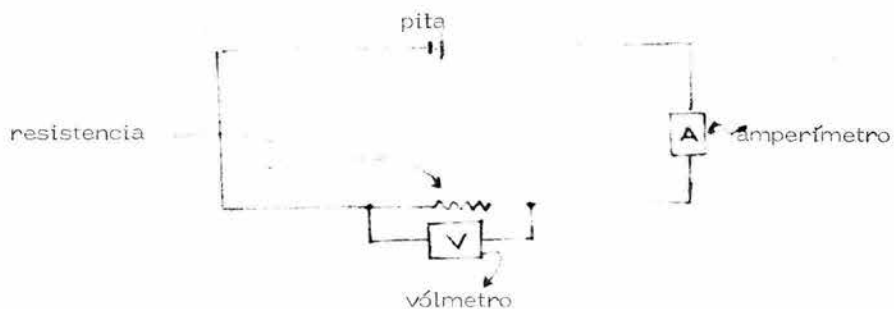
$$V = \frac{W}{q}, \text{ o bien, } W = V \times q; \text{ entonces:}$$

$$\text{Trabajo} = \text{voltaje} \times \text{carga} \text{ y: } 1 \text{ julio} = 1 \text{ volt} \times \text{coulomb.}$$

Diferencia de potencial (V): La diferencia de potencial entre dos cuerpos, esta definida como el trabajo realizado por la unidad de carga positiva, al llevar cualquier carga de uno de los cuerpos hasta el otro. Se mide en volts.

Caída de potencial: Es la diferencia de potencial en los extremos de una resistencia.

Descripción de un circuito simple:



En el cual:

a) la pila es una fuente de fuerza electromotriz, que tiene por objeto proporcionar un flujo de electrones o corriente eléctrica. Se dice también -- que es una fuente de corriente directa,

b) La resistencia de carga consume energía eléctrica.

c) El vólmetro mide la caída de potencial entre los extremos de la resistencia.

d) El amperímetro mide la intensidad de la corriente que fluye por el circuito.

Procedimiento:

1.- Construya el aparato que se muestra en la figura 1:

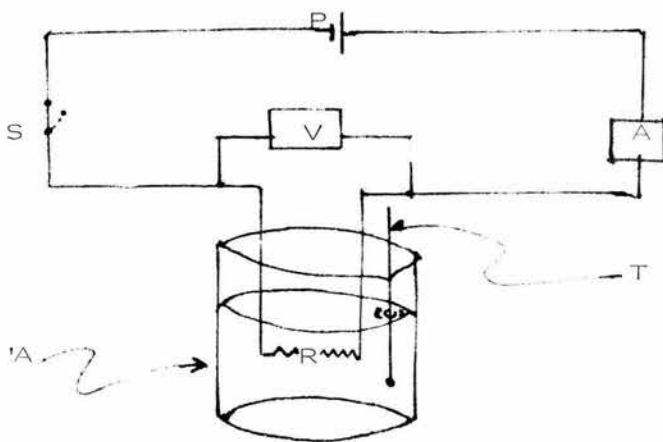


Fig. 2

en el cual:

- S es un interruptor de corriente.
- V es un voltmetro de 0 a 10 volts.
- A es un amperímetro de 0 a 1 amper.
- R es una resistencia de carga de 5 ohms.
- P es una pila de 1.5 volts.
- T es un termómetro de gas.
- 'A es un vaso de pp. conteniendo agua

2.- Una vez construido el aparato, oprima el interruptor S y observe cuidadosamente los instrumentos de medida (voltmetro, amperímetro y termómetro) durante 5 minutos al menos. Anote sus resultados.

- a) ¿Cuál es la sensibilidad del voltmetro y amperímetro empleados?
- b) ¿Qué revela el termómetro en el curso del experimento?
- c) ¿Fluye corriente por el circuito?. Explique su respuesta.



d) ¿A qué cree usted que se deba el calentamiento del agua?

### 3.- Relación entre energía eléctrica y energía térmica.

Coloque una cantidad pesada de agua en el vaso de precipitados e instale el termómetro. Conecte el circuito y cierre el interruptor durante 5 minutos. Anote los valores leídos en el voltímetro y amperímetro, así como el aumento de temperatura registrado en el termómetro. Repita este experimento cinco veces y con sus datos, construya la siguiente tabla:

No. de Exp.	V ( )	I ( )	t ( )	*Q ( )	$\bar{Q}$	$\bar{Q} - Q$
1						
2						
3						
4						
5						

\* Donde Q es igual a la energía térmica.

a) Obtenga un valor promedio para Q (energía térmica); su desviación media y el error neto.

b) Si postulamos la validez del principio de conservación de la energía, ¿cuánta energía eléctrica ha consumido la resistencia?

### 4.- Investigación;

Repita el experimento empleando aceite en lugar de agua. Realice los mismos cálculos. ¿En qué afecta la naturaleza de la sustancia los resultados?

## EXPERIMENTO 6. ENERGIA ELECTRICA

### Objetivo del experimento:

El alumno debe determinar la energía eléctrica en base a propiedades del circuito y contrastar la validez del principio de conservación de la energía.

### Procedimiento:

1.- Con el circuito del experimento anterior y variando el tiempo que fluye la corriente ( $t'$ ), obtener los datos para elaborar la siguiente tabla:

No. de Exp.	$t' ( )$	$V ( )$	$I ( )$	$V \cdot I \cdot t'$	$\overline{(V \cdot I \cdot t')}$	$\overline{(V \cdot I \cdot t')} - (V \cdot I \cdot t')$
1	_____	_____	_____	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	_____	_____	_____
4	_____	_____	_____	_____	_____	_____
5	_____	_____	_____	SUMA:	SUMA:	_____
PROMEDIO: _____						

2.- Determine Q experimentalmente (según lo hizo en el experimento anterior) y obtenga, la validez del principio de conservación\*, la siguiente tabla:

---

\* Si el principio de conservación es cierto, entonces  $Q = Ee$  (léase Q equivale a  $Ee$ ).

No. de Exp.	$Q( )$	$E_e( )$	$\bar{E}_e$	$\bar{E}_e - E_e$
1				
2				
3				
4				
5				
		SUMA:		SUMA:
		PROMEDIO:		

3. Compare los valores obtenidos para  $(V \cdot I \cdot t')$  y  $E_e$ ; comente ampliamente sus resultados.

a) Construya una gráfica de  $(V \cdot I \cdot t')$  vs.  $E_e$ , con los cinco experimentos de la tabulación. Interprete los puntos de la gráfica.

b) ¿Qué se puede concluir del experimento?

c) ¿Qué resultados esperaría si el líquido fuera aceite en vez de agua?

## SEGUNDA SERIE: "TERMOQUIMICA"

### INTRODUCCION:

En la serie anterior de experimentos, se estudio a la energía y sus transformaciones sin considerar a las sustancias, mientras que ahora - trataremos de conocer las transformaciones químicas que sufren las sustancias y los cambios energéticos que las acompañan.

El estudio de los cambios de energía que son causa de las reacciones químicas constituye el campo de la termodinámica química y será la meta fundamental de los siguientes experimentos. Es importante comprender que si bien la producción de energía a partir de las reacciones es uno de los aspectos más importantes de la química, el fenómeno contrario no lo es menos. Por lo pronto, sólo nos interesa conocer la cantidad de energía asociada a cada una de las reacciones que estudiaremos, sin pretender dar una explicación formal de la naturaleza de esta interacción entre las sustancias y las diferentes formas energéticas. Por lo tanto, con base en el primer principio de la termodinámica estudiaremos cómo se puede determinar la entalpia de una reacción, su energía interna y algunos de los trabajos que una reacción puede producir.

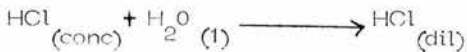
## EXPERIMENTO 1. CAMBIOS ENERGETICOS EN LAS REACCIONES QUIMICAS.

### Objetivo del Experimento:

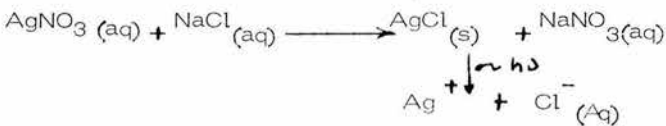
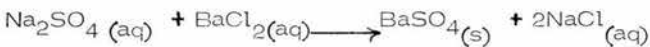
Estudio cualitativo de los cambios energéticos que acompañan a una reacción química.

### Procedimiento:

Realizar las siguientes reacciones y encontrar experimentalmente la energía asociada a cada una:



secos





1.- Clasifique las reacciones anteriores en términos de la energía asociada.

a) Postule una explicación para aclarar de dónde proviene la energía emitida por una reacción exotérmica. Trate así mismo, de dar una explicación para la energía absorbida por una reacción endotérmica.

b) Sugiera y explique una técnica para medir cuantitativamente la energía asociada a una reacción química.

2.- Coloque en un tubo de ensayo tres gramos de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  y caliente fuertemente para efectuar la siguiente reacción y observe su proceso:



Procure que no queden gotas de agua en las paredes del tubo. Deje enfriar hasta la temperatura ambiente y observe cuidadosamente.

a) ¿Cuál fue el cambio químico efectuado y cuál es la energía asociada?

Agregue ahora varias gotas de agua una a una y observe cuidadosamente:

b) ¿Qué cambio químico ocurrió?, Escriba la reacción;

c) ¿cuál es la energía asociada al cambio?

d) ¿qué puede concluir de este experimento?

3.- En términos energéticos, ¿qué se puede postular acerca de la espontaneidad de una reacción?

## EXPERIMENTO 2. CALORIMETRO

### Introducción:

En los experimentos anteriores se ha realizado un estudio de la energía asociada a las reacciones químicas de una forma cualitativa. Ahora se realizará un estudio cuantitativo del fenómeno, por lo que es necesario construir un instrumento de medición adecuado, en este caso un "calorímetro".

### Objetivo del Experimento:

El alumno deberá construir y calibrar un calorímetro así como comprender cuál es el principio de funcionamiento del aparato.

### Procedimiento:

Coloque en el tubo A del calorímetro 50 ml. de ácido clorhídrico (1 M) y construya dicho calorímetro como se indica en la figura 1.

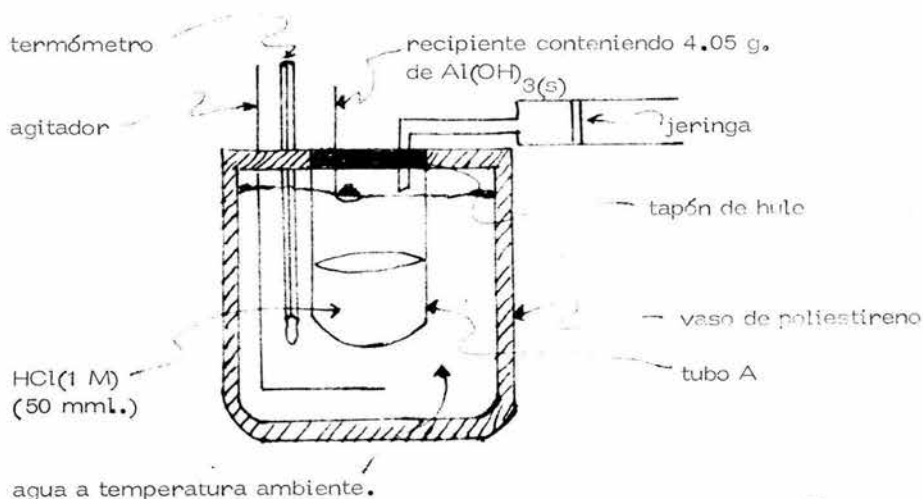


Fig. 1



1.- Llene con agua el recipiente de plástico determinando en gramos la cantidad de agua empleada. Espere que la temperatura se estabilice. Deje caer ahora, el hidróxido de aluminio sobre el ácido contenido en el tubo A. Agite el agua del baño para que la temperatura sea homogénea en todo él.

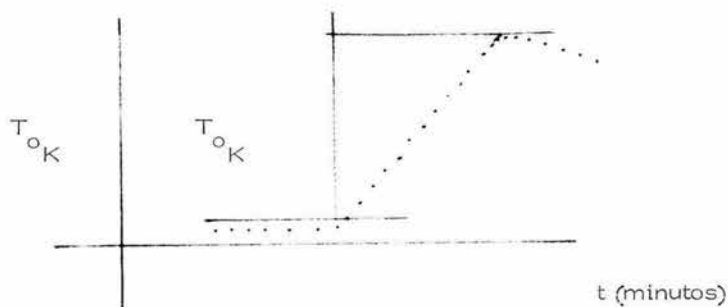
Desde el momento en que agregó el hidróxido, comience a anotar, minuto a minuto, las temperaturas que registre el termómetro, hasta que se vuelva a estabilizar.

Con los datos anotados construya una gráfica de la temperatura - contra el tiempo.

2.- La reacción de neutralización que se ha producido se puede - escribir:



Y libera 14 Kcal/mol de energía térmica. En consecuencia, la temperatura - subirá y registrará un máximo después del cual empezará a bajar como se - ilustra en la gráfica 1. Conociendo las temperaturas ( $t^{\circ}$ ) registradas durante - el proceso, se podrá obtener el incremento de temperatura ( $T_K$ ), del caloríme - tro:



Gráfica 1

a) ¿Qué cantidad de energía térmica libera la reacción cuando sólo se emplean 50 ml. de ácido clorhídrico (1M) y 4.05 g de hidróxido de aluminio?

b) Con la energía térmica,  $Q_{O_K}$ , calculada en el inciso a, determine el calor específico global del calorímetro:

$$Q_K = mC T_K$$

$mC$  = calor específico global del calorímetro;

$$mC = K = \frac{Q_K}{T_K} ;$$

en donde:  $m$  es la masa del sistema y  $K$  es una constancia.

c) En esta expresión,  $K$  es el calor que absorbe el calorímetro por cada grado de aumento en su temperatura.

d) ¿Cómo ocurre la reacción, a volumen o a presión constante? Explíquelo.

### EXPERIMENTO 3. ENTALPIA

#### Objetivo del Experimento :

Determinar el calor de reacción;

- A presión constante
- a volumen constante.

#### Procedimiento:

1.- Calor de reacción a presión constante.

En el caso de la reacción;



Si se emplea una solución 10M de HCl ¿qué cantidad de  $\text{H}_2$  se obtendrá con 0.4 g de Zn? ¿Cuál deberá ser la cantidad de HCl (10M) requerida?.

Pese sobre un trozo de plástico unos 0.4 g de granalla de Zn y colóquelos en el recipiente del calorímetro (ver fig. 1). En el tubo A del calorímetro, coloque la cantidad de ácido clorhídrico necesario para que se lleve a cabo la reacción. Instale el termómetro y conecte el tubo de desprendimiento a la jeringa, coloque una cantidad pesada de agua en el calorímetro, espere a que la columna de mercurio del termómetro se estabilice; agregue entonces el Zn sobre el ácido. Observe el termómetro y la jeringa durante la reacción y agite vigorosamente para igualar la temperatura del agua en todo el recipiente.

- a) ¿Qué desventajas tiene el calorímetro?
- b) Calcule la entalpía molar de la reacción ( $\Delta H$ )
- c) Calcule el trabajo presión-volumen ( $P \Delta V$ )
- d) ¿Cuál es el valor de la energía liberada por el sistema?
- e) Si la reacción se llevara a cabo a volumen constante ¿cuál sería la energía liberada por la reacción?
- f) Compare el valor obtenido de  $\Delta H$  con el anotado en las tablas, calcule su porcentaje de error y comente las razones del mismo.

## 2.- Investigación.

Sugiera otra reacción química y calcule su entalpía.

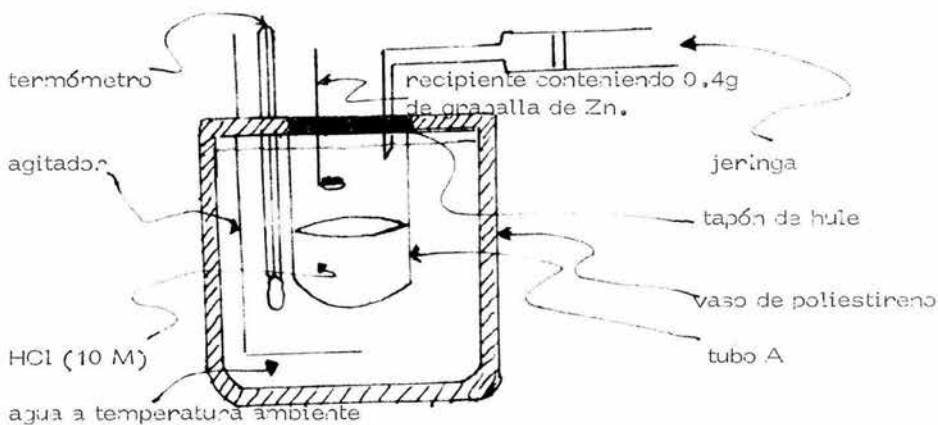


Fig. 1

a) Ahora, desde el punto de vista cuantitativo, ¿se corrobora lo postulado en el inciso 3 del experimento 1?

## EXPERIMENTO 4. CALOR DE COMBUSTION

### Introducción:

Si bien, los experimentos anteriores mostraron la interrelación de la sustancia y la energía, este experimento pretende demostrar que también mediante un estudio cuantitativo es posible corroborar la íntima relación que existe entre la estructura química de las sustancias y la energía que absorbe o emite durante una reacción.

### Objetivo del experimento:

Determinar el calor de combustión de los alcoholes metílico, etílico y butílico así como el del grupo  $-\text{CH}_2-$

### Procedimiento:

1.- Instale un aparato como el de la figura 1. Coloque cierta cantidad pesada de metanol en la lámpara. Prenda la mecha y deje que se efectúe la combustión durante 5 minutos aproximadamente. Vuelva a pesar la lámpara y por diferencia calcule la cantidad de alcohol quemado. Agite cuidadosamente el agua del vaso de aluminio durante el proceso para que la temperatura sea homogénea. Mida la máxima temperatura alcanzada,

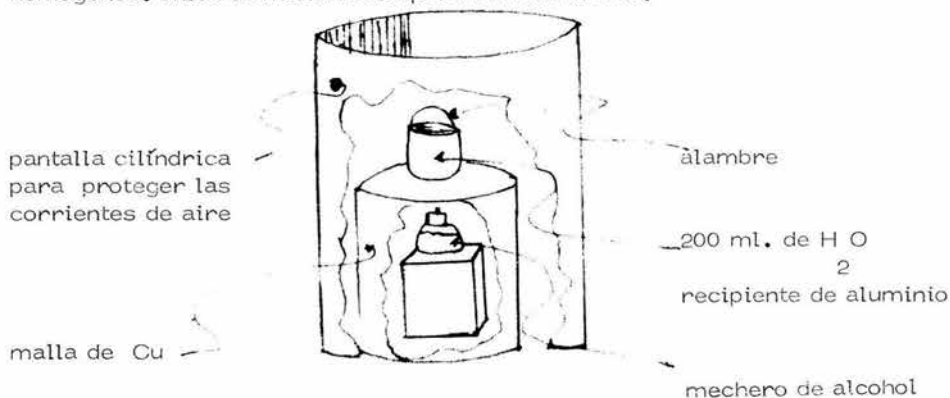


Fig. 1

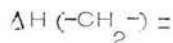
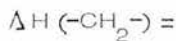
a) ¿Cómo se calcula el calor de combustión molar de cada alcohol?

b) ¿Qué inconvenientes tiene la determinación?

c) Consulte los valores de calor de combustión anotados en las tablas y calcule su porcentaje de error.

d) ¿Qué sugiere para mejorarlos?

e) Con los valores determinados experimentalmente, calcule las siguientes diferencias:



f) ¿Qué conclusiones puede deducir de estos resultados?

## EXPERIMENTO 5. CONSTRUCCION DE UNA PILA VOLTAICA.

### Introducción:

En los experimentos anteriores, se ha visto que las reacciones químicas asocian energía térmica; mientras que en la primera serie de experimentos se evidenció que la energía es susceptible a transformarse. En este experimento se pretende demostrar que la energía asociada a una reacción química puede transformarse en energía eléctrica.

### Objetivo del experimento:

Construir una pila voltaica en la cual se estudiará la energía asociada al proceso.

### Procedimiento:

Instalese el aparato que se muestra en la figura 1:

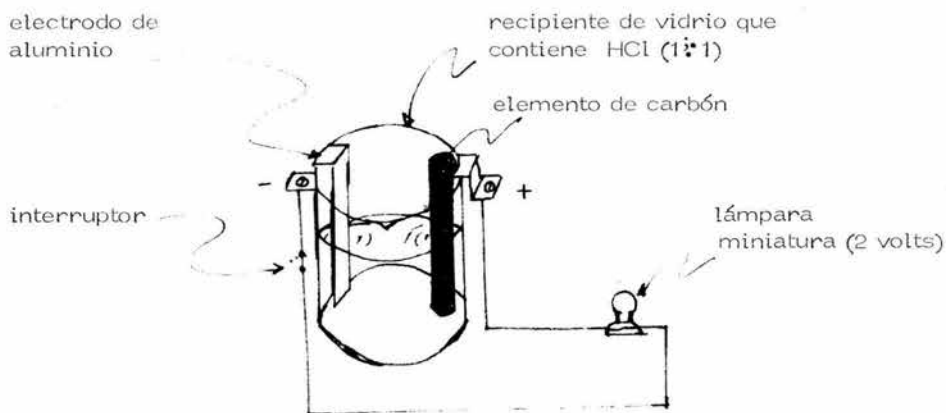


Figura 1.



Encienda el interruptor y observe minuciosamente el sistema;

a) Indique la ecuación de la reacción química que está ocurriendo

b) ¿Se está realizando un trabajo presión-volumen en el sistema?

justifique su respuesta.

c) En cuántas formas se está manifestando la energía asociada a la reacción.

d) Comente en base a la interacción sustancia-energía, sus resultados ampliamente.

## TERCERA SERIE: "LAS MAQUINAS TERMICAS "

### INTRODUCCION:

La aplicación de la interacción sustancia-energía a nivel técnico, se dió mucho antes de que el problema se pudiera plantear en éstos términos; incluso aún antes de que se tuviera un concepto claro de "energía" y de la "ley de conservación de la energía". Así, de una manera breve recordaremos que - hacia 1698 Thomas Savery (1650-1715) obtuvo la patente de la máquina que se - ilustra en la figura 1. Si se observa el cuadro del apéndice, se puede notar que a finales del siglo XVII aún no se tenía una idea clara acerca del "calor"; esto es, no se distinguía si se trataba de una sustancia o de una energía, aunque el pensamiento de la época se inclinaba por pensar que se trataba de una sustan-  
cia; el "calórico". Por otro lado, Descartes, Huygens y Leibniz empiezan a - entrever la posibilidad de establecer un principio de conservación de la ener-  
gía asociada a los cuerpos en movimiento. Así pues, no obstante el desconoci-  
miento total del fenómeno que hemos denominado "interacción sustancia-ener-  
gía", fue posible inventar y construir una máquina que fuera capaz de desolvar  
las minas de carbón en Inglaterra en base a este principio.

La introducción comercializada de esta "máquina de fuego" como la llamó Savery, constituyó el inicio de lo que se ha denominado la época de la "revolución industrial" o, la "era del vapor".

Apenas diez años después del trabajo de Savery, Thomas Newcomen (1663-1729) y su socio J. Calley construyen otro tipo de máquina (mirar figura 2) que desplaza a la de Savery. La gran aportación de Newcomen radica en que además de ser más eficiente, es capaz de producir una fuerza motriz con la cual ya se pueden mover otras máquinas, caso que la primera no podía, ya que fue concebida solamente para desaguar las minas. Esta nueva máquina fue mejorada en algunos aspectos técnicos por J. Smeaton (1724-1792) en 1775: "...Smeaton fue comisionado por Catalina II de Rusia para la construcción de una de sus mayores máquinas para bombear al agua de los diques secos del fuerte de Kronstad. Era una tarea gigantesca, que antes requería un año para ser llevada a cabo mediante molinos de viento de 100 metros de altura. La máquina de Smeaton hizo el trabajo en dos semanas..." \*

Hasta aquí, aunque visto de una manera muy rápida, podemos ver como la técnica -en el caso de la Termodinámica- se adelantó incluso a los conocimientos más fundamentales de esta rama de la ciencia, pues no es hasta primera y segunda década del siglo XIX que se enuncia y acepta el principio de conservación de la energía; y hasta 1850 que Joule estudia claramente la relación entre la energía térmica (calor) y la energía mecánica. Todo esto nos lleva a afirmar que éste es un ejemplo típico de cómo las necesidades sociales impulsan primero al conocimiento empírico de los fenómenos

---

\*J.F. Sandfort; "Máquinas Térmicas", EUDEBA, Buenos Aires, 1965. p. 41

y luego éste mismo avance técnico conlleva a desarrollos científicos que los expliquen y comprendan.

Todavía, años antes de que Rumford publicara sus trabajos acerca de la conversión de la energía mecánica en "calorífica", Watt (ver fig. 3), inventa una máquina de vapor que por primera vez utiliza la fuerza del vapor para generar movimiento\* y concibe la biela que accionada por un pistón produce un movimiento rotativo que sería la clave para la construcción de las máquinas telares, los tornos, etc. de las fábricas, entrándose de lleno en la plena industrialización. Sólomente una modificación importante sería introducida por O. Evans (1755-1819) que consiste en emplear vapor sobrecalentado, lo que haría aún más poderosa a la máquina de vapor de Watt. Aunque, si observamos nuevamente el apéndice, aún no se habían establecido.

La técnica tendría que esperar hasta 1824 en que S. Carnot establezca la teoría que explicó el funcionamiento de la máquina de vapor y con ello, encontrar el segundo principio de la termodinámica.

---

\* Las máquinas anteriores emplearon la presión atmosférica para generar el movimiento o trabajo.

## EXPERIMENTO 1, MÁQUINAS TÉRMICAS

### Objetivo del Experimento:

El objetivo de esta serie de experiencias es conocer el funcionamiento de las máquinas térmicas de Savery, Newcomen y Watt; así como sus características termodinámicas.

### Procedimiento:

Las figuras 1, 2 y 3 representan modelos operables de las máquinas de Savery, etc., para ser manejadas por el alumno.

Al operarlas, el alumno debe resolver algunos problemas técnicos de una manera empírica y se plantea además, sin conocimientos previos de la teoría, el principio de funcionamiento y los diferentes aspectos que intervienen en su marcha. También debe plantearse la posibilidad de mejorar a cada uno.

A continuación se anexa las guías metodológicas para el estudio del funcionamiento de cada máquina:

- 1.- Máquina de Savery para bombear agua:
  - a) ¿Qué cantidad de agua bombea por minuto?
  - b) ¿Cuántos ciclos se realizan por minuto?
  - c) ¿Hasta qué profundidad puede bombear el agua?
  - d) ¿Cuál es la función de los tanques A y B ?
  - e) ¿Cuál es el principio de operación de la máquina?

f) ¿Cómo se podría mejorar la capacidad de bombeo de la máquina?

g) ¿Cómo se podría calcular la eficiencia de la máquina?

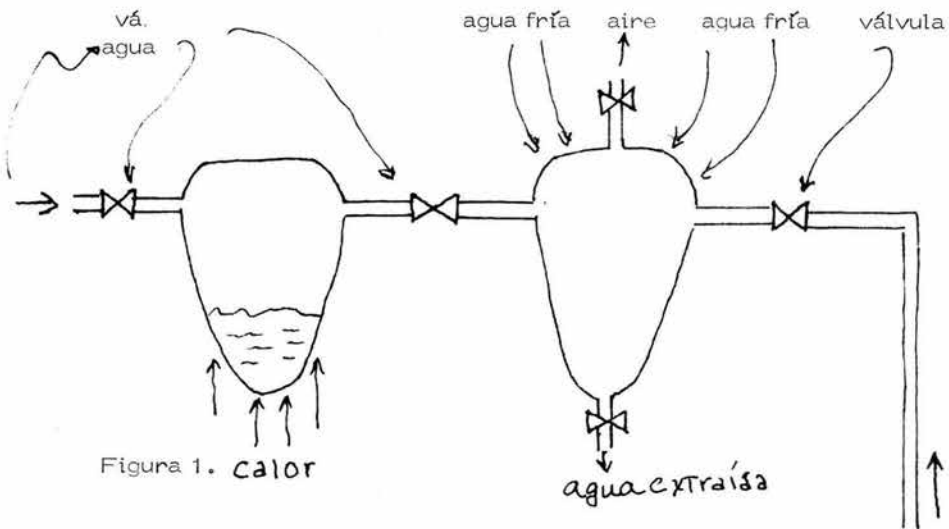


Figura 1. calor

2.- Máquina de Newcomen.

a) ¿Qué cantidad de agua bombea por minuto?

b) ¿Cuántos ciclos se realizan por minuto?

c) ¿Hasta qué profundidad puede bombear el agua?

d) ¿Cómo es que "jala" el agua esta máquina?

e) ¿Cuál es su principio de operación?

f) ¿En qué radican las diferencias con la máquina de Savery?

g) ¿Cómo se podría calcular la eficiencia de la máquina?

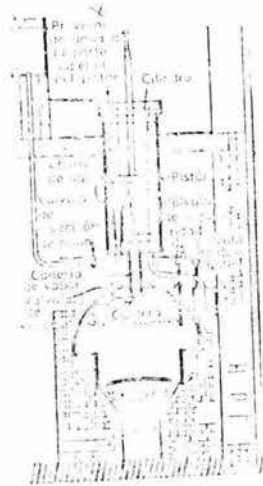


Figura 2. La máquina de Newcomen.

3.- Máquina de Watt.

- a) En la figura (3), ¿quién impulsa al pistón?
- b) ¿Qué función desempeña la válvula de equilibrio?
- c) ¿Cuántos ciclos por minuto realiza?
- d) ¿Cómo determinarfa la eficiencia de la máquina?

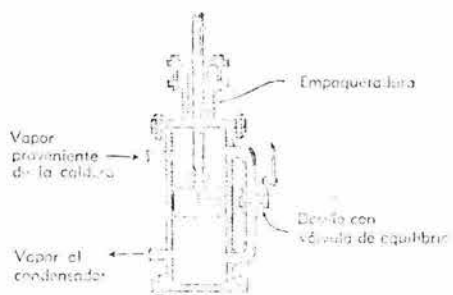


Figura 3



APENDICE.

CALOR

LEY DE CONSERVACION

MAQUINAS DE VAPOR

350 a n E: Aristóteles: aire = humedad más calórico.

1561-1626, Bacon: vibración de las partículas.

1596-1650, Descartes:

agitación de las partículas de los cuerpos.

1700-1770, Nollet: el calor no puede ser movimiento, es "algo sustancial"

1743; 1794, Laplace y Lavoasier: El calórico es material.

1728-1799; J. Black: calor latente, calor de cambio de fase.

1753-1814, Runford: anuncia la conversión del trabajo mecánico y rechaza la teoría del calórico.

1596-1650, Descartes: entrevé la existencia de una magnitud en los fenómenos mecánicos.

1669, Huygens: el análisis del choque de los cuerpos; piensa en la conservación de:  $mv^2$  axiomáticamente.

1646-1716, Leibniz:  $mv$  poseería el privilegio de permanecer constante a través de las transformaciones mecánicas.

1667-1748, J. Bernoulli:  $mv^2$  es constante en todas las transformaciones de la naturaleza.

1824, S. Carnot.

1832, S. Carnot: trabajo (publicado hasta 1878)

1842, Mayer: Ley de la conservación de la energía.

1844, Helmholtz: ley de conservación.

1850, Joule: Equivalente mecánico del calor.

75, Herón: "eopila"

1650-1715, Savery: "Máquina de fuego"

1663-1729, T. Newcomen.

1724-1792, J. Smeaton: mejora la máquina de Newcomen.

1747, primera escuela de Ing. Civil en Francia.

1775, J. Watt, discípulo de Black patenta su máquina.

1786, Evans: vapor a alta presión.

1829, Stephenson: locomotora de vapor.

## BIBLIOGRAFIA:

- Sandfort F. J. , Máquinas Térmicas, EUDEBA, Argentina, 1965.
- Campbell E. , What is science?, Dover Pub. inc. N. York, 1953.
- Nicholson D.E, Science, University Press Ltd., London, 1966.
- Padilla H. , El pensamiento científico, (antología), ANUIES, México, 1974.
- Lefebvre H. , Lógica formal. Lógica dialéctica., 3a. Ed. E. S. XXI, México, 1973
- Korsh K. y Pannekoek A. , Lenin filósofo, Edición y distribución de libros S.A. España, 1972.
- Russell B. , El conocimiento humano, Revista de Occ.
- Abbagnano N. , Diccionario de Filosofía, 2a. Ed. FCE México 1966.
- Cohen y Nagel, Int. a la lógica y al método científico, 3a. ed. Amorrortu ED., B. Aires, 1973.
- Kursánov G. , Materialismo dialéctico, Ed. Estudio, B. Aires, 1973.
- Lenin V.I. , Materialismo y empiriocriticismo, Ed. Política, La Habana, 1963.
- Engels F. , Anti-Dühring, Ed. Cartago, B. Aires, 1973.
- Farrington B. Ciencia y filosofía en la antigüedad, Ed. Ariel, España, 1971.
- Bunge M. , Ética y Ciencia, 2a. ed., Ed. S. XX, B. Aires, 1972.
- Bunge M. , La Ciencia, su método y su filosofía, ED. S. XX, B. Aires, 1973.
- Bernal et al, Ciencia y previsión científica, Ed. Roca S.A?, México 1973.
- Wartofsky M. , Introducción a la Filosofía de la Ciencia, Alianza Editorial, España, 1973.
- Walker M. , El pensamiento científico, Ed. Grijalbo, México, 1968.

- Nash L.K., Elements of chemical thermodynamics, 2a. ed. Addison Wesley, E.U., 1970.
- Maron y Prutton, Fundamentos de fisicoquímica, Ed. Limusa, México, 1973.
- Thompson J.J., An introduction to chemical energetics, Ed. Longmans, London, 1967.
- PSSC, Física, Ed. Reverté, España, 1962.
- CEF, Física 1. Cinemática y dinámica, Ed. Norma, Bogotá, 1970.
- López O. y Ahr A., Introducción a la electricidad y electrónica, Ed. Diana, México, 1972.