

EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA. LA APORTACIÓN DE LA FÍSICA

Autor: FERNANDO ALBA ANDRADE

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [PREFACIO](#)
- [I. EL TIEMPO, EL ESPACIO Y LA INSTRUMENTACIÓN](#)
- [II. LA MECÁNICA](#)



© Fondo de Cultura Económica
Primera edición, 1987
Segunda reimpresión, 1993
ISBN 968-16-2538-2
Impreso en México

- [III. LA ÓPTICA, LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO](#)
- [IV. NUEVOS MATERIALES, LA ELECTRÓNICA Y LAS COMPUTADORAS](#)
- [V. LA ENERGÉTICA](#)
- [BIBLIOGRAFÍA](#)
- [COLOFÓN](#)
- [CONTRAPORTADA](#)





COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García-Colín

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Guillermo Haro †

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Emilio Rosenblueth

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías

[Índice](#) [Previo](#)



Not Found

The requested URL /biblioteca/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/23/htm/SEC_2.HTM was not found on this server.

Apache/1.3.20 Server at omega.ilce.edu.mx Port 3000

la

ciencia/23

desde méxico

Primera edición, 1987

Segunda reimpresión, 1993

Los dibujos de este libro son obra de Femando Alba Andrade y Rodrigo Mora.

La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1987, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-253-2

Impreso en México

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



PREFACIO

Desde un punto de vista muy interesante, el maestro Fernando Alba Andrade nos presenta en este libro una breve historia de algunos de los campos de la física que han sido fundamentales para el desarrollo de la instrumentación y la tecnología. Con un lenguaje claro, ameno y preciso, en el que abundan las anécdotas y las notas biográficas, nos lleva al concepto de hombre como ser instrumentista por excelencia que quiere sobrevivir y dominar el mundo que le rodea. Los primeros instrumentos de la humanidad tenían como finalidad la subsistencia y la defensa. Cuando estos aspectos quedaron cubiertos aparecen las manifestaciones artísticas y culturales.

El conocimiento ha pasado por etapas muy difíciles en las que ha sido privilegio de unos cuantos que lo han rodeado de misterio, encerrándolo dentro de los conceptos filosóficos y religiosos de los pueblos. Egipto nos hereda los primeros conocimientos, las primeras herramientas y los inicios de la metalurgia a través de los griegos, quienes no sólo los difunden sino que aportan nuevas ideas para sentar las bases del conocimiento y la cultura de que hoy disfrutamos. El pueblo romano aprovecha y repite las experiencias griegas y logra realizar maravillosas obras de ingeniería, de las cuales todavía podemos admirar algunas; sin embargo, el último vestigio de la civilización helénica se concentró en el célebre Museo de Alejandría, al que puede considerarse como la cuna del método experimental y el sistematizador del pensamiento científico. La humanidad hubo de esperar algunos siglos entre esta etapa y aquella en que los árabes lograron recopilar todos los conocimientos disponibles y difundirlos entre su pueblo. Este hecho permitió las traducciones que se hicieron al latín durante el siglo XII para que en el ocaso de la civilización árabe despertara a Europa en el llamado Renacimiento italiano, con sus consecuencias inmediatas en Francia e Inglaterra, posteriormente Alemania y que finalmente se difundiera por el mundo entero.

Durante el Renacimiento, todas las manifestaciones artísticas y culturales del hombre florecen vigorosamente y, si bien es cierto que la ciencia sufre algunos reveses por sus aventuradas concepciones frente a los tradicionales conceptos filosófico-religiosos, es cuando se desarrollan las ciencias como tales. A fines del siglo XVI la mecánica adquiere el carácter de ciencia formal. En el siglo XVII aparecen la óptica, la hidráulica, el cálculo de probabilidades, la gravitación y se inician los primeros experimentos de vacío, aspecto que ha sido fundamental en el desarrollo experimental de la física de nuestro siglo. Época también en la que aparecen las grandes y famosas academias científicas en donde se pueden exponer las ideas y comentar las experiencias, para iniciar así la gran difusión del conocimiento científico. En el siglo XVIII es notable el desarrollo de la óptica y la electricidad. Lo fructífero del siglo XVIII se manifiesta claramente durante el XIX, en que con los estudios del vapor y la electricidad se abren nuevos capítulos de la física, como el electromagnetismo y la óptica moderna, conocimientos fundamentales en la industria y la tecnología que hoy tenemos. Para el siglo XX, los sentidos dejan de ser la principal fuente de información y se entra de lleno en los mundos de lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande. En el microcosmos se logran grandes adelantos, como la electrónica, cuyo rápido avance y desarrollo posterior nos lleva al mundo de las computadoras, que en unos cuantos años ha producido varias generaciones de ellas y con las cuales la ciencia logra avances sin precedentes. Es en este mundo de lo infinitamente pequeño, en donde se descubren las partículas fundamentales que constituyen la materia y con las cuales se han podido explicar algunos de los misterios del universo y pensar en futuras formas de energía como una alternativa para la humanidad.

Lo anterior es, a grandes rasgos, lo que nos presenta el doctor Fernando Alba Andrade en su libro y, antes de finalizar estas palabras, me gustaría decir algo sobre él y su obra. La tarea no es fácil por la diversidad de su trabajo como maestro e investigador de la Universidad Nacional Autónoma de México con la que siempre ha estado ligado y en donde realizó sus estudios y por su labor pionera al frente de muchas instituciones en las cuales ha dejado profunda huella. El maestro Alba es un físico experimental que con agudeza, inquietud y entusiasmo ha recorrido diversos campos de la física, como los que nos presenta en su obra, para aplicar su caudal de conocimientos a la investigación básica y con creatividad y originalidad al diseño y construcción de equipo sin el cual no se podrían realizar esas investigaciones, lo que le ha

valido el reconocimiento nacional e internacional. Sus conocimientos los ha transmitido de manera ejemplar a un gran número de generaciones en las que ha sembrado sus mismas inquietudes, su creatividad y el deseo de trabajar productivamente en la investigación.

ÁNGEL DACAL ALONSO

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



I. EL TIEMPO, EL ESPACIO Y LA INSTRUMENTACIÓN

EL HOMBRE COMO ANIMAL INSTRUMENTISTA

DESDE antes de que el hombre existiera, había en la Tierra animales que desarrollaron un sentido del tiempo y del espacio. Se conocen numerosas especies de aves, mamíferos, insectos, animales marinos, etcétera, que saben en qué época del año deben emigrar y hacia dónde deben ir. Ciertos animales también desarrollaron la capacidad de construir instrumentos que les dieran mayor protección, como las presas que fabrican las nutrias o los diversos nidos de las aves. Otros desarrollaron la capacidad de construir instrumentos que les permitieran capturar otros animales, como las varitas que usan los chimpancés para extraer insectos de las ranuras de los árboles o las telarañas de los arácnidos.

En muchas especies de animales los padres no conocen a sus descendientes y en ellos gran parte de los conocimientos de la especie los tiene programados el cerebro del recién nacido. Experimentos con aves que no conocieron a sus padres demuestran que saben hacer sus nidos y cuándo y hacia dónde emigrar. Otras especies, que viven en comunidad, aprenden de sus mayores cómo alimentarse, cazar y protegerse.

El hombre moderno y los hombres que lo precedieron desarrollaron ciertas cualidades físicas y biológicas como la visión frontal, que le permite ver en tercera dimensión, moverse en dos pies, lo que permitió a sus brazos dedicarse a otras tareas, que sus manos pudieran enfrentar el dedo pulgar a los otros dedos, aumentar la capacidad de su cerebro y el habla. Todo esto le permitió transformarse en un animal que diseña, construye y usa instrumentos que le permiten dominar el medio en que vive: el hombre instrumentista.

Hace algunos millones de años los antepasados del hombre comenzaron a golpear unas piedras contra otras para sacarles filo, transformándolas en objetos punzantes y cortantes de gran utilidad para defenderse o conseguir alimento.

Este instrumento, llamado hacha de mano, tuvo tanto éxito que fue usado durante millones de años. El material usado fue frecuentemente vidrio volcánico y con el tiempo se dieron cuenta que con los pedazos arrancados a las rocas con forma de hojuelas se podían hacer navajas y numerosos instrumentos para tallar madera y hueso, así como instrumentos de caza.

Otro gran descubrimiento del hombre primitivo fue la producción y el mantenimiento del fuego. Estudios realizados asignan a este descubrimiento una edad de alrededor de un millón de años. Lo que sí se sabe con certeza es que el hombre de Neanderthal, que dominó la Tierra desde hace unos 150 000 hasta hace unos 30 000 años usaba el fuego y disponía de la tecnología necesaria para cazar grandes animales como el mamut, el rinoceronte lanudo y el oso de las cavernas.

El hombre de Cromagnón, que es nuestro inmediato antepasado, vivía en cavernas como el hombre de Neanderthal y desarrolló numerosos instrumentos de hueso. En cavernas de Francia y España se ha encontrado objetos de hueso y pinturas realizadas hace más de 15 000 años. Entre los objetos encontrados hay diversos pigmentos minerales, cavidades en pequeñas rocas empleados como linternas, objetos de hueso como arpones, puntas de lanza y agujas para coser.

El último periodo glacial alcanzó su máximo hace 25 000 años. En Europa los hielos permanentes avanzaron hasta parte de Francia y se han encontrado restos de mamut cerca de Roma. El hombre de esos tiempos, que era un gran cazador, vivía en pequeñas comunidades y en cuevas para protegerse del frío y de las fieras. Esta vida social le permitió aumentar su capacidad de inventar nuevos instrumentos como el arco y la flecha y asociarse con otros animales, como el perro, para cazar. Antes de que terminara la última glaciación el hombre, como gran cazador y pescador, ocupó todos los continentes incluyendo América.

Se puede medir la edad de los restos de plantas, madera, semillas, o seres vivos que contengan carbono, con bastante precisión —si es menor de 35 000 años— por el estudio de su contenido de carbono 14 que, por ser radiactivo, va desapareciendo con el transcurso del tiempo a partir de que la madera fue cortada o el fruto cosechado.

Los neutrones de la radiación cósmica (radiación que nos llega del espacio exterior y que siempre ha existido) al chocar contra la atmósfera transforman o transmutan una pequeña parte del nitrógeno del aire, en carbono 14, que es radiactivo, y que pasa a formar parte del bióxido de carbono de la atmósfera. La luz solar, por medio de la clorofila de las plantas, hace que el carbono 14 pase a formar parte de los vegetales y por medio de ellas a los animales, en la misma proporción respecto al carbono no radiactivo que hay en la atmósfera.

Al morir las plantas dejan de absorber carbono 14 y el que tienen, por ser radiactivo irá disminuyendo, reduciéndose a la mitad en 5 800 años, a la cuarta parte (la mitad de la mitad), en otros 5 800 años (11 600 en total), a la octava parte (mitad de la cuarta parte) en otros 5 800 años (total, 17 400), etcétera.

Estas pequeñas cantidades de radiación pueden detectarse y medirse con aparatos especiales y de ahí determinar la edad del objeto que contenga carbono vegetal.

Las pruebas nucleares han inyectado muchos neutrones en la atmósfera, por lo que el carbono 14 ha aumentado notablemente y el método ha perdido algo de su precisión original. El método fue ideado por el norteamericano Libby.

EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA

En la región que comprende Irán, Irak, Egipto y las zonas intermedias, la última glaciación produjo una zona fértil con grandes ríos y libre de prolongados inviernos. En un periodo que va desde hace 8 000 años hasta hace 4 000 años, los pueblos que la habitaban desarrollaron una gran civilización.

En la región comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, en la Mesopotamia, hubo agricultura hace más de 7 000 años —existen granos de esa época cuya edad ha sido medida por el método del carbono 14—. Se usaba el azadón de madera para cultivar la tierra y se había domesticado al borrego, al puerco, a la vaca y a la cabra. El surgimiento de la agricultura influyó notablemente en el desarrollo de la vivienda y de los pueblos y ciudades. Las piedras talladas y los tabiques de barro secados al Sol se encuentran en los restos de las construcciones de esa época. La confección de recipientes para guardar líquidos, granos y cocinar los alimentos, condujo a hornear los objetos hechos de barro, o de una mezcla de barro y arena, para hacerlos más durables que los de barro secados al Sol. En Egipto se han encontrado diversos objetos de barro cocido pertenecientes a esa época.

A lo largo de los grandes ríos de la India y China, también nacieron civilizaciones similares a las del Oriente Medio.

Los pueblos que por esa época ocuparon numerosas islas del Pacífico, los esquimales que se diseminaron desde Asia hasta América y Groenlandia y los pueblos que habitaron las islas del Caribe, tuvieron que dar origen a la transportación marina.

Los egipcios crearon hace 5 000 años una gran tecnología pictórica y en sus tumbas representaban las actividades de la sociedad de esa época, lo que dio origen a la escritura jeroglífica que cambió nuestro mundo al poder transmitir información a otras personas en el tiempo y en el espacio. Se han encontrado en la Mesopotamia tabletas de arcilla con escritura cuneiforme, que son de la misma época.

Las pinturas y los bajorrelieves egipcios nos muestran los grandes avances tecnológicos de la época. Empleaban el torno mecánico para trabajar madera; un operario lo hacía girar y otro realizaba el trabajo (Figura 1). Usaban el torno de cerámica en el que el operario lo hacía girar con el pie. Tenían hornos de cerámica (Figura 2), y desarrollaron una tecnología que revolucionaría al mundo: la metalurgia. En la

figura 3 puede verse operarios que atizan el fuego con ayuda de dos fuelles colocados en sus pies y cómo, con ayuda de dos varas, remueven del fuego el crisol con el metal fundido.

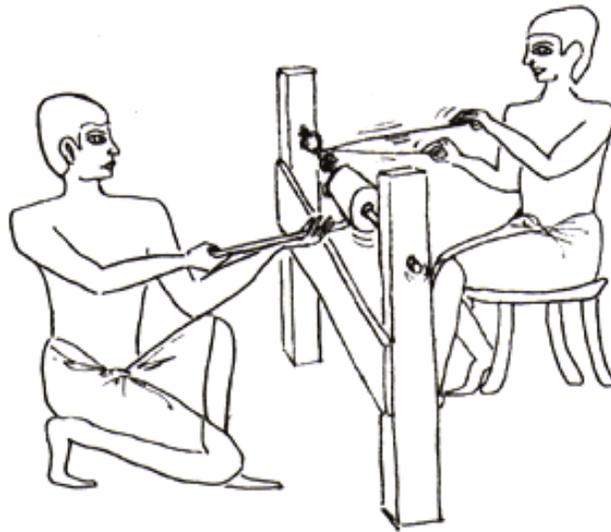


Figura 1. Esquema de un torno mecánico para trabajar madera, tomado de un bajorrelieve egipcio



Figura 2. Esquema de un horno egipcio para cerámica

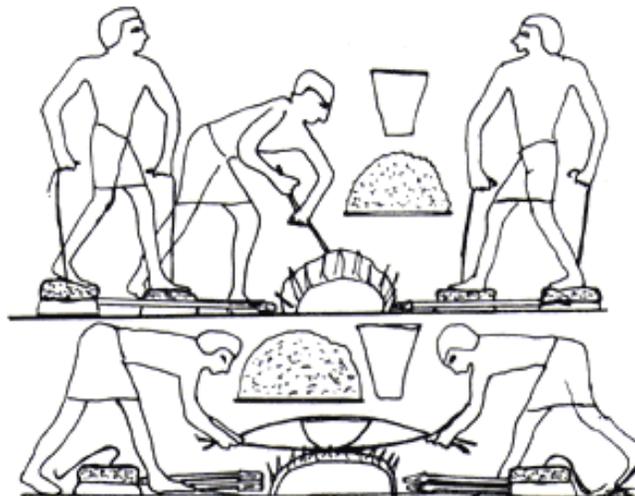


Figura 3. Desarrollo de la metalurgia. Tomado de una pintura egipcia.

En las pinturas egipcias puede observarse también el uso de la rueda, el taladro de arco, la balanza para pesar, el arado tirado por bueyes, los barcos de vela, el plano inclinado, etcétera.

LA EDAD DE BRONCE

El cobre, el oro, y plata aleada con oro, pueden encontrarse en forma metálica, por lo que no es de extrañar que estos metales fueran los primeros que usó el hombre, dándoles formas diversas con cinceles y martillos de piedra; también aprendió que, al martillarlos, se endurecen, pudiendo usarse como navajas o puntas de lanza, y que para que pierdan su dureza basta calentarlos al fuego y enfriarlos bruscamente y así poder continuar cambiándoles su forma.

El uso del fuego en los hornos de cerámica condujo al descubrimiento de que, al calentar ciertos minerales, se producía un líquido que escurría a la base del horno y que al enfriarse se transformaba en cobre metálico y que si estos minerales contenían algo de estaño lo que escurría era una aleación de cobre mucho más resistente: el posteriormente llamado bronce.

En la construcción de sus grandes monumentos, los egipcios tuvieron que transportar grandes bloques de piedra a grandes distancias, empleando barcos, el plano inclinado, la palanca y colocando troncos de árbol bajo los bloques, como rodamientos. Tuvieron así que desarrollar un sistema métrico que se basó en el codo, que era la distancia del codo al dedo central de la mano y que se dividía en siete palmas de la mano y ésta en cuatro dedos a lo ancho. En una pintura egipcia, se observan agrimensores portando una cuerda con nudos cada tres codos, y en otra una balanza con pesas de diversos tamaños (Figura 4).

El tiempo se media con relojes de Sol. La variación diurna de la sombra de los gigantescos obeliscos de Karnak, Egipto, nos indica tanto la hora del día como las variaciones anuales: entrada de las estaciones y duración del año.

En la Mesopotamia, el codo se dividía en dos pies, cada pie en tres palmas y cada palma en cuatro dedos.

Entre los grandes descubrimientos de esa época podemos mencionar los carros de transporte, con pesadas ruedas de madera construidas de tres piezas, los carros militares de dos ruedas con cuatro y seis rayos, el vidrio, los telares, y los instrumentos para trabajar la madera, la piedra y la cerámica, como el serrote, el martillo, el cincel, el taladro, el torno de cerámica, el torno mecánico en el que un hombre giraba el eje y otro hacía el trabajo y la sierra circular, adaptada al eje del torno.

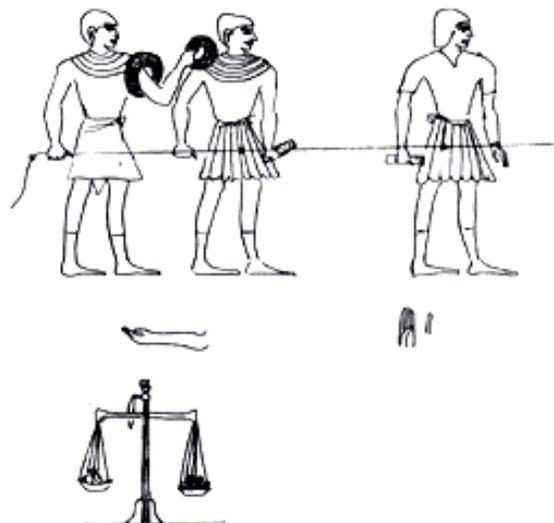


Figura 4. El sistema de medidas egipcio empleaba cuerdas divididas en nudos separados por una distancia de tres codos; el codo que se dividía en siete palmas y la palma en cuatro dedos. Usaba también balanzas con pesas de diversos tamaños. Tomado de pinturas egipcias.

En la agricultura empleaban el *shaduf* que consistía en una especie de balanza que tenía en un extremo un recipiente para agua y en el otro un contrapeso, en esa forma se podía elevar agua con menos esfuerzo.

Fabricaban cerveza y vinos de uva y de dátiles y desarrollaron prensas para extraer su jugo, empleando la palanca para aumentar la fuerza aplicada.

LA EDAD DE HIERRO

El hierro existe en la superficie terrestre en forma de compuestos: el óxido de hierro (que es un polvo rojo) se empleó desde hace mucho tiempo como pigmento, así como el sulfuro de hierro o pirita. En forma metálica existe en meteoritos, pero éstos son muy escasos. El desarrollo de la metalurgia del hierro no es del todo clara; se conocen algunos artículos de hierro fabricados hace unos 4 000 años, probablemente forjados a partir de meteoritos. El forjado del hierro debe hacerse en caliente, y se requiere emplear un pesado martillo con un largo mango, mientras que el forjado del oro, cobre y bronce puede hacerse en frío.

Los hititas, que hace 3 700 años ocupaban lo que actualmente es el este de Turquía, fabricaron armas de hierro y tuvieron el monopolio de ellas durante muchos siglos. Con la desaparición del poder hitita, hace 3 200 años, el uso del hierro se extendió a la región del Oriente Medio y Egipto.

A partir del momento en que el hombre produjo el bronce, tuvieron que pasar unos mil quinientos años para que descubriera que de ciertos minerales se podía extraer hierro. La metalurgia del hierro requiere una temperatura mucho mayor y esto sólo se logra soplando o inyectando aire continuamente en el horno.

En China, donde los hornos de cerámica se habían desarrollado notablemente, se diseñaron fuelles y pistones en los que el aire se comprimía al moverse el pistón de ida y vuelta, empleando un sistema novedoso de válvulas de paso, y así pudieron producir no sólo el hierro, sino fundiciones de hierro antes que en otros lugares en donde el hierro que fluía al fondo del horno tenía que trabajarse forjándolo con fuego y martillo.

Hace 2 500 años los griegos habían asimilado de los egipcios y de los pueblos del Oriente Medio gran parte de sus desarrollos tecnológicos y a su vez los mejoraron.

Para aumentar la fuerza aplicada en las prensas de aceitunas emplearon poleas e idearon el uso del tornillo y del engrane. La alfarería griega llegó a niveles sólo superados, tecnológicamente hablando, por la de China. Los barcos griegos eran superiores a los egipcios y asirios, y con su uso aumentó notablemente el comercio marítimo.

La escultura griega llegó a niveles que no han sido superados hasta la fecha. Produjeron objetos fundidos en bronce de gran belleza, como los caballos que se encuentran en Venecia.

Después que el rey Filipo de Macedonia conquistó Grecia, conducidos por Alejandro, hijo de Filipo, los griegos se lanzaron a conquistar Egipto y Asia. A la muerte de Alejandro, en 323 a.C., uno de sus generales, Ptolomeo, se proclamó rey de Egipto y fundó el Museo de Alejandría, que en realidad era un instituto de investigación y cuya biblioteca llegaría a ser la más famosa del mundo.

LOS GRANDES MEDIDORES DEL TIEMPO Y DEL ESPACIO

El Museo de Alejandría se transformó en el centro cultural del mundo antiguo y a él asistieron grandes científicos a enseñar y aprender.

Uno de los más notables fue Herón (aparentemente hubo en Alejandría dos científicos llamados así, uno vivió poco después de la fundación del Museo y otro 300 años después) quien o quienes construyeron relojes mecánicos movidos por agua. Uno de los grandes descubrimientos de Herón fue la primera máquina de vapor construida por el hombre. El vapor se produce al calentar una caldera con agua y de ahí pasa, por medio de un tubo, a una esfera metálica que puede girar y que contiene dos chiflones por los que sale el vapor como se muestra en la figura 5. La esfera gira por el mismo principio por el que se mueven los cohetes o un globo al que se le escapa el aire, la ley de la acción y la reacción.

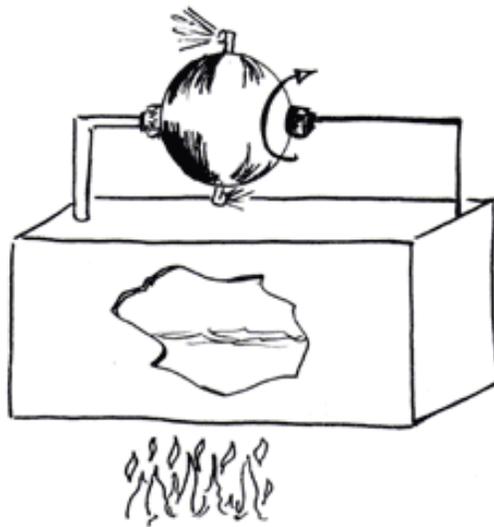


Figura 5. Máquina de vapor ideada por Herón de Alejandría.

Herón construyó un mecanismo que abría las puertas de un templo al prender una hoguera, empleando el principio, por él descubierto, de que el aire al calentarse aumenta de volumen (Figura 6). Al prender un fuego sobre el recipiente superior que contiene aire, éste se expande y pasa al recipiente inferior que contiene agua, a la que obliga a pasar, por medio de un sifón, a otro recipiente que por su aumento de peso, abre las puertas. Al apagarse el fuego, el aire se enfría y se contrae, el líquido regresa a su recipiente original y el peso de la derecha cierra nuevamente las puertas. En sus libros describe una máquina que se empleaba para fabricar tornillos.

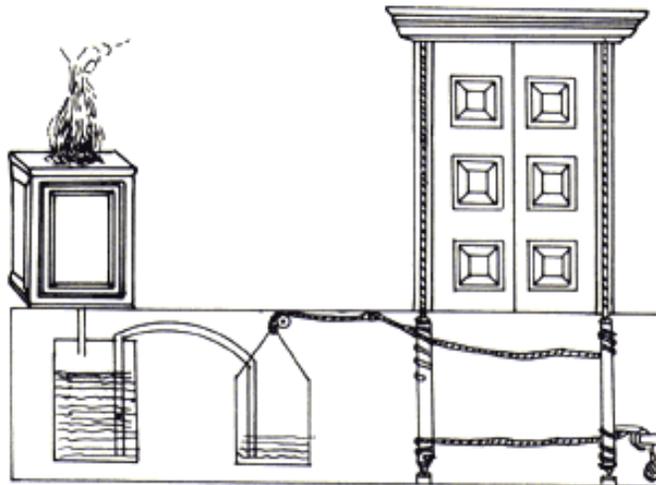


Figura 6. Mecanismo de Herón de Alejandría para abrir y cerrar las puertas de un templo por medio del fuego, empleando el principio descubierto por él, de que el aire, al calentarse, aumenta de volumen.

Otro gran científico fue Ctesibus, quien diseñó un órgano que trabajaba comprimiendo el aire de un tanque, inyectándolo en el agua por medio de un émbolo; una máquina que producía agua a presión y que se empleaba para apagar incendios, y un cañón que empleaba aire comprimido. También perfeccionó la clepsidra egipcia, o sea el reloj de agua (Figura 7), que consistía en un tanque alimentado por un flujo constante de agua en el que flotaba un cuerpo con un indicador que marcaba en un cilindro graduado la hora del día o de la noche; cada uno de ellos se dividía en 12 horas. El cilindro se podía ajustar para el verano, haciendo más grandes las horas del día y más pequeñas las de la noche y lo contrario en el invierno. Tuvieron que pasar casi dos mil años para que se hicieran relojes más precisos al descubrir Galileo las leyes del péndulo y que Huygens las aplicara para construir relojes.

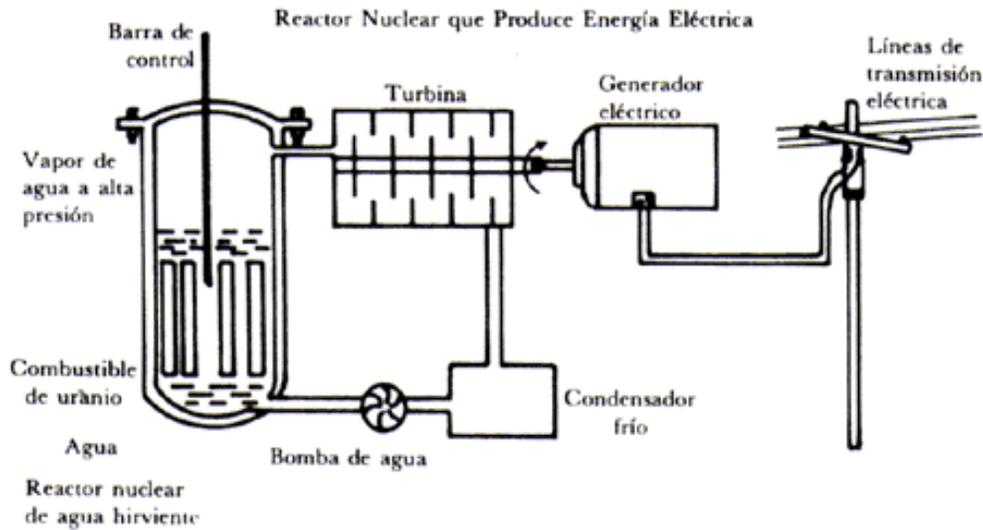


Figura 7. Clepsidra egipcia o reloj de agua de Ctesibus.

Grandes sabios que trabajaron en el Museo fueron los geómetras Euclides, Apolonio y Arquímedes, este último fue además un físico e ingeniero notable que estudió en el Museo y regresó a su ciudad natal Siracusa. Descubrió el llamado principio de Arquímedes, que nos dice que todo cuerpo sumergido en un líquido pierde tanto peso como el peso de líquido desalojado. Empleando este principio y una balanza pudo encontrar las cantidades de oro y plata que contenía la corona del rey Hierón de Siracusa. Diseñó el llamado tornillo de Arquímedes que permite subir agua al girar un tornillo colocado dentro de un tubo (Figura 8). Desarrolló las leyes de la flotación de los cuerpos y determinó con precisión la relación del perímetro de un círculo a su diámetro o sea el número pi (π). Para calcular las áreas y volúmenes de diversos cuerpos geométricos desarrolló el concepto de límite, que 2,000 años después fuera empleado por Newton y Leibniz en el cálculo diferencial e integral.

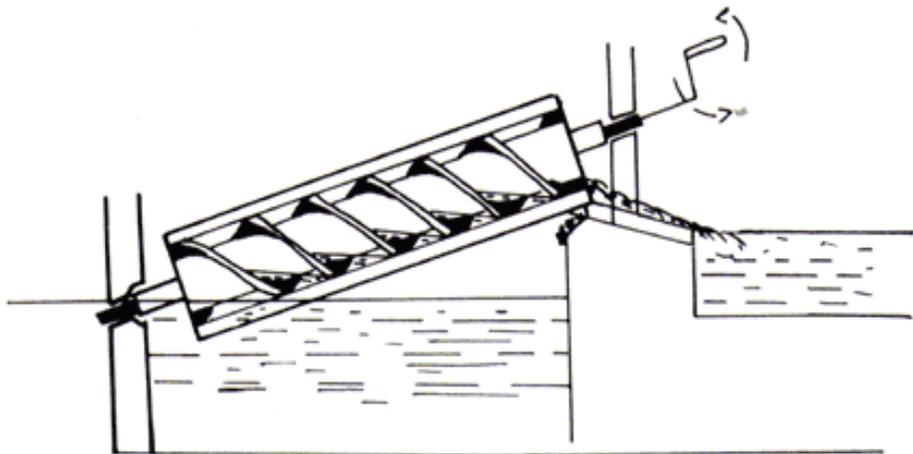


Figura 8. Tornillo de Arquímedes de Siracusa. Se empleaba para subir el agua.

El astrónomo más notable de la Antigüedad fue Aristarco, quien nació en la isla de Samos y fue a Alejandría a estudiar y trabajar. Consideraba que los planetas y la Tierra giraban alrededor del Sol. Observando los eclipses de Luna, en los que la Tierra proyecta su sombra en la Luna y midiendo el radio de esta sombra en relación al radio de la Luna, encontró que la Tierra era tres veces mayor que la Luna (en realidad, el diámetro de la Tierra es 3.7 veces mayor). También ideó un método para encontrar cuántas veces es mayor la distancia Luna-Sol que la distancia Tierra-Luna, aunque por no contar con instrumentos precisos para medir ángulos, su resultado no fue muy bueno, en todo caso encontró que el Sol está mucho más lejos de nosotros que la Luna (20 veces en vez de 389 que es el valor correcto). El método consistió en observar el ángulo que forma desde la Tierra, una visual al Sol con una visual a la Luna cuando la luz

del Sol ilumina exactamente la mitad observable de ésta. En esta condición se forma un triángulo rectángulo, con vértice de 90 grados en la Luna. Como el Sol está mucho más lejos que la Luna, el ángulo a medir es cercano a los 90 grados y se necesitaría un anteojo que pudiera medir minutos de ángulo. De todos modos, el método es correcto y Aristarco encontró que el Sol está mucho más lejos de nosotros que la Luna.

Otro gran astrónomo del Museo de Alejandría fue Eratóstenes, quien tuvo a su cargo la famosa Biblioteca. Hizo un mapa del mundo conocido, desde las Islas Británicas a Ceilán y del Mar Caspio a Etiopía. En astronomía fue el primer hombre que midió el perímetro de la Tierra, calculándole 250 000 estadios (Figura 9). No se conoce con precisión el equivalente de un estadio, pero es de 160 metros aproximadamente, de ahí se obtiene un perímetro de la Tierra cercano a los 40 000 kilómetros. Siena (hoy Asuán) se encuentra prácticamente sobre la línea del Trópico de Cáncer y por lo tanto, hay un día al año en que, al medio día, una varilla vertical no proyecta sombra, ese mismo día, a la misma hora, una varilla en Alejandría, que se encuentra 770 kilómetros al norte, proyectaba una sombra de manera que la línea que iba del extremo de la varilla al extremo de la sombra, formaba un ángulo de 7 grados, con la varilla: a cada grado corresponden 770 entre 7 igual a 110 kilómetros; a la circunferencia de la Tierra (360 grados) corresponderán: 360 grados por 110 kilómetros igual a 40 000 kilómetros.

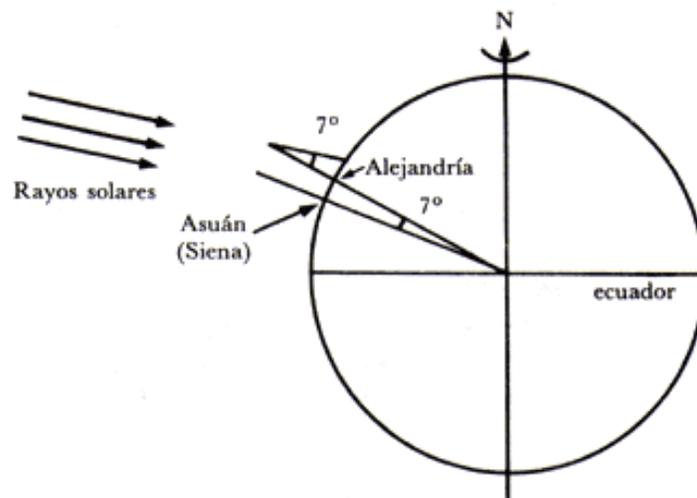


Figura 9. Método de Eratóstenes de Alejandría para determinar las dimensiones de la Tierra, observando la sombra de una varilla en Siena (hoy Asuán) y en Alejandría.

Conocido el tamaño de la Tierra, por el método de Aristarco se calculó el de la Luna y sabiendo que su diámetro equivale a medio grado de ángulo, se puede determinar fácilmente su distancia a la Tierra.

Poco tiempo después, Roma conquistó los países del Mediterráneo, asimiló sus descubrimientos y su tecnología y los usó ampliamente, pero en los siglos que duró el Imperio romano su contribución al desarrollo de la ciencia y la tecnología fue casi nulo y siguió la política de que si quería producir mayor cantidad de un artículo, bastaba con usar más esclavos. Por otro lado, los países sojuzgados perdieron su capacidad de inventiva, lo que produjo que durante más de mil años no se desarrollaran en Europa nuevos materiales ni se hicieran descubrimientos importantes.

Los romanos fueron grandes ingenieros. Empleando la tecnología que adquirieron de otros pueblos construyeron imponentes acueductos, caminos, barcos, edificios, monumentos, teatros, estadios, circos y puentes. Muchas de estas construcciones pueden aún admirarse.

De los griegos copiaron, para usos militares, sus barcos, la catapulta y la ballesta. Para la agricultura emplearon el tornillo de Arquímedes y la rueda de agua. En escritos de esa época, se habla de un barco movido por animales, pero que probablemente nunca se construyó (Figura 10). También emplearon la

rueda o turbina movida por una corriente de agua.

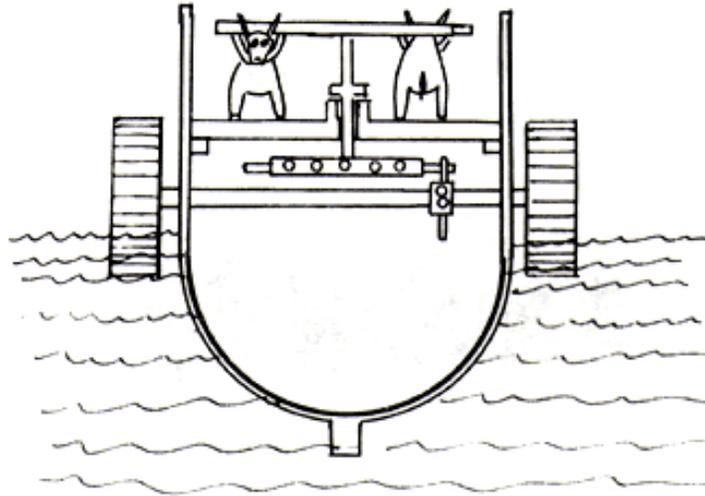


Figura 10. Esquema de un barco movido por animales, citado en escritos de época.

En la construcción de sus edificios, los romanos empleaban la grúa mecánica. De una escultura de piedra se hizo el esquema que se muestra en la figura 11.

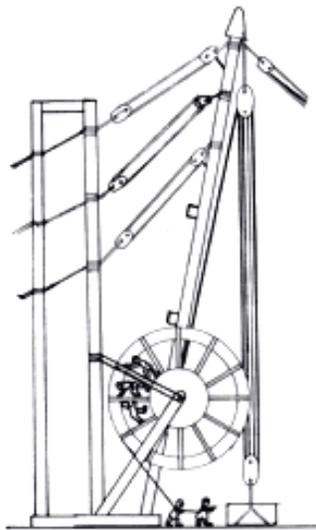


Figura 11. Esquema de una grúa romana, tomado de una escultura en piedra.

DESARROLLOS TECNOLÓGICOS EN OTRAS CIVILIZACIONES

Europa. Julio César reconoció que los barcos de los galos eran superiores a los romanos para navegar en el Atlántico.

En un bajorrelieve belga puede verse una cosechadora de trigo movida por un caballo, pero su uso no se generalizó a otras partes del Imperio romano.

En Dinamarca se han encontrado restos de una carreta de hace 2 100 años que usaba baleros o rodamientos hechos de madera y bronce. En nuestro mundo moderno los baleros son una componente indispensable para reducir la fricción y se usan en casi todas las máquinas que empleamos. Es notable el hecho de que a un carpintero danés se le ocurriera usarlo con el mismo objeto, hace tanto tiempo. (Figura 12.)

India. Paralelamente al desarrollo de las civilizaciones de Mesopotamia y Egipto, existieron otras a lo largo del río Indus y de los grandes ríos de China.

Hace 5 000 años en la India fundían el cobre y el bronce y empleaban como medidas de longitud el codo y el pie, como en Mesopotamia. Cultivaban algodón, desarrollaron una escritura totalmente diferente a la de Mesopotamia o Egipto y habían domesticado al búfalo de agua y al elefante.

Es posible que existiera alguna comunicación entre la India y las otras civilizaciones, pero ésta tuvo que ser débil.

China. En China, hace 4 000 años disponían de hornos de cerámica donde fabricaban objetos maquinados en tornos y trabajaban el jade.

Hace 3 500 años fundían objetos de cobre y bronce de gran complejidad empleando moldes complicados y también mediante el método de la cera perdida que consiste en fabricar el objeto de cera y sumergirlo en una pasta con la que se fabricará el molde. Al calentar la pasta, se extrae la cera y el molde contiene la forma del objeto que se quiere fundir.

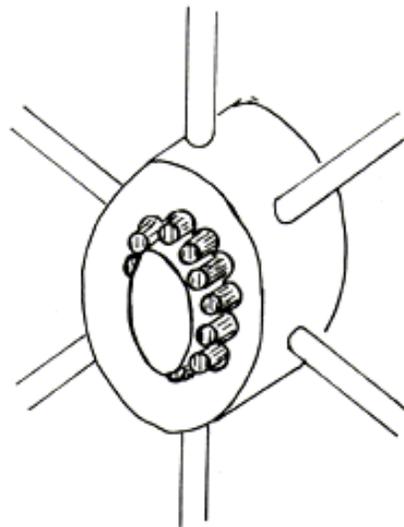


Figura 12. Esquema de un rodamiento, o balero, tomado de los restos de una carreta hace 2100 años, encontrada en Dinamarca.

También fundían objetos de hierro • 500 años atrás— usando moldes como en el caso del bronce, adelantándose mucho a los griegos que producían objetos de hierro forjado. Para lograrlo, necesitaron producir una abundante corriente de aire a presión en el horno a fin de obtener una mayor temperatura. Esto lo lograron empleando fuelles con válvulas de paso, de manera que se presionaba el aire al comprimir y expandir el fuelle.

Posteriormente emplearon la rueda de agua, movida por la corriente de un río, para comprimir el aire por medio de turbinas o ventiladores y producir un flujo más uniforme en la industria del hierro.

Hace 1 500 años los chinos fabricaban papel y construían complicados aparatos, como por ejemplo un disco de esmeril montado en un eje rotatorio para trabajar el jade.

Construyeron sismógrafos, que daban indicación de la magnitud y dirección del temblor. En la figura 13 se muestra el esquema de un sismógrafo que se usó probablemente en el siglo VII, que fue construido en bronce y que tenía 12 caritas de rana con balines en la boca a lo largo de su perímetro y un pesado péndulo con un disco en la parte central.

Supongamos que tuviéramos 10 de estos sismógrafos con distintas distancias entre el disco y las quijadas inferiores de las ranitas. Un temblor mediano tiraría todos los balines de los sismógrafos en los que las distancias fueron pequeñas y ninguno cuando la distancia fuera grande, además, en uno de los sismógrafos sólo caerían los balines orientados en la dirección del sismo. Este sistema de sismógrafos daría indicación

de la magnitud del sismo y de la dirección del epicentro.

Los sismógrafos modernos se basan en el mismo principio de una gran masa suspendida, que es en realidad la que menos se mueve durante un sismo, siendo lo que más se mueve las paredes y las personas. El registro de las oscilaciones se hace por medio de dos plumillas que marcan los movimientos en dos tiras de papel que se mueven en direcciones perpendiculares.

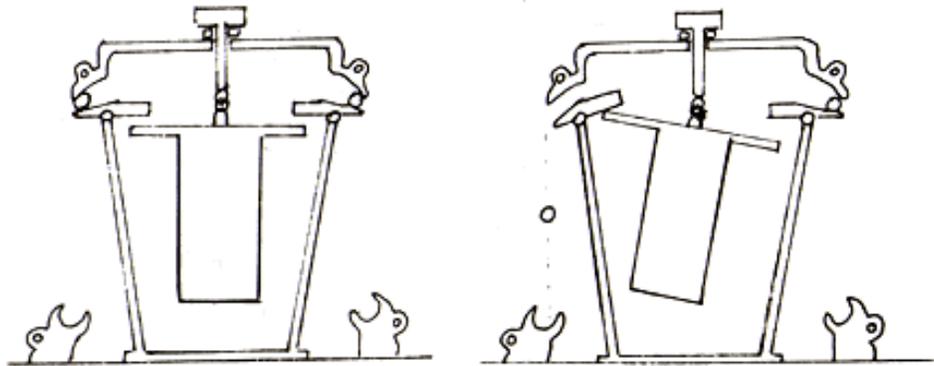
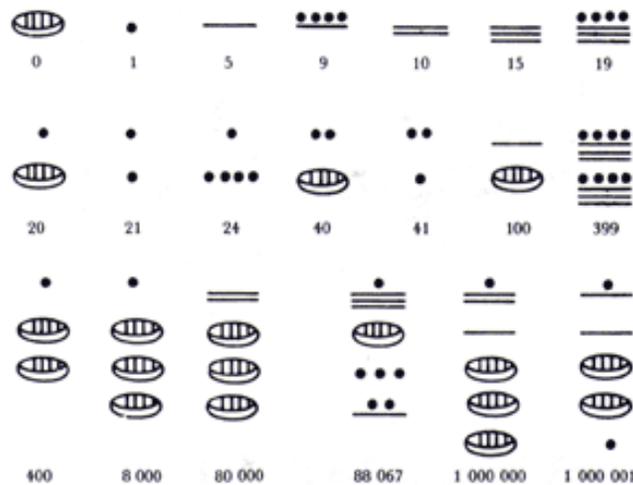


Figura 13. Sismógrafo chino para determinar la intensidad y dirección de un temblor



EL NÚMERO 88 067 EN LOS DOS SISTEMAS

Decimal			Maya	
8 → 8 × 10 × 10 × 10 × 10	→ 80 000		→ 11 × 20 × 20 × 20	88 000
8 → 8 × 10 × 10 × 10	→ 8 000		→ 0	0
0 → 0	→ 0	••••	→ 3 × 20	60
6 → 6 × 10	→ 60	••	→ 7	7
7 → 7	→ 7	—		
	88 067			88 067

Figura 14. Numeración maya que empleó el cero antes que otras civilizaciones.

Los chinos descubrieron la brújula, la imprenta, la tecnología de la seda, empleaban el asbesto como aislante y el carbón de piedra.



Figura 15. Códice maya, donde se dan las fechas en que el planeta Venus aparece y desaparece como estrella vespertina.

También descubrieron un nuevo energético químico que cambiaría al mundo, la pólvora.

El Nuevo Mundo. Cuando los cazadores de Asia pasaron a América persiguiendo animales traían una tecnología que les permitía matar al mamut y otros grandes animales. Tenían lanzas, arcos y flechas, fuego, etcétera.

Por el aislamiento en que vivieron los pobladores de América, su desarrollo fue más lento. Hace 3 500 años, en la costa del Golfo de México, se desarrolló la cultura olmeca. Los integrantes de ella cultivaban la tierra de la que obtenían maíz y frijol y eran grandes escultores de enormes cabezas de piedra. De esta cultura derivó la gran cultura maya.



Figura 16. Esquema del método para fundir metales, desarrollado en Perú.

Los mayas eran grandes alfareros, pintores, escultores, arquitectos y astrónomos. Entre sus construcciones se encuentran palacios, pirámides y observatorios. Desarrollaron una escritura jeroglífica, aún no descifrada. Para fijar las fechas, emplearon un sistema numérico con base en el 20 (en vez de la base en el 10 que usamos actualmente) y lo notable es que usaron el cero antes que en Europa o Asia (Figura 14).

Un códice maya del siglo XII nos muestra las fechas en que el planeta Venus aparece y desaparece como estrella vespertina (Figura 15).

En Perú se desarrolló la metalurgia del oro hace 2 800 años, forjando las piezas por medio del martillo.

Hace 2 000 años, el oro se fundía para emplearlo en moldes abiertos o por el método de la cera perdida, que consiste en hacer una figura de cera, forrarla de arcilla, excepto en una pequeña región que sirve para extraer la cera por medio del calor, y para introducir el oro fundido (Figura 16). Con el tiempo, esta tecnología pasó al Ecuador, Colombia, Centroamérica y México en donde los zapotecas realizaron obras maestras en cera perdida (ver portada).

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



II. LA MECÁNICA

SUS ORÍGENES

Los antepasados del hombre, al construir sus instrumentos, iniciaron el desarrollo de la mecánica.

Las primeras ideas claras sobre el universo mecánico en que vivimos fueron dadas por los filósofos griegos. Uno de los más brillantes fue Pitágoras de Samos, quien vivió en Crotona en el sur de Italia y fundó la Escuela Pitagórica. El más brillante representante de esta escuela fue Filolao de Crotona quien nació en 480 a.C. un siglo después de su maestro.

Para Filolao y Pitágoras la Tierra era esférica, no constituía el centro del Universo, y observaron que el Sol, la Luna y los planetas no comparten el movimiento uniforme de las estrellas, sino que cada uno tenía su camino propio.

Otro gran filósofo fue Demócrito, nacido en 470 a.C., que desarrolló la teoría atómica de la materia. Para él toda la materia consistía de pequeñas partículas a las que llamó "átomos" que quiere decir "indivisible". Los átomos eran eternos e indestructibles y existían diversos tipos de átomos que explicaban las diferencias existentes entre diversas sustancias. Además de los átomos sólo existía el vacío.

Los escritos de Demócrito no han sobrevivido y sus ideas se conocen por referencias de otros filósofos, algunas de ellas hechas en son de burla, como Sócrates y Platón que las consideraban absurdas y otras de la Escuela de Epicuro que las admiraban. Las ideas de Demócrito fueron totalmente intuitivas y a ellas se opusieron otras igualmente intuitivas de otros filósofos como Sócrates y Platón que para desgracia de la ciencia tuvieron durante muchos siglos más influencia en el mundo.

Epicuro nació en la isla de Samos en 342 a.C. y fundó su escuela en Atenas. Adoptó la teoría atómica de Demócrito para explicar el comportamiento mecánico del Universo que estaba formado por átomos y vacío. Para él, si un cuerpo se mueve, deberá continuar su movimiento a menos que exista un efecto que lo modifique. Esto es el llamado principio de Galileo, redescubierto casi 2 000 años después, y una de las leyes fundamentales de la mecánica moderna. También explica que en el vacío, bajo la acción de su peso, los cuerpos pesados y los ligeros deben moverse con la misma velocidad. Dice que para producir el vacío basta separar con rapidez dos cuerpos planos que estaban bien unidos. Esto es lo que hacían los metalurgistas del hierro del Cáucaso y de China al inventar los fuelles y pistones con los que absorbían aire y después lo comprimían al presionar el fuelle. Observó que pequeños cuerpos suspendidos en el aire se desplazan con movimientos zigzagueantes y él lo explicó como producido por choques con los átomos del aire transparente que se mueven continuamente en todas direcciones. Esto se llama actualmente el movimiento Browniano y fue redescubierto el siglo pasado por Brown. Aunque casi nada de la abundante obra de Epicuro ha sobrevivido (escribió unos 300 tratados), uno de sus libros llamado *De la naturaleza de las cosas* fue traducido al latín por un romano que vivió 250 años después, Tito Lucrecio Caro, con el nombre *De rerum natura*, dándole la forma de un largo poema. Es muy probable que Lucrecio haya agregado valiosas ideas al libro original.

Aristóteles, maestro de Alejandro Magno, escribió sobre física, pero casi todo lo que dijo fue incorrecto. Sí aceptó que la Tierra era esférica y dio como argumento el que al viajar al norte o al sur se observan nuevas estrellas en el cielo lo que no sucedería si la Tierra fuera plana.

En el primer capítulo vimos como Herón y Ctesibus desarrollaron la mecánica de gases y vapores y construyeron relojes de agua que medían el tiempo con precisión. Los relojes de sol que medían el tiempo por la sombra producida por una varilla eran conocidos y empleados desde tiempos remotos. Los grandes astrónomos Aristarco y Eratóstenes midieron el tamaño de la Tierra y las distancias a la Luna y al Sol. El gran Arquímedes, además de desarrollar la mecánica de líquidos, hizo un estudio de las leyes de las

palancas y es autor de la frase "Dadme un punto de apoyo y moveré al mundo". Desarrolló las poleas múltiples con las que también se puede levantar un cuerpo pesado con una fuerza pequeña.

Desde Lucrecio hasta el Renacimiento en Italia casi no se hizo ningún descubrimiento mecánico en Europa. Lo único que destaca es el desarrollo del reloj mecánico usado en las catedrales de fines de la época medieval. Los relojes se movían por medio de un peso colgado de un cordón que se enrollaba en un cilindro y para evitar que el peso al bajar fuera aumentando su velocidad se ideó, no se sabe por quién, un mecanismo llamado escape, que regulaba su caída. Los relojes no eran precisos y tuvieron que esperar varios siglos para que Galileo descubriera las leyes del péndulo y Huygens las aplicara para regular la marcha de los relojes mecánicos.

EL RENACIMIENTO

El cambio social, económico y mental que tuvo su origen en Italia a mediados del siglo XV, produjo un florecimiento de las artes y la ciencia, primero en Italia y poco tiempo después en Europa. Los eruditos se interesaron nuevamente en leer y estudiar los libros griegos. Muchos de éstos no se perdieron, gracias a que los árabes los habían traducido en el siglo IX. Los textos árabes fueron traducidos al latín por Gerardo de Cremona en el siglo XII, empleando los libros que quedaron en Toledo al ser reconquistado por los castellanos en el siglo XV.

El redescubrimiento de la imprenta por Gutemberg (los chinos la usaban desde hacía mucho tiempo) y los viajes de los portugueses y españoles, principalmente los de Colón y Magallanes, cambiaron la mente de los europeos.

Leonardo da Vinci (1452-1519). Fue una de las mentes más maravillosas del Renacimiento. Además de ser el pintor más notable que ha existido, destacó como ingeniero y científico. En su tiempo no se habían publicado los libros de Arquímedes de Siracusa, pero él consiguió copias de los libros del gran científico griego y expresó la admiración que por él sentía. Gracias a él los hombres de su tiempo se interesaron por las obras de Arquímedes y en 1543 se publicó una traducción latina de algunos de los libros del filósofo griego. Usando palancas, poleas, engranes, tornillos y tornos, ideó numerosos mecanismos para usos civiles y militares. Inventó máquinas para volar (Figura 17), tanques, submarinos, ametralladoras, bombas para agua y sistemas de riego. En sus escritos nos dice que la ciencia verdadera comienza con la observación y que la experimentación es la madre de toda certeza. Esta manera de investigar fue empleada por Galileo un siglo después para desarrollar la ciencia moderna.

Desde su juventud Leonardo fue aclamado como pintor, pero sus descubrimientos en la ciencia y la tecnología pasaron casi inadvertidos porque no los dio a conocer.

EVOLUCIÓN DE LA ASTRONOMÍA

En el primer capítulo vimos cómo el griego Aristarco consideraba que la Tierra y los planetas giraban alrededor del Sol, y la Luna alrededor de la Tierra. Otros filósofos como Aristóteles, Platón y los astrónomos Hiparco y Tolomeo consideraban que la Tierra estaba fija en el centro del Universo y que todos los cuerpos celestes giraban alrededor de ella. La obra de Tolomeo, el *Almagesto*, fue traducida al árabe, de ahí al latín. Esta mecánica celeste era aceptada por la iglesia desde la Edad Media, que consideraba a la Tierra como lo más importante que Dios había creado y que por lo tanto todos los cuerpos celestes debían girar alrededor de ella, que estaba fija en el centro del Universo.

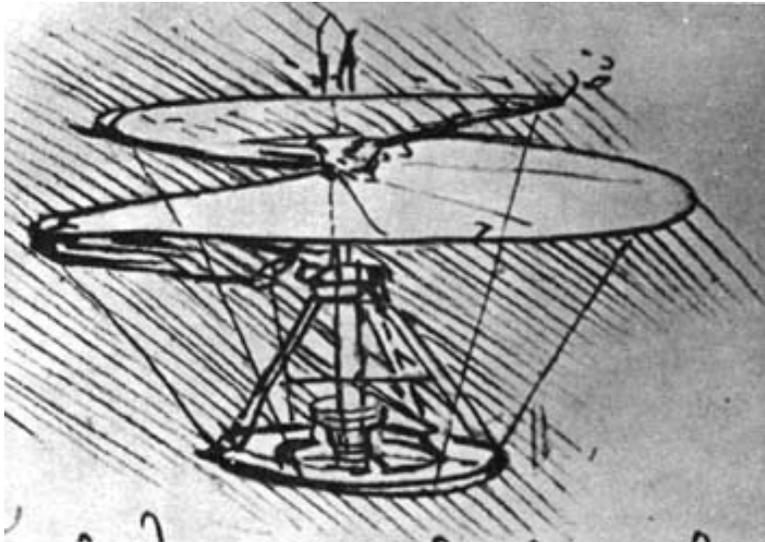


Figura 17. Inventos de Leonardo da Vinci, máquinas voladoras.

Nicolas Copérnico (1473-1543). Científico polaco que estudió medicina y astronomía en Italia, redescubrió la teoría heliocéntrica de Aristarco y se dio cuenta de que los movimientos de los planetas se podían explicar fácilmente si se consideraba que el Sol se encontraba en el centro del Universo y escribió:

Primero y sobre todo hállase la esfera de las estrellas fijas, conteniendo todas las cosas, y por esta razón inamovibles este es, en verdad, el armazón del Universo, al cual deben referirse el movimiento y posición de todos los demás cuerpos celestes. De éstos el primero es Saturno, que recorre su ciclo en treinta años; síguele Júpiter, que lo hace en doce años; después Marte, cuyo recorrido es bienal; el cuarto en orden de duración de los ciclos es la Tierra, con la órbita lunar como un epiciclo; el quinto lugar corresponde a Venus, cuya rotación dura nueve meses, y el sexto, a Mercurio, que la efectúa en ochenta días. En el centro de todo brilla el Sol.

Gregorio Bauer (Agrícola) (1490-1555). Mineralogista alemán. Escribió un famoso libro *De Re Metallica* que resume los conocimientos de los mineros de Sajonia. Describe con bellas ilustraciones la maquinaria y la tecnología usada y desarrollada por los mineros alemanes que fue durante siglos la más avanzada del mundo. Por este libro, Agrícola es considerado como el padre de la mineralogía. Sus trabajos condujeron a

un mejor conocimiento de la Tierra como cuerpo celeste.

Guillermo Gilbert (1544-1603). Físico inglés. Analizó las atracciones eléctricas y magnéticas que habían sido estudiadas por los griegos y descubrió que la Tierra se comporta como un gran imán cuyos polos atraen a la brújula no sólo en el plano horizontal (dirección norte-sur), sino también en el plano vertical, apuntando con cierto ángulo hacia el interior de la Tierra.

Ticho Brahe (1546-1601). Astrónomo danés. Midió la duración del año con un error menor de un segundo. Tuvo como asistente a Kepler, al que dejó tablas precisas sobre las posiciones de los planetas a lo largo de muchos años de cuidadosas observaciones.

EL DESARROLLO DE LA MECÁNICA COMO CIENCIA

Galileo Galilei (1564-1642). Astrónomo y físico italiano, nacido en Pisa. Desde Arquímedes, el mundo no había producido un científico de su nivel. Puede decirse que la ciencia se divide en antes de Galileo y después de él. Galileo no se contentó como los griegos en observar, él hacía experimentos y a las cosas que observaba les asociaba cantidades y trataba de encontrar relaciones matemáticas entre ellas que explicaran el fenómeno con simplicidad y generalidad. Describía su trabajo con gran claridad, precisión y belleza. Es el primero de los científicos modernos y uno de los más grandes que ha producido la humanidad. Al leer sus escritos nos damos cuenta de que su método experimental es totalmente válido en la actualidad. A los diez y siete años de edad observó que un candelabro de la catedral de Pisa, al ser movido por el viento, le tomaba el mismo tiempo en hacer una oscilación pequeña que una grande. Empleó como medida del tiempo el latido de su corazón. De regreso a su casa, construyó dos péndulos simples de igual longitud, esto es, formados por un hilo con una pequeña esfera de metal en un extremo. Observo que los dos péndulos, oscilando a diferentes amplitudes, empleaban el mismo tiempo en completarla.

También encontró que el tiempo de oscilación de un péndulo es proporcional a la raíz cuadrada de la longitud. Así, un péndulo que sea cuatro veces más largo que otro, tendrá un tiempo de oscilación doble que el de menor longitud. Diez años después de la muerte de Galileo, Huygens empleó sus resultados para construir el primer reloj de precisión controlado por un péndulo.

Fue el primer científico que empleó un telescopio para observar el cielo. Encontró que la Vía Láctea estaba formada por miles y miles de estrellas y no era una nube como se creía en su tiempo. Descubrió que la superficie de la Luna era muy irregular, con hondos valles y altas montañas. Observó que Júpiter tenía cuatro satélites que giraban a su alrededor.

En la publicación *El Mensajero Sideral* de 1610, Galileo dice:

Tenemos otro argumento notable y magnífico para acabar con los escrúpulos de aquellos que pueden tolerar la idea de que los planetas giran en derredor del Sol, conforme a! sistema de Copérnico, pero se sienten turbados con la doctrina de que la Luna se mueve en torno de la Tierra, que a su juicio, esta teoría del Universo debe rechazarse por imposible. Pues es de saber que ahora no sólo tenemos un planeta que gira alrededor de otro, mientras recorren ambos una amplia órbita en torno del Sol, sino que nuestra vista nos presenta cuatro satélites volteando en torno de Júpiter, como la Luna en torno de la Tierra, mientras el sistema entero describe, en el espacio de doce años, una inmensa órbita en torno del Sol.

En su libro *Diálogo sobre los dos mayores sistemas del mundo*, Galileo habla del sistema de Copérnico y del de Tolomeo, quien considera a la Tierra fija, y al Sol y los planetas girando en torno a ella. Galileo le da la razón a Copérnico.

Galileo observó las manchas solares y que éstas se movían por lo que dedujo que el Sol giraba alrededor de su eje en veintisiete días. Todo esto contradecía las ideas de Aristóteles de que la Tierra estaba fija y que todos los objetos celestes giraban alrededor de la Tierra y que además dichos objetos eran perfectos.

Estas ideas eran compartidas por la iglesia católica y la protestante, por lo que Galileo fue acusado de herejía y tuvo que declarar que la Tierra no se movía. Hay que recordar que Giordano Bruno, por propagar la idea de que la Tierra se movía, entre otros cargos, fue expulsado de Ginebra por los protestantes y quemado por los católicos en Roma en 1600. Sobre el telescopio de Galileo se tratará en el capítulo dedicado a la óptica.

El trabajo más importante de Galileo fue el desarrollo de la mecánica como ciencia. En 1638, cuatro años antes de su muerte, logró que se publicara su libro *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* que se divide en cuatro capítulos, los dos primeros se dedican al estudio de la estática y la resistencia de los materiales que se emplean en el cálculo de estructuras fijas, como los edificios, los puentes, las presas, etc., y los otros dos del movimiento de los cuerpos y los proyectiles, o sea la cinemática.

Galileo dice que un cuerpo que cae tiene suficiente "impulso" para volver a subir al punto de partida, lo que equivale al principio de la conservación de la energía. También construyó el primer termómetro empleando la expansión de los gases con el calor. Para realizar sus investigaciones sobre la caída de los cuerpos, Galileo utilizó la Torre Inclinada de Pisa.

Juan Kepler (1571-1630). Astrónomo alemán, ayudante de Ticho, quien descubrió que los planetas no describen órbitas circulares alrededor del Sol, sino elipses en las que el Sol está en uno de los focos. Esta es la llamada primera ley de Kepler. Las elipses fueron estudiadas por el griego Apolonio. Las elipses se obtienen al hacer un corte inclinado en un cilindro. La figura que se obtiene parece un círculo achatado con un eje mayor y un eje menor. Se puede construir clavando dos alfileres en un cartón y amarrándoles un hilo entre ellos que quede flojo. Con un lápiz se restira el hilo y se mueve, manteniendo tenso el hilo. La figura que se dibuja es una elipse y los puntos donde están los alfileres son los focos. Los cometas que regresan periódicamente describen órbitas elípticas muy alargadas.

Kepler encontró que las posiciones de Marte, observadas por su maestro Ticho Brahe, coincidían con gran precisión (primera ley) con las de una órbita elíptica.

La segunda ley de Kepler dice que al moverse un planeta en su órbita, la línea que va del planeta al Sol barre áreas iguales en tiempos iguales. De acuerdo con esto, cuando un planeta (o un cometa) se acerca al Sol, su velocidad aumentará de acuerdo con una ley precisa y calculable.

La tercera ley dice que el cuadrado del periodo (tiempo) de revolución de un planeta es proporcional al cubo de su distancia al Sol.

Las elipses de Kepler cambiaron las ideas griegas de las órbitas perfectas circulares que aún emplearon Copérnico y Galileo. Las dos primeras leyes las encontró Kepler gracias a su mente privilegiada y a que contaba con las posiciones precisas de los planetas a través del tiempo, calculados por su maestro Ticho. El círculo es un caso particular de elipse en la que los dos focos coinciden en el mismo punto; en el caso de las órbitas circulares, las dos primeras leyes son obvias. La tercera ley estuvo al alcance de Galileo al descubrir los cuatro satélites de Júpiter, encontrar sus periodos de revolución y poder observar fácilmente sus distancias relativas a Júpiter. Galileo menciona que los periodos de los planetas son notablemente mayores para los más alejados, pero no encontró la relación entre el periodo y el radio de la órbita.

René Descartes (1596-1650). Filósofo y matemático francés que fusionó la geometría con el álgebra al idear el sistema cartesiano de referencia, en el que la posición de un punto en el espacio queda dado por las distancias (x, y, z) del punto a tres planos mutuamente perpendiculares. Es decir, cualquier punto dentro de un cuarto de una casa, fijo o móvil (como por ejemplo una mosca), queda dado por tres distancias, una de ellas la distancia al suelo (altura), y por otras dos distancias horizontales a dos paredes perpendiculares del cuarto. Un punto en el espacio queda dado por tres números y por dos en un plano.

Por ejemplo la ecuación algebraica $y = 3x + 5$ (multiplicar el valor de x por 3 y al resultado sumarle 5), es equivalente para Descartes a un conjunto de pares de números (**si $x = 1, y = 8$**); (**si $x = 0, y = 5$**); (**si $x = 2, y = 11$**);

etc. Al dibujar estos puntos en un sistema de coordenadas cartesianas de dos dimensiones "x" y "y", encontraremos que la ecuación representa una línea recta. En una hoja de papel "x" es la distancia horizontal a la orilla izquierda del papel y "y" la distancia vertical a la orilla inferior del papel. Descartes encontró que a cada ecuación corresponde una curva en el papel y que a cada curva (círculo, parábola, elipse, etc.) corresponde una ecuación algebraica. Estas matemáticas reciben el nombre de geometría analítica y su uso fue fundamental en el desarrollo de la mecánica por Newton.

Evangelista Torricelli (1608-1647). Físico italiano, discípulo de Galileo, quien le sugirió que estudiara el problema del vacío. La posibilidad de bombear agua, al hacer el vacío en la parte superior de un tubo por medio de un pistón, se pensaba que se debía a que la naturaleza aborrecía el vacío, sin embargo, se sabía que no se podía subir agua por este método a más de 10 metros. Torricelli pensó que no existía tal aborrecimiento y que todo se debía a un efecto mecánico, que el aire pesaba y que el límite de diez metros se debía a que el peso del aire de la atmósfera sólo podía balancear esa columna de agua.

Para probarlo, Torricelli llenó con mercurio un tubo de vidrio cerrado en un extremo y de más de un metro de largo, lo tapó con su pulgar y lo introdujo invertido en un recipiente abierto que contenía mercurio. Encontró que la columna de mercurio fue de sólo 76 centímetros y que en la parte superior del tubo de vidrio había vacío (Figura 18).

Éste fue el primer vacío producido por el hombre y la fecha fue 1643. El hecho de que la atmósfera del aire tenga un peso finito, obliga a que tenga dimensiones finitas, lo que quiere decir que en el espacio interplanetario e interestelar lo que más abunda es el vacío.

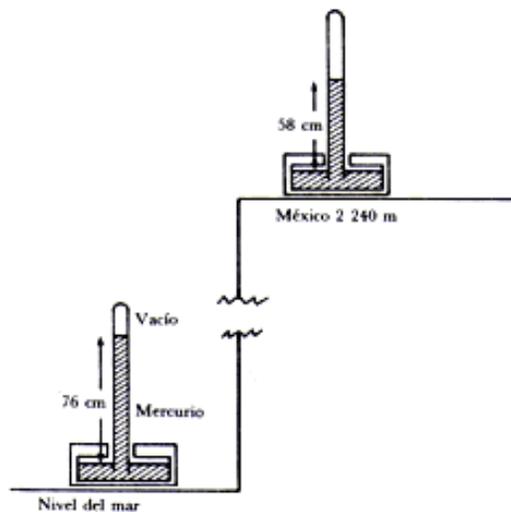


Figura 18. Torricelli descubrió el barómetro. En este aparato, la columna de mercurio cambia según la altura del lugar.

Otto de Guericke (1602-1686). Físico alemán. Con pistones y válvulas construyó una bomba de vacío con la que hizo interesantes experimentos. En uno de ellos construyó un cilindro con un pistón que tenía atada una cuerda de la que tiraban cincuenta hombres y él comenzó a hacer vacío del otro lado del cilindro, haciendo moverse al pistón, pese a la fuerza en oposición de los hombres.

Guericke construyó en Magdenburgo dos hemisferios de metal que coincidían en un anillo plano engrasado y los usó para demostrar el poder del vacío al emperador Fernando III. Cuando los hemisferios fueron unidos y se hizo vacío, la presión del aire los mantuvo unidos aunque dos equipos de caballos tiraron de ellos tratando de separarlos. Cuando por medio de una llave se permitió entrar al aire, los hemisferios se separaron por su propio peso (Figura 19).

Blas Pascal (1623-1662). Matemático y físico francés. Desarrolló junto con Fermat el cálculo de probabilidades que es una herramienta fundamental en la investigación de la física. Dio un gran impulso a

la mecánica de fluidos al indicar que la presión ejercida en un fluido contenido en un recipiente cerrado, se transmite a todo el fluido con igual intensidad y que obra normalmente (en ángulo recto) a todas las superficies que toca. Este principio de Pascal es la base del funcionamiento de la prensa hidráulica, que él describe así:

Si un pequeño pistón es impulsado hacia abajo en un recipiente con líquido, un pistón grande puede ser impulsado hacia arriba en otro lugar del recipiente. La fuerza que obra sobre el pistón grande es a la fuerza que obra sobre el pistón pequeño como el área del pistón grande es al área del pistón pequeño. Esta multiplicación de la fuerza se debe a que el pistón pequeño debe moverse una distancia mucho mayor que el pistón grande. Como en el caso de la palanca de Arquímedes, el producto de la fuerza por el desalojamiento es igual en ambos lados. En realidad, la prensa hidráulica es una clase de palanca.

Pascal se interesó por los trabajos de Torricelli y dedujo que si la atmósfera tiene peso, éste debe disminuir con la altura y observó que, al subir una montaña, la altura de la columna de mercurio disminuye notablemente. También diseñó y construyó las primeras computadoras mecánicas, pero esto se tratará en otro capítulo.

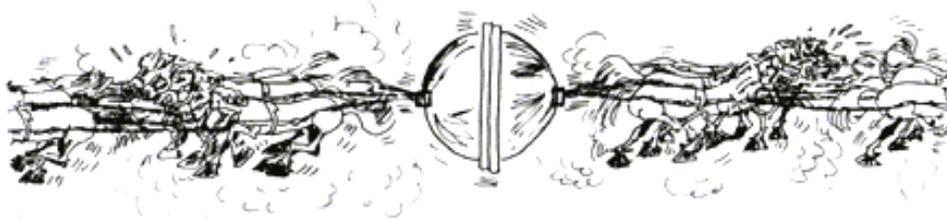


Figura 19. Tirando de los hemisferios, a los que se les había hecho el vacío, dieciséis caballos no pudieron separarlos. Sólo se separaron por su propio peso cuando fue abierta la llave que permitió entrar al aire.

Cristian Huygens (1629-1695). Notable físico y astrónomo holandés. Sus trabajos más importantes los realizó en el campo de la óptica, como se verá en ese capítulo, sin embargo, dentro de la mecánica elaboró importantes equipos para medir distancias y tiempos. Construyó un micrómetro que permitía leer el giro del disco de un instrumento, de unos segundos de arco. Diseñó y construyó los primeros relojes de precisión. Antes de él, el reloj más preciso que se había construido era el de agua del griego Ctesibus. En la Edad Media se inventó el reloj mecánico que tenía una sola manecilla que daba las horas con poca precisión. En sus últimos años, Galileo trató de construir un reloj que empleara un péndulo para controlar su movimiento. El diseño y la construcción del primer reloj de precisión la realizó Huygens (1656), empleando como elemento regulador un péndulo cuyas leyes descubrió Galileo.

A principios del siglo XVI, Pedro Heinlein construyó los primeros relojes mecánicos de bolsillo, que se llamaban los huevos de Nuremberg por su forma y por el lugar donde se fabricaban. Los relojes eran poco exactos. En 1665, Huygens construyó el primer reloj de bolsillo de precisión, al introducir el volante controlado por un resorte en espiral, que oscila con leyes similares a las del péndulo. El poder medir el tiempo con precisión tuvo un papel muy importante en el futuro desarrollo de la física.

En 1673 publicó su libro sobre relojes, *De horologium oscillatorium* en el que explica cómo pueden construirse cronómetros de precisión empleando el péndulo de Galileo, pero lo que es más importante es que descubrió la forma de la fuerza centrífuga (o la tensión del hilo del péndulo) del movimiento circular, siendo proporcional al radio e inversamente proporcional al cuadrado del periodo. Combinando esta ley con la tercera ley de Kepler, que nos dice que el cuadrado del periodo de un planeta es proporcional al cubo de su distancia al Sol, se obtiene que la fuerza centrípeta que obra sobre los planetas debe variar

inversamente con el cuadrado de la distancia, como se lo hizo ver Hooke a Newton en una carta y que pudo haber sido el punto de partida de la ley de la gravitación formulada por Newton.

Roberto Hooke (1635-1703). Físico inglés. Descubrió la ley que lleva su nombre, y que se refiere a como se alargan los resortes o varillas bajo la acción de las fuerzas aplicadas al cuerpo. Esta ley es la base de la teoría de la elasticidad, fundamental en la ingeniería moderna.

Isaac Newton (1642-1727). Notable físico y matemático inglés. Uno de los más grandes científicos que ha producido la humanidad. Newton nació en el año en que murió Galileo. Estudió en Cambridge en el Trinity College y se graduó de bachiller en artes en 1665. Ese mismo año, la Universidad fue cerrada por la persistencia de una plaga de peste bubónica, y él se retiró durante dos años a la granja de su madre en Woolsthorpe, lugar donde nació. Durante ese periodo realizó notables descubrimientos en óptica que le dieron gran fama y concibió la Ley de la Gravitación Universal. Se cuenta que, al ver caer una manzana, pensó que la ley que rige ese fenómeno debía ser la misma ley que mantiene a la Luna girando alrededor de la Tierra y a los planetas alrededor del Sol.

Refiriéndose a esos dos años, Newton dice:

... y en el mismo año comencé a pensar en la gravedad, extendiéndose a la órbita de la Luna... y habiendo comparado la fuerza necesaria para mantener la Luna en su órbita con la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, encontré que ellas concuerdan bastante bien.

Newton había encontrado que la fuerza de gravedad disminuía (inversamente proporcional) con el cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Regresó a Cambridge, donde fue nombrado profesor de matemáticas. En 1687 publicó el libro científico más famoso que existe: *Philosophiae naturalis principia mathematica*, que se conoce con el nombre de *Principia*. Fue escrito en latín y se divide en tres libros: el primero trata del movimiento de los cuerpos (en el vacío); el segundo, del movimiento de los cuerpos (en medios resistentes) y el tercero de la mecánica celeste y se titula "Sistema del mundo" (con tratamiento matemático). En el primer libro postula sus tres leyes del movimiento de la forma siguiente:

Primera ley. Todo cuerpo en estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme continuará en ese estado, a menos que sea obligado a cambiar de estado por fuerzas que actúen sobre él.

Esta ley fue estudiada por Galileo, quien consideró que esto sucedería si se eliminaba la fricción. Como se vio en el primer capítulo, también era postulada por el griego Epicuro.

Segunda ley. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza aplicada y es producido en la dirección de la línea recta en que la fuerza actúa.

Esta ley en realidad contiene a la primera pues si no hay fuerza, no hay cambio en el movimiento rectilíneo uniforme. Al estudiar Galileo el movimiento de los cuerpos en diferentes planos inclinados, lo que hacía era cambiar el tamaño de la componente del peso que producía el cambio de movimiento (aceleración) y encontró que la aceleración producida era proporcional a la fuerza aplicada.

Tercera ley. A toda acción siempre se opone una reacción igual: o las acciones mutuas entre dos cuerpos son siempre iguales y dirigidas a la parte contraria. Empleando esta ley, Newton diseñó un automóvil que nunca se construyó. Al lanzar vapor en una dirección, obra sobre el coche una fuerza en dirección opuesta, como en la máquina de vapor del griego Herón o en los cohetes chinos.

Esta ley es exclusiva de Newton, lo mismo que la ley de la gravitación que, si bien no la enunció como la conocemos, sí dice que las atracciones gravitacionales entre los cuerpos actúan "... de acuerdo con la cantidad de materia sólida que contienen y se propagan en todas direcciones a inmensas distancias decreciendo siempre como el inverso del cuadro de las distancias".

Con estas leyes demostró que las leyes de Kepler pasan a ser teoremas de su mecánica. Encontró que en un campo gravitacional central, los cuerpos se mueven en un plano que puede ser un círculo, una elipse, una parábola o una hipérbola, o sea una cónica (curvas que se obtienen al hacer un corte en una superficie cónica).

En la tercera ley se basa el movimiento de los cohetes chinos y también el movimiento de los grandes cohetes modernos que se han enviado a estudiar la Tierra, la Luna y los planetas.

Newton desarrolló el cálculo diferencial para facilitar sus demostraciones, pero no dio a conocer los resultados matemáticos que encontró. Simultáneamente, el cálculo fue desarrollado por el alemán Godofredo Leibniz, quien lo dio a conocer en forma de libro en 1648, empleando una terminología superior a la de Newton.

Dos frases famosas de Newton, que revelan su modestia y grandeza, son bien conocidas: "Si he visto más lejos que otros hombres, es por que gigantes me cargaron sobre sus espaldas." Evidentemente, algunos de estos gigantes fueron Galileo, Kepler, Huygens, Copérnico y Arquímedes. Y también: "No sé que pueda yo parecerle al mundo, pero para mí mismo, he sido como un muchacho jugando en una playa y divirtiéndome ahora y entonces al encontrar una piedra pulida o una concha más bella que las demás, mientras un océano de verdades se encuentra sin descubrir frente a mí."

FUNDACIÓN DE LAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS

La revolución científica que produjo la obra de Galileo condujo a la fundación de sociedades científicas en Italia y en Europa. La idea era muy antigua; en Atenas existió la Academia de Platón y el Liceo de Aristóteles; en Alejandría el famoso Museo.

Las primeras sociedades científicas se fundaron en Italia y fueron la Academia de Lincei (1600) y la del Cimento (1651) que tuvieron corta vida. Más éxito alcanzaron la Royal Society de Londres (1662) y la Académie Royal des Sciences de Francia (1666).

Los gobernantes de la época sintieron la necesidad de rodearse de científicos o filósofos. Así, Descartes fue invitado a dar clases a la reina Cristina de Suecia, ansiosa de contar con los servicios de un filósofo de renombre. El emperador de Alemania, Fernando III, se interesaba por los experimentos de vacío emprendidos por Guericke en Magdeburgo.

Huygens, cuya fama se extendió por toda Europa, fue nombrado miembro de la Royal Society de Londres en 1663, y en 1666 Luis XIV lo invitó a Francia para que, junto con otros científicos, diera gloria a su gobierno.

Uno de los fundadores de la Royal Society de Londres, el físico Roberto Hooke, al escribir los estatutos de la Sociedad apuntó: "El objetivo de la Royal Society es mejorar el conocimiento de las cosas naturales y de todas las artes útiles, las manufacturas, las prácticas mecánicas, los artificios y las invenciones a través del experimento."

Newton fue admitido en la Royal Society en 1672 por haber inventado el telescopio de reflexión, que empleaba un espejo cóncavo y que tenía grandes ventajas ópticas con respecto al anteojo de Galileo. El telescopio fue mostrado al rey Carlos II. El aparato se ha preservado hasta la fecha. En 1703 fue electo presidente de la Sociedad y se le reeligió anualmente hasta su muerte.

Los grandes telescopios ópticos modernos, como el de San Pedro Mártir, Baja California Norte, son de reflexión como el de Newton.

LA MECÁNICA POSTERIOR A NEWTON

Daniel Bernoulli (1700-1782). Físico suizo. Dio impulso a la mecánica de los fluidos y encontró que cuando un fluido pasa por un tubo que tiene un estrechamiento, la velocidad de sus partículas aumenta, pero su presión disminuye. Fue el primero que intentó explicar el comportamiento de los gases cuando cambia su presión y su temperatura. Consideraba, como el griego Epicuro, que los gases estaban formados por grandes cantidades de partículas pequeñas (átomos) cuya velocidad producía la presión y su temperatura. Les aplicó el cálculo de probabilidades desarrollado por Pascal y Fermat y es el iniciador, de la teoría cinética de los gases.

Enrique Cavendish (1731-1810). Físico y químico inglés. La ley de la gravitación de Newton se expresa matemáticamente:

$$F = G \cdot M \cdot m / (R \cdot R)$$

que nos dice que la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas (M y m) e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia (R). La (G) es la constante de la gravitación universal, que no era conocida por Newton. Cavendish, empleando una balanza de torsión (similar a la ideada por Coulomb, pocos años antes, para estudiar la atracción entre cargas eléctricas) midió la constante de gravitación (G).

Una barra ligera, que tenía en sus extremos dos esferas pequeñas de plomo, fue suspendida de un alambre delgado. La barra podía girar libremente alrededor del alambre cuando una pequeña fuerza era aplicada a las esferas (torciendo el alambre). Cavendish, después de calibrar el aparato, puso dos grandes bolas de plomo cerca de las pequeñas, una en cada lado. La fuerza de atracción gravitatoria entre las bolas grandes y las pequeñas torció el alambre y, a partir de ese giro, calculó la constante de gravitación. Él conocía la masa de las esferas, la distancia entre sus centros y la fuerza con que se atraían (la que produjo la torsión). La única incógnita era la constante (G), que pudo calcularse.

Con el valor de la constante de la gravitación universal (G) puede determinarse fácilmente la masa de la Tierra, ya que se conoce la masa y el peso (fuerza con que la Tierra lo atrae) de los cuerpos que en ella descansan y se conoce el radio de la Tierra.

En la fórmula de Newton lo único desconocido es la masa de la Tierra, por lo que puede calcularse.

Se encontró que la masa de la Tierra es de 6,000,000,000,000,000,000 toneladas métricas, y su densidad media 5.5 veces mayor que la del agua.

José Luis Lagrange (1736-1813). Matemático, físico y astrónomo italiano, creador del cálculo de variaciones, que es una herramienta poderosa en el estudio de la mecánica. En 1766 fue nombrado por Federico II director de la Academia de Ciencias de Berlín que en ese tiempo concentraba los talentos de Europa. El método de Lagrange, que resuelve numerosos problemas de la mecánica, lo resumió en su libro *Mecánica analítica*, publicado en 1788. Newton resolvió el problema del movimiento de dos cuerpos unidos por la fuerza de gravedad, pero no el problema del sistema de tres o más cuerpos, como es el sistema Sol, Tierra, Luna. Lagrange desarrolló métodos para estudiar sistemas de tres o más cuerpos.

A la muerte de Federico el Grande, de Prusia, Lagrange viajó a París en 1787. Durante la Revolución francesa, en 1793, se le nombró director de la comisión encargada de crear un nuevo sistema de pesas y medidas, que dio lugar al sistema métrico decimal.

Pedro Simón Laplace (1749-1827). Físico, astrónomo y matemático francés. Escribió un tratado sobre la teoría de probabilidades y dio a esta rama de las matemáticas su forma actual. Expuso la teoría de la gravitación en un libro monumental, en cinco volúmenes, *Mecánica celeste*. Estudió las perturbaciones que se producen en la órbita de un planeta alrededor del Sol por la atracción de otros planetas o satélites y encontró, junto con Lagrange, que dichas perturbaciones no producirán cambios que afecten drásticamente al Sistema Solar.

Un triunfo espectacular del método de las perturbaciones fue obtenido por el astrónomo francés Leverrier en 1846, al observar que la órbita del planeta Urano mostraba anomalías, pues se desviaba 1.5 minutos de ángulo de su trayectoria. Leverrier supuso que esto se debía a la existencia de un planeta; calculó su posición y tamaño y pidió al Observatorio de Berlín que buscara el planeta en ese lugar del cielo. El planeta fue descubierto y recibió el nombre de Neptuno.

Se cuenta que Napoleón le indicó que no mencionaba a Dios en su libro, a lo que Laplace le contestó: "No tengo necesidad de esa hipótesis." Napoleón lo nombró ministro y senador. Cuando Luis XVIII ocupó el trono de Francia lo hizo marqués y en 1817 se le designó presidente de la Academia Francesa.

Observando que todos los planetas giran alrededor del Sol en el mismo sentido, Laplace sugirió que el sistema planetario y el Sol se habían formado a partir de una nube de gas en rotación que, al concentrarse, aceleró su rotación y creó al Sol. Los planetas se formaron al concentrarse parte de la nube que se mantuvo lejos del Sol a consecuencia de la fuerza centrífuga.

Con los trabajos de Lagrange y Laplace llegó a su culminación la mecánica de Newton y Galileo. Se pensaba que quedaba poco por hacer. El desarrollo de la mecánica relativista de Einstein y de la mecánica cuántica de Bohr, De Broglie, Schrodinger, Heisenberg y Dirac, cambiaron por completo esta situación.

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



III. LA ÓPTICA, LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

1. LA ÓPTICA

TODAS las civilizaciones desarrollaron algún tipo de espejo para ver la reflexión de su imagen. Pudo ser un recipiente con agua o una piedra pulida. Con el desarrollo de la metalurgia se pudieron fabricar espejos de metal pulido que producían una imagen mucho más brillante. En Egipto los espejos eran artículos comunes en cierto sector de la población.

El griego Epicuro conocía la ley de la reflexión de la luz, como lo expresa Lucrecio en su libro *De la naturaleza de las cosas* donde se dice claramente que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. También habla de la refracción de la luz, indicando que una varilla, parcialmente sumergida en el agua, se ve quebrada, pero no ofrece una explicación semejante a la que dan la ley de la refracción, la ley de los senos, o la ley de Snell.

En la Antigüedad muchas personas pensaban que de los ojos se proyectaba algo que palpaba los objetos para verlos. Epicuro hace notar que es de los objetos de donde brotan partículas que hieren los ojos e impresionan la vista.

Abu Alí Alhazen (965-1039). Físico árabe nacido en Irak. Se le considera uno de los creadores de la óptica. Inventó la cámara oscura, que consiste en un cuarto o cajón oscuro que tiene en una de sus paredes un pequeño orificio. En la pared opuesta se forma una imagen invertida de los objetos exteriores. Este aparato es el antecesor de la moderna cámara fotográfica.

Construyó equipos parabólicos como los que ahora se usan en los modernos telescopios y estudió sus propiedades de enfoque.

Fabricó lentes y estudió el enfoque que producen. Los conocimientos de óptica en tiempos de Alhazen se muestran en la figura 20. La tradición cuenta que Arquímedes defendió su ciudad natal, Siracusa, empleando espejos cóncavos de gran radio de curvatura, para concentrar la luz del Sol en los barcos enemigos y quemarlos. En la figura se observa también que eran conocidas la reflexión y la refracción de la luz: se ve un hombre frente a un espejo y a otro dentro de un estanque, al que se le ven las piernas quebradas. El arco iris entre las nubes es igualmente observable. Leonardo da Vinci, conociendo la tradición de Arquímedes, diseñó por lo menos siete máquinas para tallar espejos de gran tamaño y radio de curvatura, pero probablemente nunca construyó una de estas máquinas (Figura 21). En la actualidad, para concentrar la luz solar en una pequeña zona se emplean muchos espejos planos pequeños, orientados en la dirección deseada.

Desde el siglo XIV se desarrolló en Europa la construcción de lentes para corregir defectos de la vista, como puede observarse en diversas pinturas de la época. Cuenta la leyenda que en una tienda de lentes, en Holanda, un cliente comenzó a mirar a través de dos lentes, puestas una enfrente de la otra y observó que los objetos se veían más cerca de lo que en realidad se encontraban, se había inventado así el telescopio.



Figura 20. Conocimientos de óptica en tiempos de Alhazen (año 1000). Pueden verse en el esquema espejos cóncavos que concentran la luz solar, espejos planos, el arco iris y la refracción de la luz, al observar las piernas del hombre en el estanque

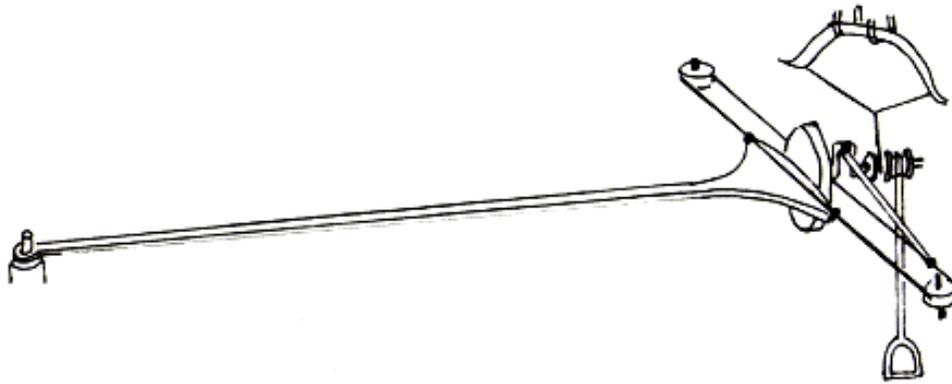


Figura 21. Uno de los diseños de Leonardo da Vinci: aparato para tallar espejos esféricos de gran diámetro y radio de curvatura.

EL DESARROLLO DE LA ÓPTICA COMO CIENCIA

La noticia del descubrimiento del telescopio llegó a Galileo en 1609, y seis meses después había diseñado y construido un telescopio ideado por él. Lo más importante es que, por primera vez, empleó este telescopio y los otros que construyó posteriormente, a la investigación de la mecánica celeste.

Observó que la Luna tenía montañas, y el Sol manchas que cambiaban con el tiempo, de donde dedujo que giraba alrededor de su eje, con periodo de 27 días. Al observar las estrellas vio que permanecían puntuales en el telescopio, aun las más brillantes, mientras que los planetas se veían como pequeñas esferas. La conclusión de Galileo fue que las estrellas debían estar mucho más lejanas que los planetas y que el Universo podía ser indefinidamente grande. Descubrió cuatro satélites de Júpiter.

Galileo fue el primero en proponer un método para medir la velocidad de la luz, que consistía en que dos hombres con linternas, subidos en dos montañas próximas, al destapar el primero su linterna, y ver la luz el segundo, éste destaparía la suya y el primero mediría el tiempo transcurrido desde que destapó su linterna hasta que observó la luz del otro. La velocidad de la luz se encontraría dividiendo el doble de la distancia entre las montañas, entre el tiempo empleado. Este método no dio resultado porque la luz se mueve muy aprisa y el tiempo de respuesta de los observadores es muy lento. Dos siglos después, el francés Fizeau empleó este método con éxito, sustituyendo al segundo observador con un espejo y dotando al primero con

una rueda dentada por la que pasaba la luz de ida y de vuelta. Al ir aumentando la velocidad de la rueda, había un momento en que la luz que pasaba entre dos dientes, al regresar chocaba con el diente próximo.

Willebrord Snell (1591-1626). Físico holandés. Descubrió la ley de la refracción de la luz. En un triángulo rectángulo, o sea el que tiene un ángulo recto, el seno de uno de los ángulos agudos es el cociente que resulta de dividir el cateto opuesto al ángulo, entre la hipotenusa.

Cuando la luz pasa de un medio a otro, por ejemplo del aire al vidrio o al agua, se dice que refracta. Se llama ángulo de incidencia al formado por el rayo incidente con la normal a la superficie de separación entre los dos medios y ángulo de refracción al formado entre el rayo refractado y la normal.

La ley de Snell nos dice que para dos medios dados, el seno del ángulo de incidencia, entre el seno del ángulo de refracción, es una constante, y que el rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en un mismo plano.

Esta ley es fundamental para diseñar lentes y aparatos ópticos.

Un rayo luminoso al atravesar un vidrio de caras planas y paralelas después de refractarse dos veces sale paralelo al rayo incidente (Figura 22).

Descartes también descubrió esta ley, pero publicó sus resultados después de Snell.

Marcelo Malpighi (1628-1694). Fisiólogo italiano. Como una consecuencia del invento del telescopio por Galileo, Malpighi consideró que podía diseñarse una combinación de lentes que aumentara el tamaño de los objetos pequeños. Así llegó a inventar el microscopio y la microscopía que se desarrollaron ampliamente a mediados del siglo XVII.

En 1650 estudió el tejido de los pulmones de las ranas y mostró que la sangre fluye a través de un complejo sistema de vasos y conductos donde la sangre se oxigena.

Malpighi y sus seguidores mostraron que el mundo de lo infinitesimal es tan importante como el mundo macroscópico o la astronomía.

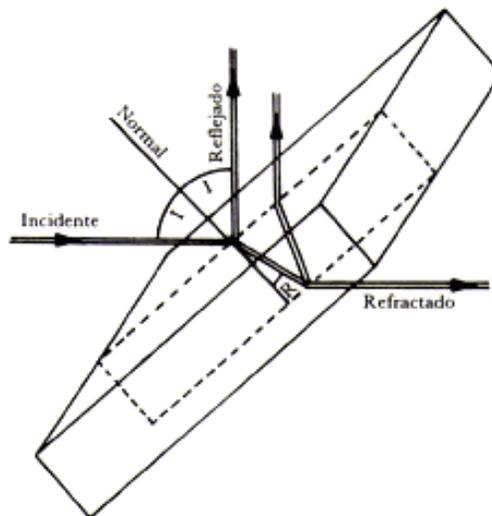


Figura 22. Reflexión y refracción de un rayo luminoso al atravesar un vidrio plano de caras paralelas, de acuerdo con la ley de Snell.

Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). Perfeccionó el microscopio y fue el primero en describir los espermatozoides. En 1667 descubrió los primeros animales unicelulares llamados protozoarios y en 1683 describe a las bacterias. Encontró que las moscas tienen pequeños parásitos.

En su vida talló 419 lentes que empleó en los microscopios que construyó. Sus microscopios tuvieron amplificaciones hasta de doscientos y su construcción fue simple, consistía en una sola lente muy pequeña, del tamaño de una cabeza de alfiler, tallada con gran perfección. Por ella Leeuwenhoek observó lo que ningún otro hombre en su tiempo pudo ver.

EL DESARROLLO DE LA ÓPTICA MODERNA

Cristián Huygens perfeccionó el telescopio y así descubrió nuevas maravillas en el firmamento. La gran nebulosa de Orión, anillos de Saturno y un satélite de este planeta, al que Huygens llamó Titán. Fue el primero que estimó la enorme distancia a que se encuentran las estrellas. Calculó la distancia a la que debería llevarse al Sol para que se viera con el brillo de la estrella Sirio, y a esa distancia supuso que se encontraba esa estrella. En realidad, Sirio es mucho mayor y más brillante que el Sol, por lo que la distancia estimada para Sirio resultó veinte veces menor que la real.

La primera teoría sobre la naturaleza de la luz la formuló Huygens, al suponer que era un fenómeno ondulatorio, similar al de las ondas sonoras o las ondas en el agua, explicando las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz, al suponer que la luz viaja con menor velocidad en el agua o en el vidrio que en el vacío o en el aire. Esta teoría, con ciertos cambios, es válida hasta la fecha.

Issac Newton impulsó notablemente la óptica. Ingresó a la Royal Society en 1672 por haber ideado un nuevo telescopio de reflexión que empleaba como elemento fundamental un espejo esférico cóncavo de menos de tres centímetros de diámetro y quince centímetros de distancia focal que amplificaba treinta veces (Figura 23). En la cuarta edición de su libro *Opticks*, menciona uno de quince centímetros de diámetro y casi dos metros de distancia focal, con amplificación hasta de 300 veces, dependiendo del ocular usado. Newton encontró que al pasar la luz solar por un prisma, ésta se descomponía en los colores del arco iris, o sea que la luz blanca era una mezcla de colores. Las lentes empleadas en los telescopios de Galileo y Huygens se comportan como prismas y descomponen la luz en diversos colores, produciendo imágenes defectuosas. Esto se corrige en los telescopios de reflexión y por eso los grandes telescopios modernos (como los de San Pedro Mártir, en Baja California Norte, y el de Cananea, México) son de reflexión (Figura 24). Newton creía que no se podían corregir los defectos cromáticos de las lentes. De acuerdo con la ley de la refracción, al pasar un rayo de luz blanca del aire al vidrio se quiebra, alejándose de la normal a la superficie de separación. Al refractarse, la luz se descompone en los colores del arco iris, o sea que no se quiebra igual el rojo que el violeta. Newton no consideró que existen muchos tipos de vidrios y que cada uno de ellos descompone la luz blanca en forma diferente.

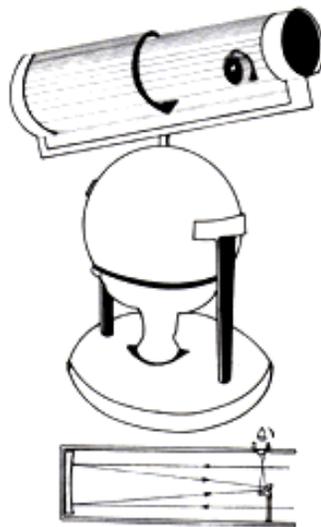


Figura 23. Esquema de uno de los telescopios construidos por Newton



Figura 24. (a) Maquinado del espejo de dos metros de diámetro en el Instituto de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Puebla, México, para el telescopio de Cananea



(b) Telescopio con espejo de dos metros de diámetro de San Pedro Mártir, Baja California Norte.

Treinta años después de la muerte de Newton, John Dollond demostró que empleando combinaciones de lentes de diferentes tipos de vidrios se podía reducir notablemente la aberración cromática (Figura 25). Actualmente, todos los lentes de las cámaras fotográficas, microscopios, telescopios de refracción y en general de todos los instrumentos ópticos, se construyen con corrección cromática.

Lentes cóncavas y convexas

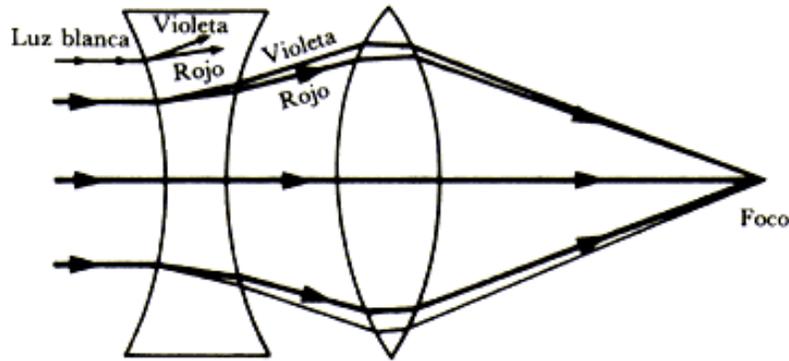


Figura 25. Corrección cromática lograda empleando dos o más lentes de diferentes tipos de vidrio.

En oposición a la teoría ondulatoria de la luz de Huygens, Newton desarrolló la teoría corpuscular, según la cual los objetos luminosos emiten partículas o corpúsculos luminosos. La razón que daba era que la luz viaja en línea recta, como lo demuestra el hecho de que un objeto iluminado produce sombras. Las ondas sonoras, en cambio, dan vuelta alrededor de los obstáculos que encuentran, de manera que uno puede oír un ruido que se produce a la vuelta de una esquina. Grimaldi, Young y Fresnell encontraron que la luz sí se desvía un poco alrededor de los obstáculos que encuentra, lo que es difícil de explicar en una teoría corpuscular.

Para explicar la ley de la refracción de la luz, Newton necesitaba que la luz se propagara más aprisa en el agua que en el aire, que era lo opuesto a lo que necesitaba la teoría ondulatoria de Huygens. Se tuvo que esperar dos siglos para que el francés Foucault midiera la velocidad de la luz en el agua y le diera la razón a la teoría ondulatoria de Huygens.

Olaus Roemer (1644-1710). Astrónomo danés. Fue la primera persona que midió la velocidad de la luz.

Galileo al descubrir los satélites de Júpiter observó que éstos se movían con precisión cronométrica, tanto que él trató de usarlos como un reloj de precisión que pudieran usar los marinos para determinar en altamar su posición geográfica.

Al girar en sus órbitas, los satélites son eclipsados por Júpiter y vuelven a aparecer.

Roemer observó con gran sorpresa que cuando la Tierra, al moverse en su órbita, se iba acercando a Júpiter, los eclipses llegaban progresivamente antes de lo esperado y cuando se iba alejando, los eclipses se retrasaban. La explicación de Roemer fue que cuando la Tierra y Júpiter se encuentran lejos, la luz que emiten sus satélites tarda más en llegar que cuando están cerca. De estas medidas obtuvo Roemer la velocidad con que se propaga la luz en el espacio.

Anteriormente hablamos de cómo Galileo y su ayudante trataron de medir la velocidad de la luz lanzándose señales luminosas desde dos colinas próximas y fallaron en su intento. Roemer encontró la manera de observar señales luminosas que le eran enviadas en tiempos precisos a través de una enorme distancia como es el diámetro de la órbita de la Tierra. Las "dos colinas" empleadas por Roemer le permitieron encontrar que la luz se propaga con una velocidad de 227 000 kilómetros por segundo. Las modernas determinaciones nos dan un valor de 299 792 kilómetros por segundo, pero la medida de Roemer no fue tan mala para ser la primera.

Roemer expuso su descubrimiento en 1676 en una reunión de la Academia de Ciencias de París. En 1681 fue nombrado astrónomo real del rey Christian V de Dinamarca.

Tomas Young (1773-1829). Físico inglés. Después de los trabajos de Huygens y Newton, el avance de la óptica fue insignificante durante más de un siglo. El gran prestigio de Newton hizo que la teoría corpuscular fuera la que contara con una mayor aceptación entre los físicos de esa época y que la teoría ondulatoria de Huygens se le diera menos importancia.

El mejor argumento en contra de la teoría ondulatoria era que la luz producía o luz o sombra y que por lo tanto no era como las ondas sonoras que daban vuelta alrededor de los obstáculos que encontraba, o sea que se comportaba como un haz de partículas.

Un físico italiano, Francisco Grimaldi (1618-1663), haciendo pasar un haz luminoso por dos pequeños orificios, uno después de otro, había encontrado que la luz se desviaba un poco, produciendo una serie de anillos y colores. A este fenómeno lo llamó difracción de la luz. Estos estudios tuvieron poca resonancia en su tiempo, mas ciento cincuenta años después los trabajos de Young, Arago y Fresnell, hicieron ver la importancia de este descubrimiento.

A Young le interesaba el estudio del sonido y había observado que cuando un sonido de cierta frecuencia o tono pasaba por dos orificios, a veces se reforzaba y a veces casi no se escuchaba. Esto lo explicaba haciendo ver que las ondas sonoras que provenían de los orificios en ciertos lugares se reforzaban y en otros se anulaban, o sea que tenían interferencias constructivas y destructivas. Este fenómeno puede verse materialmente si se realiza con ondas de agua en un tanque.

Lo importante fue que Young lo realizó con ondas luminosas. Hizo pasar la luz a través de dos pequeños orificios y observó en una pantalla franjas alternadas de luz y de sombra, como en el caso de las ondas sonoras o las ondas de agua. Estos estudios no fueron bien vistos por los científicos ingleses porque estaban en contra de la teoría corpuscular de Newton, y correspondió a los franceses Fresnell y Arago desarrollar la teoría ondulatoria de la luz.

Agustín Juan Fresnell (1788-1827). Físico e ingeniero francés. Gran parte de su vida trabajó como ingeniero de caminos en Francia. Por oponerse al regreso de Napoleón de la isla de Elba perdió su empleo y, durante los cien días que duró su despido, se interesó por la óptica y la desarrolló en forma notable, construyendo la estructura matemática completa de la teoría ondulatoria de la luz.

Fresnell fue para la óptica lo que Newton para la mecánica, claro que hubo otros gigantes que lo precedieron, como Huygens, que inició y construyó las bases de esta teoría siglo y medio antes, así como Grimaldi y Young que observaron la difracción y la interferencia de la luz. Huygens supuso que las ondas luminosas eran longitudinales, como las sonoras en el aire, en cambio Fresnell supuso a las ondas transversales, es decir que las vibraciones eran perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Existía un fenómeno que no podía explicarse ni por la teoría corpuscular ni por la teoría ondulatoria con vibraciones longitudinales y era que si se miraba un escrito a través de un cristal de espato de Islandia (calcita), las letras se veían dobles.

Como las vibraciones transversales pueden darse en diferentes direcciones o planos, la luz al pasar del aire al espato de Islandia puede ser refractada en dos ángulos diferentes, porque uno de los rayos puede consistir en ondas que oscilan en un plano (luz polarizada) y el otro rayo en ondas que oscilan en un plano perpendicular al primero. La luz polarizada tiene grandes aplicaciones en la actualidad y fue empleada con gran éxito por Pasteur en sus estudios de química orgánica.

En 1815 presentó los resultados de sus investigaciones a la Academia de Ciencias de París y encontró fuerte oposición por parte de los grandes científicos: Laplace, Biot y Poisson. Poisson objetó que si esa teoría fuera cierta, la sombra de un disco debería tener un punto brillante en el centro, lo que consideraba absurdo. Los experimentos demostraron que no tenía nada de absurdo y que Fresnell tenía razón. En 1818 se le otorgó un premio de la Academia de Ciencias y los jueces que votaron en su favor en forma unánime fueron los que antes lo criticaron: Laplace, Biot y Poisson.

Fresnell diseñó las lentes que llevan su nombre que se usan en los faros y que son más eficientes que los

espejos esféricos.

La mayor dificultad de la teoría ondulatoria de la luz fue encontrar el medio en que se realizaban las Vibraciones. Las ondas sonoras se propagan en el aire o en los líquidos o sólidos. Los partidarios de la teoría ondulatoria postularon la existencia del éter, que llenaba todo el espacio incluyendo la zona interplanetaria donde existe prácticamente un vacío absoluto. Las vibraciones del éter producían las ondas luminosas. Sólo los sólidos pueden transmitir ondas transversales, por lo que el éter, que llenaba todo, debía tener propiedades elásticas difíciles de entender y aceptar. La eliminación del éter tuvo que esperar al desarrollo de la teoría electromagnética de la luz de Maxwell y de la teoría de la relatividad de Einstein.

En las *Mémoires de L'Academie Royale des Sciences de L'Institut de France*, volumen V, 1826, Fresnell dice:

Grimaldi fue el primero en observar el efecto que un rayo de luz produce en otro rayo. Recientemente el distinguido doctor Tomás Young lo ha demostrado por medio de un sencillo e ingenioso experimento en el que se producen franjas luminosas por el encuentro de rayos deflectados en dos lados de un objeto opaco.

Bandas luminosas más finas y brillantes pueden obtenerse cortando dos rendijas paralelas y próximas, en un cartón u hoja de metal y colocando la pantalla así preparada enfrente de un punto luminoso. Nosotros podemos observar por medio de una lupa colocada entre el cuerpo opaco y el ojo, que la sombra está llena de un gran número de brillantes franjas de colores por tanto tiempo como la luz ilumina a ambas rendijas simultáneamente, pero que desaparece cuando la luz se elimina de una de las rendijas.

Si permitimos que dos rayos de luz de la misma fuente luminosa se reúnan bajo un ángulo pequeño, al ser reflejados por dos espejos metálicos obtendremos también bandas similares con colores más puros y brillantes que antes.

En tiempos de Fresnell se empleaban en los experimentos rayos solares que se llevaban al laboratorio por medio de espejos y se descomponían en rayos de colores por medio de prismas. Hoy en día, con los rayos láser (del inglés, *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) se dispone de haces de luz monocromática (de un color) de gran intensidad y casi paralelos. Actualmente se puede lanzar un rayo láser a una región de la Luna y observar la luz que se refleja a la Tierra.

Con un aparato que emite rayos láser podemos producir bellos anillos de interferencia de la luz (Figura 26). El rayo se hace pasar por un orificio hecho en un cartón, se refleja posteriormente en un espejo en el que se depositó polvo de grafito de un lápiz, para dispersar un poco el rayo láser. Al regresar el rayo y pasar nuevamente por el orificio produce el espectro de interferencia en el cartón. La luz del rayo que usamos es de un rojo intenso, lo mismo que los anillos brillantes. El rayo láser se hizo más visible por medio de humo de cigarro.



Figura 26. Anillos de interferencia de la luz producidos al pasar un rayo láser (de ida y vuelta) por la superficie exterior de un espejo que tenía polvo de grafito para dispersar un poco el rayo.

José von Fraunhofer (1787-1826). Físico alemán. Estudió las diferentes propiedades ópticas de los vidrios, dependiendo de su proceso de fabricación. Fue el primero en usar rejillas de difracción (múltiples finos alambres paralelos colocados en un plano), que sustituyen a los prismas al descomponer la luz blanca en un espectro de colores. Desde ese tiempo se fabrican finas rejillas de difracción rayando placas de vidrio o metal con finos cortes de líneas paralelas.

Haciendo pasar la luz del Sol, primero por una rendija y después por un prisma, observó que el espectro solar está cruzado por numerosas líneas oscuras; él observó más de seiscientas.

De la misma forma observó que la luz de las estrellas tiene también líneas oscuras. Correspondió a Kirchhoff, medio siglo después, emplear estas líneas como un poderoso instrumento en las investigaciones físicas, químicas y astronómicas.

Armando Fizeau (1819-1896). Físico francés. Fue el primero en medir la velocidad de la luz en la Tierra empleando fundamentalmente el método ideado por Galileo pero altamente perfeccionado. Antes que él, Roemer y Bradley habían medido esta velocidad empleando cada uno métodos astronómicos diferentes.

En 1849, Fizeau colocó en una colina una rueda dentada que giraba rápidamente; en otra colina, separada unos ocho kilómetros, colocó un espejo e hizo pasar un haz de luz a través de los dientes del disco giratorio que se reflejó en el espejo y regresó a la rueda dentada después de recorrer diez y seis kilómetros. Si se va aumentando la velocidad de la rueda dentada, habrá un momento en que no se vea la luz reflejada porque un diente lo impedirá. La velocidad de la luz se encontró dividiendo la distancia recorrida (diez y seis kilómetros) entre el tiempo empleado por un diente de la rueda en ocupar el hueco próximo. El valor hallado fue un cinco por ciento mayor al que ahora se considera como más preciso (Figura 27).

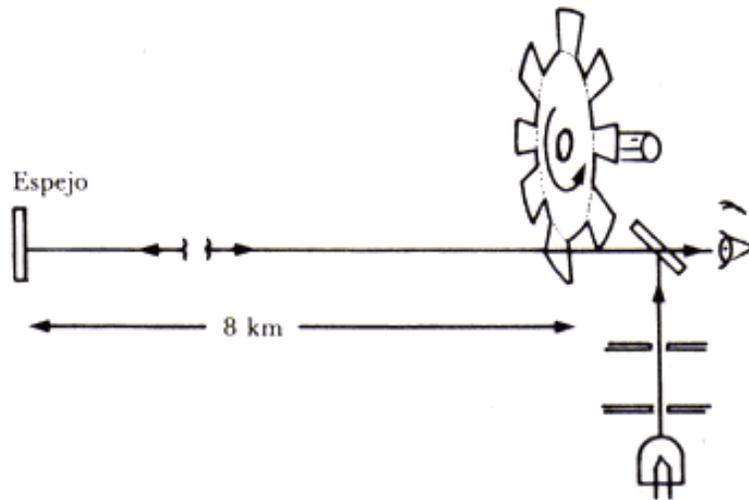
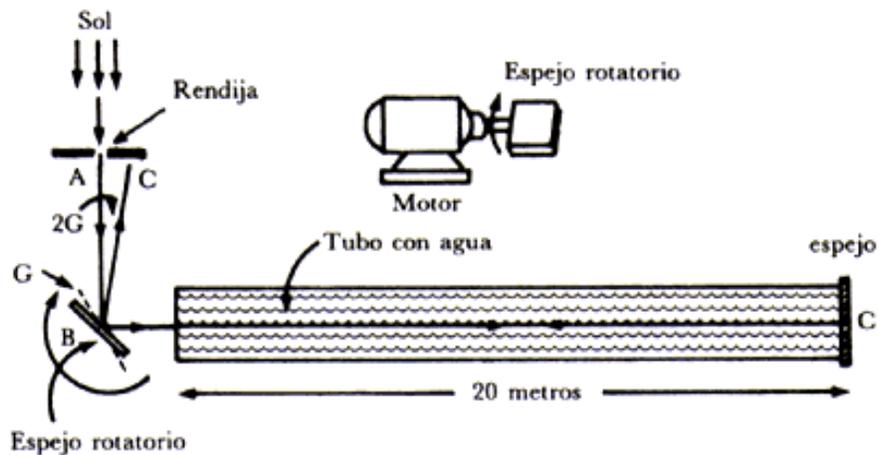


Figura 27. (a) Método de Fizeau para determinar la velocidad de la luz, empleando una rueda dentada que giraba a gran velocidad



(b) Método de Foucault para determinar la velocidad de la luz en el aire y en el agua, empleando un espejo que giraba a gran velocidad mientras que la luz va y viene del tubo, el espejo rotatorio gira en ángulo G y el rayo B a C forma un ángulo $2G$, con la dirección del rayo inicial.

En el caso de las ondas sonoras, a cada tono corresponde una frecuencia (número de oscilaciones cada segundo). A un tono agudo, una frecuencia alta y a un tono grave, una baja.

Doppler observó (1842) que el silbato de un tren tenía un tono más agudo (mayor frecuencia) cuando se acercaba, que cuando se alejaba. En la actualidad, con tantos automóviles tocando sus bocinas al acercarse y alejarse de nosotros, todos hemos observado este fenómeno.

Teniendo en cuenta que la luz es, como el sonido, un fenómeno ondulatorio, a cada color le corresponde una frecuencia. Al rojo una frecuencia menor, al violeta mayor y frecuencias intermedias a los colores intermedios el arco iris.

Fraunhofer había encontrado que la luz del Sol y las estrellas al observarse a través de una rendija y un prisma (espectroscopio) tenían una serie de líneas oscuras y que a cada una correspondía una frecuencia definida.

Fizeau hizo ver que el efecto Doppler también debería producirse con las ondas luminosas y que si una estrella se aleja de nosotros la posición de las líneas del espectro debía de moverse hacia el rojo (disminuyendo su frecuencia) y al acercarse, correrse hacia el violeta. Este efecto ha sido una arma poderosa para estudiar el Universo que nos rodea.

Juan Bernardo Foucault (1819-1868). Físico francés. Colaboró con Fizeau en la determinación de la velocidad de la luz, por medio de la rueda dentada, y poco tiempo después desarrolló su propio método.

Foucault sustituyó la rueda dentada por un espejo rotatorio. Se envía un haz luminoso al espejo rotatorio y durante un corto instante, cuando tiene una posición adecuada, la luz reflejada se dirige al espejo fijo que la regresa nuevamente al espejo rotatorio. Al llegar nuevamente al espejo rotatorio, éste habrá girado un cierto ángulo y se reflejará en una dirección diferente a la dirección en que se inició el experimento. Con estas medidas, Foucault midió la velocidad de la luz casi con el valor que se considera como el más exacto. Además, con este método no se requiere que el espejo fijo se encuentre muy lejos del espejo rotatorio y así pudo determinar la velocidad con que la luz se propaga en el agua.

De acuerdo con la teoría ondulatoria de la luz, ésta debe propagarse más lentamente en el agua que en el aire, y de acuerdo con la teoría corpuscular, al contrario. Foucault encontró que la teoría ondulatoria era la correcta.

Foucault se hizo famoso por haber ideado el péndulo que lleva su nombre y con él demostró que la Tierra gira alrededor de su eje (véase el capítulo sobre mecánica).

Gustavo Roberto Kirchhoff (1824-1887). Físico alemán. Observó que al colocar una sal o mineral en una flama intensa, la sustancia emite luz que, al ser analizada con un espectroscopio (una rendija, un prisma y un antejo), producía un espectro formado por numerosas líneas de colores. De esta experiencia dedujo que cada elemento químico, cuando se le calienta hasta hacerlo incandescente, emite un espectro de líneas de colores característico. Esto es que si un experto mira esa combinación de líneas puede decir de inmediato de qué elemento se trata (como si estuviera leyendo oro, plata, sodio, etc.), como si viera la huella digital o firma del elemento (Figura 28). Notó que los vapores de sodio producidos al quemar sal común (cloruro de sodio) en una flama intensa, producen una línea muy notable por ser doble, amarilla y muy intensa. Al observar la luz solar vio que esa misma raya doble existía en la región amarilla del espectro, pero como línea oscura. Ésta ya había sido observada por Fraunhofer, quien la llamó línea D.

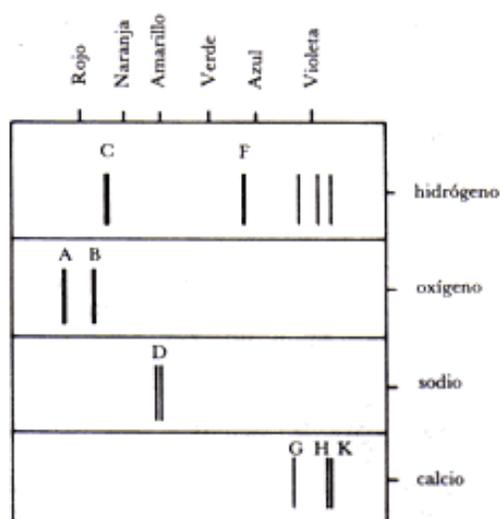


Figura 28. Espectros ópticos de varios elementos que empleó Kirchhoff para determinar los elementos que contenían el Sol y las estrellas a las líneas más notables, entre ellas la característica línea D del sodio.

La explicación de Kirchhoff para explicar las líneas oscuras, que confirmó con experimentos, fue que al

pasar la luz por el vapor de un elemento, éste absorbe intensamente los colores característicos de las líneas espectrales que emite. Así, del espectro continuo que el Sol emite como cuerpo incandescente, al pasar por la atmósfera solar formada por vapores de diversos elementos, se absorben los colores característicos de dichos elementos, produciéndose las rayas oscuras.

El método desarrollado por Kirchhoff es una de las armas más poderosas que existen actualmente para averiguar los elementos que contiene cualquier sustancia, tanto en la Tierra como en las estrellas y otros objetos de Universo.

Con su método destruyó la afirmación categórica de Augusto Comte, quien pocos años antes había dicho que la constitución de las estrellas era un ejemplo de la clase de información que la ciencia era incapaz de obtener.

El banquero de Kirchhoff, al conocer este trabajo, comentó: "De que nos sirve saber que en el Sol hay oro, si no lo podemos traer a la Tierra." Cuando Kirchhoff fue premiado por su trabajo con cierta cantidad de monedas de oro, se las enseñó a su banquero y le dijo: "Éste es oro del Sol."

El método de Kirchhoff permitió encontrar nuevos elementos tanto en el Sol como en la Tierra. Por ejemplo, el gas helio (del griego hélios, Sol) fue descubierto en 1868 en la atmósfera solar. El cesio, el rubidio y el indio, fueron descubiertos en minerales terrestres.

La fotografía y la cinematografía

Orígenes Al principio de este capítulo vimos como Alhazen inventó la cámara oscura. Este aparato fue ideado para observar los eclipses de Sol sin dañarse la vista, pero es la parte esencial de la cámara fotográfica o cinematográfica moderna.

Antes que Alhazen, los toltecas, en la antigua ciudad de Xochicalco, México, construyeron una cámara oscura colocando una piedra con orificio circular en lo alto de una caverna. La imagen del Sol y de la Luna, así como su movimiento diurno, podía observarse en el piso de la cámara (Figura 29).

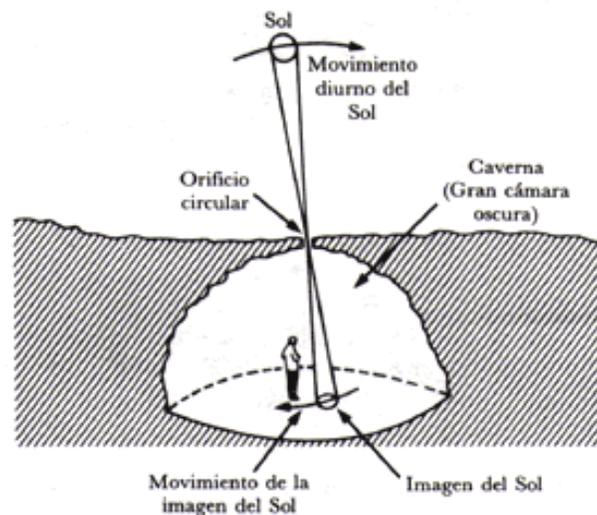


Figura 29. La primera cámara del mundo fue construida en Xochicalco, México, para hacer investigaciones astronómicas.

La cámara oscura evolucionó cuando Girolamo Cardano (1501-1576) colocó una lente en el orificio. En 1558, el pintor Battista della Porta recomendaba su uso para obtener perspectivas perfectas.

La cámara oscura llegó a la perfección con Juan Zahn, quien en 1685 construyó una cámara portátil réflex, muy parecida a las cámaras fotográficas actuales, en la que la luz, después de atravesar la lente, se

reflejaba en un espejo plano y la imagen se formaba sobre un vidrio despolido. Lo único que faltaba era la placa fotográfica.

José Nicéphore Niépce (1765-1833). Inventor francés. Fue el primero en producir una fotografía permanente (1826). El método consistió en colocar sobre una placa metálica una capa de asfalto o betún de Judea, disuelto en petróleo blanco. Después de exponerlo en la cámara oscura, se produjo una imagen latente que fue revelada lavando la placa con una mezcla de aceite de lavanda y petróleo, que disolvieron la parte del betún que no había sido endurecida por la exposición a la luz.

Este proceso, que Niépce llamó heliografía, requería de largas exposiciones para endurecer el betún. Inventó la cámara de fuelle y el diafragma variable de las lentes. Asimismo se asoció con Daguerre para perfeccionar la fotografía.

Luis Daguerre (1789-1851). Inventor francés. Desarrolló notablemente la fotografía, primero asociado con Niépce y después independientemente.

El método de Daguerre consistía en platear una placa de cobre pulido y exponerla a vapores de yodo que producían, al reaccionar con la placa, pequeños cristales de yoduro de plata en la superficie. Esto se hacía en la oscuridad.

Después de exponer la placa en la cámara fotográfica, la imagen latente se revelaba exponiéndola a los vapores que producía el mercurio al calentarlo a 60 grados. Los vapores de mercurio formaban pequeñas gotitas en las regiones expuestas a la luz en las partes claras de la fotografía. De las partes no expuestas (oscuras) se eliminaban los cristales de yoduro de plata por medio de un fijador, el hiposulfito de sodio.

La evolución de la cámara oscura hasta la cámara fotográfica de Daguerre se muestra en la figura 30.

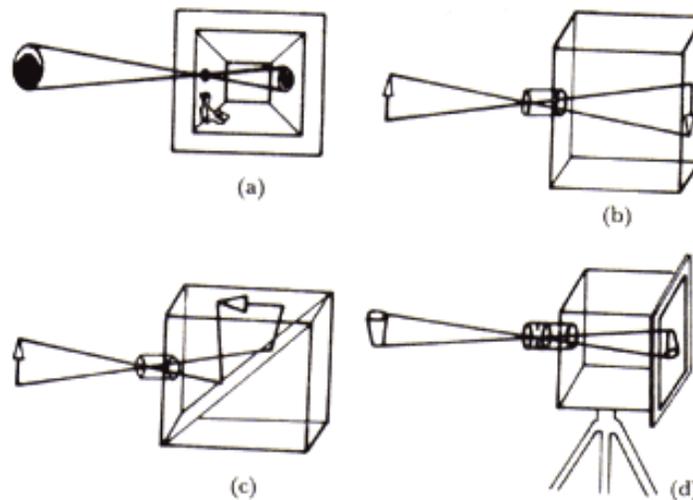


Figura 30. (a) Cámara oscura de Alhazen para observar eclipses de Sol.

(b) Cámara oscura de Cardano con una lente biconvexa.

(c) Cámara oscura réflex de Juan Zahn.

(d) Cámara fotográfica de Daguerre con lente, diafragma y placa fotográfica.

El equipo oficial de daguerrotipo, firmado por Daguerre y fabricado exclusivamente por Giroux, pesaba más de 50 kilogramos y tenía, entre otras cosas, una cámara fotográfica de madera, una caja de placas, una cámara de yodización, una cámara de vapores de mercurio, polvos de pulir, botellas con productos químicos. El lente de la cámara era fabricado por Chevalier, con distancia focal de 38 cm y apertura de f/14.

Catherwood trajo un equipo de estos a México para tomar fotografías de los templos y monumentos mayas y que le sirvieron para publicar en 1844 su bello libro *Views of Ancient Monuments in Central America, Chiapas and Yucatan*, editado en Nueva York.

Este tipo de cámara fue perfeccionado y se le añadieron mejores lentes. En 1840, Voigtlander, en Alemania, produjo una lente con distancia focal de 15 centímetros y f/3.6, que era 30 veces más luminosa que la que empleó inicialmente Daguerre. Esta lente permitió reducir notablemente el tiempo de exposición y fue empleada para retratar seres vivos.

Evolución de la fotografía

Muchas personas desarrollaron la fotografía. Talbot en Inglaterra empleó papel (en vez del cobre), con una capa de cloruro de plata, obteniendo negativos de los que se podían obtener varios positivos.

En Francia, Le Gray perfeccionó la fotografía sobre papel con la invención del proceso del papel encerado. Las grandes ventajas eran que el papel podía prepararse varias semanas antes de su uso y que podían revelarse varias semanas después, por lo que era ideal para tomar fotografías durante un viaje, pues lo único que se transportaba era la cámara y el tripié. El grano de la fotografía era fino.

Notables mejoras se produjeron al emplear negativos de vidrio con emulsiones, primero de clara de huevo, después de colodión y por último de gelatina. En 1880, las placas fotográficas "secas" de vidrio simplificaron la fotografía y, de acuerdo con los fabricantes, cualquier persona se transforma en fotógrafo con sólo estudiar tres lecciones.

Otro cambio notable se produjo con el invento del celuloide por Alejandro Parkes en 1861 en Inglaterra, que permitió producir rollos de películas fotográficas.

En 1888 Jorge Eastman introdujo la cámara fotográfica Kodak de cajón con el lema: "Usted aprieta el botón, nosotros hacemos el resto."

En 1889, Karl Zeiss inició la producción de lentes de alta calidad en Alemania, llegando a ser la productora de las cámaras fotográficas de mayor calidad.

Actualmente se producen en Japón pequeñas cámaras fotográficas de alta calidad que enfocan, dan la abertura de exposición y producen la iluminación necesaria, en forma automática, por medio de circuitos y sensores electrónicos.

El cinematógrafo

El desarrollo de la película fotográfica de celuloide permitió a Edison inventar, en 1889, el cinetoscopio, que consistía en pasar ante los ojos de un observador una cinta fotográfica iluminada por la cara opuesta y que se movía intermitentemente.

Augusto Lumière (1862-1954) y *Luis Lumière* (1864-1948). Inventores franceses. En 1894 perfeccionaron el cinematógrafo, tanto el aparato para producir películas, como el aparato proyector que permitía a un numeroso público ver las películas sobre una pantalla. Desarrollaron, además, la fotografía en colores.

El cine sonoro, en el que se acopló un disco sonoro con una cinta cinematográfica, fue posible con el descubrimiento, por el norteamericano Lee de Forest (1923), del tubo electrónico, que permitió aumentar a

voluntad la intensidad del sonido de los discos fonográficos.

2. LA ELECTRICIDAD Y EL MAGNETISMO

Sus orígenes

Los griegos sabían que al frotar el ámbar, éste atraía pequeños cuerpos ligeros. El ámbar se llama en griego "electrón" y de ahí deriva el nombre de *electricidad*.

Respecto al *magnetismo*, Epicuro en su libro *De la naturaleza de las cosas* dice:

De las cosas que quedan voy a explicar ahora por qué ley natural sucede que pueda atraer al hierro esa piedra, a la que los griegos llaman magneto porque su sitio de origen está en los límites patrios de la Magnesia.

De esa piedra tienen admiración los hombres porque, con los pequeños anillos que suspenden de sí, muchas veces simula ser una cadena. Hasta cinco y más anillos cabe mirar en ocasiones, puestos uno tras otro balancearse al aire ligero: cada uno depende de otro al cual se encuentra por debajo adherido y, de uno a otro, se van pasando la fuerza y atracción de la piedra.

Su desarrollo como una ciencia

Actualmente la electricidad y el magnetismo forman un sólo capítulo de la física, que permaneció en estado primitivo hasta 1785 en que Coulomb descubrió la ley que lleva su nombre. A partir de esa fecha, los descubrimientos en el campo de la electricidad se multiplican y producen una gran revolución tecnológica en el mundo. Las comunicaciones terrestres, marítimas y aéreas, requieren el empleo de motores y generadores eléctricos. Las comunicaciones eléctricas, como el teléfono, el radio y la televisión, son elementos indispensables de la vida moderna. El trabajo en las fábricas y en el campo requiere del empleo de la energía eléctrica.

Carlos Agustín Coulomb (1736-1806). Físico francés. Encontró que las cargas eléctricas se atraen o se repelen con una fuerza que es proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia, o sea que al alejarse dos cargas eléctricas la fuerza disminuye con el cuadrado de la distancia. Dos cargas de signos contrarios se atraen y de signos iguales (las dos de carga positiva o negativa) se repelen. Esta ley es matemáticamente similar a la ley de la gravitación de Newton excepto que las masas sólo se atraen, o sea que no hay masas positivas y negativas.

Para comprobar la ley que lleva su nombre, Coulomb inventó la balanza de torsión. Coulomb escribe:

En una *Memoria* presentada a la Academia he determinado mediante experimentos las leyes de las fuerzas de torsión de un alambre metálico y he encontrado que esa fuerza es igual al producto del ángulo de torsión, de la cuarta potencia del diámetro del alambre suspendido y de la inversa de su longitud, todo multiplicado por un coeficiente constante, que depende de la naturaleza del metal y que es fácil de determinar experimentalmente.

He demostrado en la misma *Memoria* que, mediante el uso de esa fuerza de torsión, es posible medir con precisión fuerzas muy pequeñas, como, por ejemplo, un diezmilésimo de grano.

Someto hoy a la Academia una balanza eléctrica construida sobre este mismo principio; mide exactamente el estado y la fuerza eléctrica en un cuerpo, por más débilmente cargado que éste se halle.

Teniendo en cuenta que un grano es equivalente a 0.06 gramos, este tipo de balanza fue durante más de un siglo el instrumento de mayor precisión para medir fuerzas y fue empleado posteriormente por Cavendish para comprobar la ley de la gravitación de Newton.

Luis Galvani (1787-1798). Anatomista italiano. En sus estudios sobre ranas muertas encontró que una

descarga eléctrica produce contracciones en los músculos de los animales. También, que al tocar los extremos del músculo con dos metales diferentes unidos en un extremo se producía la misma contracción. Aunque no pudo explicar satisfactoriamente este fenómeno, sirvió para que Volta lo explicara y desarrollara las pilas o baterías eléctricas con las cuales se produce corriente eléctrica.

A sugerencia de Ampère, el aparato que mide corrientes eléctricas se llama galvanómetro y de ahí se deriva la palabra galvanizar que significa que por medios eléctricos se ha depositado una capa de metal (generalmente cinc) para evitar que se oxide.

Alejandro Volta (1745-1827). Físico italiano. Descubrió el electróforo que consiste en dos discos metálicos; uno cubierto con un material aislante y otro con un maneral aislado. Por frotamiento se carga de electricidad el material aislante y de ahí se pudo obtener una carga eléctrica en el disco móvil (con el maneral) las veces que uno la necesite. En 1799 fue nombrado profesor de la Universidad de Pavia, donde inventó las baterías o pilas eléctricas que revolucionaron el estudio de la electricidad y cambiaron al mundo.

En ese tiempo, los experimentos de Galvani dividieron a los científicos en dos grupos: los que con Galvani y Humboldt pensaban que cuando con dos metales diferentes y unidos en un extremo se tocaban los músculos de una rana, se producía una corriente eléctrica que salía de los músculos; y otro, con Volta y Coulomb, que aseguraba que la corriente se generaba en los metales.

Para probarlo, Volta construyó pilas o baterías empleando metales diferentes que produjeron corriente eléctrica sin la necesidad de emplear, como hasta entonces, músculos de rana.

En 1800, en un recipiente que contenía una solución salina, introdujo dos placas de metal, una de cobre y otra de cinc, y al conectarlas con un alambre, por ellas pasó una corriente eléctrica que lo calentó. Volta conectó varios de estos dispositivos en serie (uno a continuación de otro), con lo que obtuvo mayor corriente, y de ahí deriva el nombre de batería.

Para hacer más compactas las baterías, Volta empleó pequeños discos alternados de cobre y cinc, separados por cartones empapados en la solución salina. El primer disco fue de cobre, correspondiendo al polo positivo de la pila y el último de cinc que era el negativo. Al conectar un alambre entre los polos se producía una corriente eléctrica.

La invención de la batería dio a Volta gran fama. Fue llamado a Francia por Napoleón, quién lo hizo conde y miembro de la Legión de Honor.

Al comprar una batería debemos indicar su voltaje, o sea que la fuerza electromotriz (la que mueve las cargas dentro del alambre) se mide en volts en honor a Volta.

El poder disponer de un voltaje capaz de producir corrientes eléctricas produjo una gran revolución tecnológica en la física y en la química. Permitió a Ohm, Ampère y Faraday desarrollar las leyes que llevan sus nombres, y a Nicholson descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno al introducir en un recipiente con agua, dos alambres conectados a una pila. En el alambre positivo se produjeron burbujas de gas oxígeno y en el negativo de hidrógeno.

Actualmente, muchos elementos y sustancias pueden obtenerse por este método (electrólisis).

Andrés María Ampère (1775-1836). Físico y matemático francés. Siendo profesor de matemáticas en París en 1820 supo que el danés Oersted había encontrado que una corriente eléctrica desviaba a la aguja de una brújula, relacionando por primera vez a la electricidad con el magnetismo. Ampère se puso a trabajar activamente en este campo y en pocas semanas comenzó a publicar una serie de artículos que desarrollaron notablemente la electricidad.

Encontró que si por dos alambres paralelos circulan corrientes eléctricas en la misma dirección, los

alambres se atraen y si circulan en direcciones opuestas, se repelen (Figura 31).

La explicación de Ampère era que al pasar una corriente eléctrica por uno de los conductores producía un campo magnético sobre el otro conductor. Y que cuando un conductor esté sometido a un campo magnético externo y circule por él una corriente eléctrica, obrará sobre el conductor una fuerza.

Ampère encontró la fórmula que nos da el valor de la fuerza, la llamada ley de Ampère, en la que se basa el funcionamiento de los motores eléctricos, actualmente indispensables en las comunicaciones, la industria y el hogar.

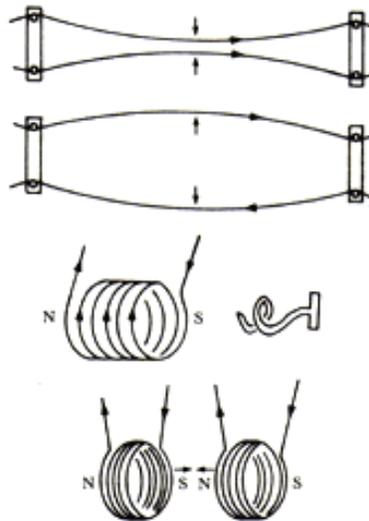


Figura 31. La ley de Ampère nos dice que dos alambres paralelos por los que circule corriente eléctrica en la misma dirección se atraen y, si se mueve en direcciones opuestas, se rechazan.

Es la base del funcionamiento de los modelos eléctricos.

Por medio de la ley de Ampère se puede encontrar en todo punto del espacio el campo magnético producido por una corriente eléctrica que circule por un alambre de cualquier forma.

Para Ampère, todo campo magnético es producido por corrientes eléctricas. Los imanes permanentes producen un campo magnético, por lo que cada porción del imán debe contener corrientes eléctricas.

En esto, Ampère se adelantó casi cien años a la moderna teoría atómica en la que cada átomo está formado por un núcleo positivo, rodeado por corrientes eléctricas de electrones planetarios.

Para Ampère, una bobina cilíndrica es equivalente a un imán cilíndrico. Si giramos un tirabuzón en el sentido de la corriente eléctrica, entrará por el polo sur y saldrá por el norte. Si tenemos dos bobinas como las que se muestran en la figura 31, en las que las corrientes van en el mismo sentido, quedará un polo norte en frente de un polo sur, y por ser polos opuestos se atraerán.

Al pasar una corriente eléctrica en la misma dirección por dos bobinas suspendidas, éstas se atraen y se juntan.

En su honor, la corriente eléctrica o sea la cantidad de electricidad que pasa por un alambre en cada segundo, se mide en amperes y los aparatos que miden la corriente eléctrica se llaman amperímetros.

Jorge Simón Ohm (1787-1854). Físico alemán. Estudió la corriente eléctrica que pasa por un alambre que se conecta a una pila de Volta. Encontró que la corriente aumenta proporcionalmente con el área de la sección del alambre y que disminuye (inversamente proporcional) con la longitud del alambre. O sea que los alambres presentan una "resistencia" al paso de la corriente eléctrica que dependen del material de que

está formado, que aumenta con la longitud del alambre y disminuye con el área de su sección.

La Ley de Ohm nos dice que la corriente que circula por un alambre es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a su resistencia eléctrica. En su honor, la unidad de resistencia eléctrica se mide en ohms.

Miguel Faraday (1791-1867). Físico y químico inglés. Se inició en la ciencia como ayudante del famoso químico Davy, quien al colocar los dos alambres que salen de una pila de Volta a un recipiente que contenía potasa fundida, observó que en uno de los alambres se depositó un elemento que Davy llamó potasio. Colocando en el recipiente soda fundida, también encontró el sodio.

Faraday estudió el fenómeno de la electrólisis; encontró sus leyes y le dio el nombre de electrolito al compuesto o sustancia que conduce la corriente eléctrica. A las barras que se introducen en la sustancia fundida o solución les dio el nombre de electrodos, llamando cátodo al negativo y ánodo al positivo. En su honor, una constante universal asociada al fenómeno de la electrólisis se llama la constante de Faraday.

Como hemos visto, Coulomb encontró cómo son las fuerzas entre las cargas eléctricas; Volta descubrió cómo producir corrientes eléctricas y voltajes por métodos químicos (las pilas o acumuladores eléctricos) y Ampère cómo son los campos magnéticos producidos por las corrientes eléctricas.

Faraday consideró que, si las corrientes eléctricas producen campos magnéticos, los campos magnéticos deberían poder producir corrientes eléctricas. Esto lo condujo a formular la ley de Faraday, su descubrimiento más importante.

Faraday enrolló un alambre de cobre en un sector de un anillo de hierro, y lo conectó a un interruptor y a una pila eléctrica. En otro sector enrolló otro alambre de cobre que conectó a un medidor de corriente eléctrica muy sensible, llamado galvanómetro. Observó que en el momento en que conectaba el interruptor en el primer circuito, una corriente eléctrica, transitoria, se producía en el otro circuito, esto es, que cuando un flujo magnético variable o transitorio atraviesa un circuito eléctrico (o bobina) se produce un voltaje que produce una corriente eléctrica en el circuito.

Encontró que aun quitando el hierro, la señal pasaba de un circuito a otro, lo que resultó ser la primera transmisión de una señal eléctrica en el espacio, tan común en nuestros días con el uso de la radio y la televisión.

Un flujo magnético variable se puede producir al mover un imán frente a un circuito (o al circuito frente al imán) y de acuerdo con la ley de Faraday se producirá un voltaje y una corriente eléctrica (Figura 32).

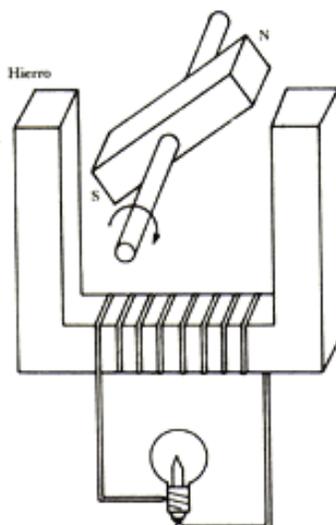


Figura 32. Método de Faraday para transformar trabajo mecánico en corriente eléctrica empleando un imán.

En esta ley se basa el funcionamiento de los dínamos de las bicicletas o alternadores de los coches, que transforman un movimiento mecánico en corriente eléctrica; igualmente es la base de la producción de electricidad en las grandes presas, instalaciones nucleares y plantas termoeléctricas.

Entre la multitud de descubrimientos de Faraday, podemos mencionar la construcción del primer motor eléctrico, empleando las fuerzas entre conductores que Ampère descubrió.

Su anillo de hierro con dos bobinas es lo que ahora se llama un transformador eléctrico, como el que vemos en postes o subestaciones eléctricas para cambiar los voltajes de las líneas.

En su honor y por las investigaciones que realizó con los condensadores o capacitores eléctricos (dispositivos que almacenan energía), la unidad de capacidad eléctrica se mide en faradios.

Jaime Clerk Maxwell (1831-1879). Físico y matemático escocés. Con su obra se alcanzó la culminación en los campos de la electricidad y el magnetismo. Al desarrollar su famosa teoría electromagnética hizo ver que la luz era un fenómeno electromagnético, por lo que la óptica pasó a formar parte de la electricidad.

Demostró que una carga eléctrica oscilante produce una radiación de energía que sale de la carga y que se propaga a la velocidad de 300 000 kilómetros en cada segundo, la velocidad de la luz.

A cada tono de una onda sonora se asocia una frecuencia de oscilación, y lo mismo a cada color de la luz. Puesto que la luz sólo cubre un pequeño intervalo de frecuencias, y una carga eléctrica puede oscilar a cualquier frecuencia, además de la luz debían existir otras radiaciones.

Cincuenta años antes ya habían sido descubiertas radiaciones no visibles, la luz infrarroja, por Herschel, y la luz ultravioleta, por Ritter. A Hertz correspondió comprobar la existencia de otras ondas predichas por Maxwell, más allá del infrarrojo, las ahora llamadas ondas hertzianas u ondas de radio.

Las implicaciones de la obra de Maxwell en el desarrollo tecnológico son enormes. Entre ellas podemos mencionar el desarrollo de la radio, la televisión, el teléfono inalámbrico, las comunicaciones de microondas y a través de satélites.

Desarrollos posteriores

Desarrolladas las bases de la electricidad y el electromagnetismo, se inició una era de invenciones e innovaciones.

Alejandro Bell inventa el teléfono en 1786, que constituyó la sensación en la exposición de Filadelfia de ese año.

Tomas Alva Edison, en 1876 funda en Menlo Park, Estados Unidos, el primer laboratorio de investigación industrial. Los trabajos que ahí realizó fueron notables y entre ellos destaca el fonógrafo y, en 1879, el foco de luz eléctrica. A éste le agregó un alambre próximo al filamento y observó que a través del vacío que los separaba, pasaba la corriente eléctrica.

José Juan Thomson, notable físico inglés, demostró la existencia del electrón en 1897. El electrón es una partícula de carga negativa, con una masa casi dos mil veces menor que la del átomo de hidrógeno (que es el más pequeño). Thomson demostró que los electrones son las partículas que emiten los filamentos calientes.

Nicola Tesla (nacido en Yugoslavia) desarrolló transformadores de alto voltaje que permitieron transportar la electricidad a distancia, con menores pérdidas. Con sus inventos, ayudó a George Westinghouse a fundar una compañía eléctrica empleando las cataratas del Niágara como fuente de energía. En su honor, la intensidad del campo magnético se mide en teslas.

Enrique Rodolfo Hertz, en Alemania (1888), produjo ondas electromagnéticas por medio de chispas eléctricas entre dos esferas cargadas y a distancia; pudo detectar las ondas electromagnéticas que Maxwell había predicho teóricamente.

Alejandro Popov, en Rusia (1897), inventó la antena y con ella pudo hacer transmisiones de ondas electromagnéticas a distancia. Transmitió señales entre un barco y tierra a cinco kilómetros de distancia.

Guillermo Marconi, en Italia, perfeccionó la transmisión de las ondas hertzianas y logró en 1901 transmitir señales electromagnéticas entre Inglaterra y Terranova.

Lee de Forest, en Estados Unidos (1906), inventa el bulbo o tubo electrónico llamado triodo, que consiste en un bulbo al vacío que contiene un filamento caliente, una rejilla y una placa colectora. Este invento, que amplifica señales eléctricas, revolucionó al mundo, pues fue la base de la transmisión por radio, la televisión, el cine sonoro y las computadoras. Posteriormente, los bulbos se perfeccionaron, agregándole dos rejillas más y se llamaron pentodos. Su invento fue la base de una gran industria electrónica.

Guillermo Shockley, nacido en Inglaterra, inventó el transistor en 1948. Este dispositivo realiza las mismas funciones que los bulbos electrónicos, teniendo las ventajas de ser muy pequeño, durable y de poder fabricarse a bajo costo. Su empleo produjo una gran revolución tecnológica en la electrónica, la industria y la instrumentación. También cambió nuestra forma de vida, con el desarrollo masivo de la radio y la televisión.

Índice	Anterior	Previo
------------------------	--------------------------	------------------------



IV. NUEVOS MATERIALES, LA ELECTRÓNICA Y LAS COMPUTADORAS

1. NUEVOS MATERIALES, SUS ORÍGENES

HEMOS visto cómo el descubrimiento de un nuevo material o elemento, influía en el desarrollo de la civilización. Así la historia se divide en la Edad de la Piedra, Edad del Bronce y Edad del Hierro.

El estudio de diversos materiales se impulsa en Egipto en la búsqueda de sustancias para los procesos de momificación. El egipcio Zozimus, alrededor del año 300, describe los desarrollos de la alquimia y de sus escritos se infiere que conocía el arsénico y un modelo primitivo de alambique.

Abu Geber (721-815). Alquimista iraquí. Al ocupar los árabes Siria y Egipto hacia el año 640, asimilaron gran parte de la cultura griega que poseían esos países. Los europeos habían olvidado la ciencia griega, y durante mil años los árabes preservaron, desarrollaron y transmitieron la ciencia y el pensamiento de los países en los que hubo grandes civilizaciones.

Los alquimistas, por medio de alambiques, obtenían mercurio y azufre a partir del mineral de cinabrio (también lo hicieron los chinos). De ahí, pensaban transmutar el mercurio en oro, y también encontrar la piedra filosofal o elixir (*al-iksir*) de la vida. En este vano intento de encontrar el elixir, Geber publica una serie de valiosos experimentos químicos. Él describe el cloruro de amonio, prepara ácido nítrico diluido y destilando vinagre, prepara ácido acético concentrado.

Geber trabajó con pigmentos, barnices y perfumes. También ideó métodos para purificar metales.

La alquimia atrajo el interés de numerosas personas, aunque los resultados fueron muy pobres. Podemos mencionar que el alquimista Paracelso fue el primero en describir al metal cinc.

La transmutación de los elementos, el sueño de los alquimistas, se logró en pequeña escala con el desarrollo de la moderna física nuclear.

La teoría atómica de la materia

Hemos visto que los filósofos griegos Demócrito y Epicuro consideraban que la materia estaba constituida por átomos indivisibles. Según Lucrecio, Epicuro consideraba que "la materia es eterna ... las cosas no pueden hacerse de la nada ni, una vez engendradas, regresar a la nada".

Antonio Lorenzo Lavoisier (1743-1794). Químico francés. Se le considera el padre de la química moderna. Estudió la combustión de las sustancias. Uno de sus primeros experimentos consistió en poner un diamante dentro de un frasco con aire y calentarlo por medio de una lente que concentraba la luz solar. Observó como el diamante desaparecía y en el frasco quedaba bióxido de carbono, de donde dedujo que el diamante estaba constituido por una forma de carbón. Observó que cuando en el frasco había vacío, o no había aire, el diamante no podía quemarse.

Poniendo en combustión diversos materiales, observó que el peso de los materiales que intervenían en ella (incluyendo al aire), era el mismo antes y después. Así encontró el principio de la conservación de la masa —que en los cambios químicos no se gana ni pierde materia—. El científico ruso Mikhail Lomonosov, 25 años antes, había propuesto el mismo principio.

Lavoisier fue el primero en demostrar que el aire, considerado por los griegos como uno de los elementos fundamentales, estaba formado por dos elementos: uno que produce la combustión y que él llamó oxígeno, y otro al que llamó ázoe. En griego ázoe quiere decir sin vida, esto es, que no soporta la vida o la

combustión. Al ázoe se le dio posteriormente el nombre de nitrógeno.

Al gas inflamable que al arder en el aire producía agua le dio el nombre de hidrógeno que en griego significa "el que produce agua".

Lavoisier observó que los animales ingieren alimentos ricos en carbón e hidrógeno, respiran oxígeno y expelen al respirar bióxido de carbono y agua. De ahí dedujo que la vida es una especie de combustión.

En colaboración con otros químicos publicó, en 1787, el libro *Métodos de nomenclatura química*, donde se establecen los principios para asignar nombres a los productos químicos.

En 1789 publicó el primer libro de texto de la química moderna, titulado *Tratado elemental de química*, que incluye una lista de todos los elementos conocidos.

Por su posición social fue guillotinado durante la Revolución francesa. Dos años después de su muerte, los franceses iniciaron la construcción de monumentos en su memoria.

Juan Dalton (1766-1844). Químico inglés. Estableció bajo bases científicas la teoría atómica del griego Demócrito.

Sus postulados o supuestos fueron:

- 1) Cada elemento químico se compone de átomos indestructibles.
- 2) Todos los átomos de un elemento tienen iguales propiedades, que son diferentes a la de otros elementos.
- 3) En los compuestos químicos, los átomos de elementos diferentes están unidos entre sí en proporciones numéricas simples; por ejemplo, un átomo de A con uno de B, uno de A con dos de B, etcétera.

En la sal común, por ejemplo, se une un átomo de sodio con uno de cloro y en el agua dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno.

Los grandes cazadores de elementos y materiales

Las investigaciones de Lavoisier, el descubrimiento de la pila de Volta (1800) y el descubrimiento de Kirchhoff (1859) de que cada elemento al quemarse emite líneas espectrales características del elemento de que se trata, transformaron a los físicos y a los químicos en grandes cazadores de elementos.

Martin Enrique Klaproth (1743-1817). Químico alemán. Seguidor de las teorías de Lavoisier, se transformó en uno de los grandes cazadores de elementos. Del negro y pesado mineral llamado pechblenda, obtuvo, en forma de óxido, un nuevo elemento al que llamó uranio, en honor al nuevo planeta Urano, que había sido descubierto por Herschel ocho años antes. También descubrió el titanio, el circonio, el cerio y, junto con Muller, el telurio. El uranio que descubrió, en manos de Enrico Fermi dio lugar al desarrollo de la energía nuclear.

Guillermo Nicholson (1753-1815). Químico inglés. El mismo año en que Volta dio a conocer el descubrimiento de la pila eléctrica (1800) construyó una en Inglaterra y su gran contribución científica fue el emplearla para producir la electrólisis del agua. Los dos alambres que salen de la pila eléctrica los introdujo en un tanque con agua y observó que de ellos se desprendían burbujas de gas. Había descompuesto al agua en los elementos que la forman, el hidrógeno y el oxígeno.

Smithson Tennant (1761-1815). Químico inglés. En 1803 descubrió dos metales de la familia del platino, el iridio, y el osmio.

Humphry Davy (1778-1829). Químico inglés. En 1807 construyó la pila de Volta más grande de su tiempo contenía 250 placas metálicas. Lo importante fue que la usó para hacer la electrólisis de potasa fundida,

encontrando que en uno los alambres que salían de la pila se había depositado un elemento que él llamó potasio. Una semana después, empleando un recipiente que contenía soda fundida, pudo producir el sodio. En 1808 pudo aislar el bario, el estroncio, el calcio y el magnesio.

José Luis Gay-Lussac (1778-1850). Físico y químico francés. En 1802 descubrió que diferentes gases, a presión constante, sufren la misma expansión al darles el mismo aumento de temperatura. Diferentes sólidos al calentarse se dilatan en forma diferente, mientras que diferentes gases se dilatan en la misma forma. Este sorprendente resultado condujo al físico italiano Avogadro a deducir que volúmenes iguales de gases diferentes, bajo las mismas condiciones de temperatura y presión, están constituidos por el mismo número de partículas o moléculas. De este resultado se pudo obtener cuántas veces es más pesada una molécula de cualquier gas que la molécula del gas hidrógeno, dividiendo el peso de un volumen de gas entre el peso del mismo volumen de hidrógeno, si ambos se encuentran a la misma presión y temperatura.

En la lucha de prestigio entre Francia e Inglaterra, Napoleón suministró fondos a Gay-Lussac para que construyera una batería eléctrica mayor que la de Davy, y así encontrar nuevos elementos.

La batería no fue necesaria, pues Gay-Lussac y Thenard empleando el potasio descubierto por Davy, aislaron el boro sin necesidad de la electricidad. Al tratar óxido de boro con potasio se produjo el elemento boro.

En 1811 el químico francés Courtois, por medio de una reacción química produjo un gas violeta que Gay-Lussac identificó como un nuevo elemento y le dio el nombre de yodo, que en griego significa violeta.

Otros descubrimientos importantes de Gay-Lussac fueron que exactamente se requieren dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno para producir agua. Igualmente encontró que al combinar un volumen de hidrógeno con uno de cloro se produce ácido clorhídrico y que tres partes de hidrógeno y una de nitrógeno forman una de amoníaco.

Estos descubrimientos permitieron determinar los llamados pesos moleculares de los compuestos químicos.

Amadeo Avogadro (1776-1856). Físico italiano. Interpretó el descubrimiento de Gay-Lussac de que todos los gases se expanden lo mismo al sufrir el mismo aumento de temperatura, como que volúmenes iguales de gases, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, debían estar formados por el mismo número de partículas. Cada partícula, que actualmente recibe el nombre de molécula, puede estar formada por uno o más átomos. En muchos gases, las partículas primarias son moléculas formadas por varios átomos unidos entre sí.

Este descubrimiento permite determinar el peso de diversos átomos o moléculas, relativos al peso de un átomo de hidrógeno, que es el más ligero.

Por ejemplo, si tenemos dos volúmenes iguales, uno de hidrógeno y otro de oxígeno, bajo las mismas condiciones de temperatura y presión, de acuerdo con Avogadro tendrán el mismo número de moléculas. Si ponemos esos gases en dos pequeños tanques iguales, que inicialmente estaban al vacío (comprimiéndolos); el aumento de peso del tanque con oxígeno entre el aumento de peso del tanque con hidrógeno, nos dará el peso molecular del oxígeno en unidades del peso molecular del hidrógeno. El resultado obtenido es 16, o sea que la molécula de oxígeno pesa dieciséis veces más que la de hidrógeno.

Como las moléculas de hidrógeno y oxígeno están formadas por dos átomos, el átomo de oxígeno también pesará dieciséis veces más que el de hidrógeno.

El agua, de acuerdo con los descubrimientos de Gay-Lussac, se forma al combinar dos volúmenes de hidrógeno con uno de oxígeno; de acuerdo con Avogadro, su molécula estará formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno ($2\text{H} + \text{O}$) y su peso molecular será de dieciocho veces la del átomo de hidrógeno, dos que corresponden al hidrógeno y dieciséis al oxígeno.

Juan Jacobo Berzelius (1779-1848). Químico sueco. Empleando el método de volúmenes constantes de Gay-Lussac, fue el primero en publicar una lista de los pesos atómicos de los elementos conocidos, pero en ella hay errores, porque no tomó en cuenta los descubrimientos de Avogadro, que distinguen los átomos de las moléculas.

Descubrió el selenio en 1818, el silicio en 1824 y el torio en 1829. Berzelius fue el químico más notable de su tiempo.

Gustavo Roberto Kirchhoff (1824-1887). Físico alemán. En el capítulo de óptica vimos como Kirchhoff, empleando un espectroscopio (formado por una rendija, un prisma y un anteojito), al quemar un elemento en un mechero de Bunsen, observó que emitía líneas de colores cuya posición en el espectro era característica del elemento, equivalente a sus "huellas digitales". Así pudo observar que el Sol estaba formado por los mismos elementos que hay en la Tierra.

Trabajando con Bunsen descubrió el cesio en 1860 y, un año después, el rubidio.

Empleando esta tecnología, Reich y Richter en Alemania descubrieron el elemento indio (1863), y Crooks en Inglaterra descubrió el talio (1861).

Dimitrio Ivanovich Mendeleiev (1834-1907). Químico ruso. En 1869, cuando Mendeleiev publicó su famosa Tabla Periódica de los Elementos, se habían descubierto 63 de ellos, a los que se les había medido su peso atómico, empleando el método de Avogadro, o por medio de la electrólisis. También se conocían sus propiedades químicas, manifestadas por la llamada "valencia" (capacidad que posee cada átomo para combinarse con otros). El hidrógeno, el litio, el sodio y el potasio, tienen una valencia de uno y sus propiedades químicas son similares; tienen la propiedad de combinarse con sólo un átomo de otro elemento de valencia uno. Un átomo con valencia de dos se puede combinar simultáneamente con dos átomos de valencia uno o con un solo átomo de valencia dos.

Mendeleiev ordenó los elementos conocidos por pesos atómicos a lo largo de renglones, de manera que en la misma columna coincidieran los que tenían la misma valencia y propiedades químicas similares.

El primer renglón de la Tabla estaba ocupado por un solo elemento, el hidrógeno, que es el más ligero, valencia uno, y peso atómico uno. El segundo renglón por el litio (valencia uno), berilio (valencia dos), boro (valencia tres), carbón (valencia cuatro), nitrógeno (valencia tres), oxígeno (valencia dos) y flúor (valencia uno). Los cuatro primeros renglones de la Tabla de Mendeleiev, con sus pesos atómicos fueron:

H=1						
Li=7;	Be=9;	B = 11;	C=12;	N = 14;	O=16;	F=19
Na=23;	Mg=24;	Al =27;	Si=28;	P=31;	S=32;	Cl=35.5
K=39;	Ca=40;	(?);	Ti=48;	V=51;	Cr=52;....	

Continuando la Tabla, Mendeleiev colocó a los 63 elementos conocidos. De inmediato se dio cuenta de que existían huecos que podían referirse a elementos aún no descubiertos. Él predijo la existencia de un elemento con peso atómico entre 40 y 48 que tendría propiedades químicas similares al boro y lo llamó eka-boro. También predijo la existencia de eka-silicio y del eka-aluminio. Estos elementos fueron descubiertos poco tiempo después y se les llamó respectivamente, escandio, germanio y galio.

Mendeleiev se convirtió en el químico más famoso del mundo. En su honor, un nuevo elemento descubierto en 1955, y producido artificialmente por medio de reacciones nucleares, se le dio el nombre de Mendelevio.

Guillermo Ramsay (1852-1916). Químico escocés. Le correspondió el honor de agregar una columna a la Tabla de Mendeleev, la que corresponde a la valencia cero. A un cierto volumen de nitrógeno obtenido del aire, lo hizo reaccionar con magnesio y observó que quedaba una burbuja de gas sin reaccionar. Al estudiar este gas con el espectroscopio (1894), encontró que emitía líneas espectrales diferentes a las de los elementos conocidos. A este gas le llamó argón, que en griego quiere decir inerte.

Janssen y Lockyer apuntando su telescopio a la atmósfera solar (fuera del disco del Sol) y analizar la luz con un espectroscopio descubrieron líneas espectrales que no correspondían a las de los elementos conocidos. Ellos llamaron helio a este elemento que en griego quiere decir Sol.

Ramsay, estudiando un gas producido por minerales radiactivos, encontró que el helio existe en la Tierra (1895) y que corresponde a la familia de los gases inertes (valencia cero).

Por medio de la destilación del aire líquido, Ramsay pudo producir 15 litros de gas argón, que licuó y destiló, obteniendo tres fracciones. Al analizarlas con el espectroscopio, correspondieron a tres nuevos gases inertes que llamó: neón, kriptón y xenón. El único gas inerte que no descubrió fue un gas radiactivo encontrado por Dorn en 1900: el radón.

Ramsay recibió el premio Nobel en 1904.

Producción de aceros

La Revolución francesa produjo grandes cambios económicos y sociales, que condujeron a la revolución industrial que tuvo lugar en la primera mitad del siglo XIX. El desarrollo notable de la ciencia, la electricidad, la óptica, el calor, la máquina de vapor, las comunicaciones y la química, crearon la necesidad de transformar las pequeñas máquinas que los relojeros (principalmente franceses) habían diseñado en grandes máquinas para construir motores de vapor. También se necesitó producir en mayor escala, hierro, acero, cobre y diversos metales y materiales descubiertos recientemente.

Inglaterra encabezó la revolución industrial.

Por muchos siglos había sido conocido el acero, siendo famoso el manufacturado por chinos, árabes y españoles. Su costo era muy elevado, por lo que su producción era limitada.

En 1850 Inglaterra era el mayor productor del mundo y su producción llegaba a sólo 60 000 toneladas de acero, mientras que su producción de hierro alcanzaba la cifra de dos y medio millones de toneladas.

Enrique Bessemer (1813-1898). Metalurgista inglés. El hierro que salía de los hornos (hierro fundido) contenía grandes cantidades de carbón. Era duro pero quebradizo. Para hacerlo maleable y poderlo forjar se necesitaba eliminar el carbón para transformarlo en casi hierro puro (hierro forjable). A este material se le podía dar cualquier forma pero se gastaba fácilmente. El acero, muy resistente al esfuerzo y al desgaste, tiene una cantidad de carbón intermedia entre el hierro fundido y el hierro forjado.

Bessemer diseñó (1856) un convertidor en el que se soplaban aire en una masa de hierro fundido para reducir su cantidad de carbón y transformarlo directamente en acero, reduciendo notablemente el costo de producción (Figura 33).

Para que su método funcionara se necesitaba que el hierro fundido no contuviera azufre ni fósforo como contaminantes, por lo que tuvo que emplearse mineral de hierro de Suecia. Aun así, con esta tecnología se redujo el precio del acero a la décima parte de su precio anterior.

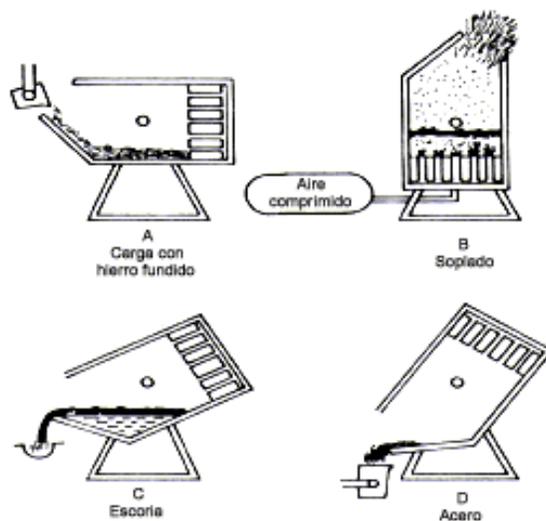


Figura 33. Convertidor de Bessemer para producir acero.

El problema del fósforo como contaminante fue resuelto por el inglés Thomas, quien descubrió que agregando piedra caliza al mineral se combinaba con el fósforo y lo eliminaba del metal. El alemán Siemens (1861) y el francés Martin desarrollaron el proceso de hornos de corazón abierto, que permitió el empleo de minerales de carbón de baja calidad (como combustible).

En 1870, Lorena, región que tiene importantes depósitos de mineral con azufre, quedó unida a la cuenca carbonífera del Ruhr. Con el desarrollo de la nueva tecnología, esta región de Alemania se transformó en un emporio industrial que sobrepasó a la Gran Bretaña en la producción de acero.

El desarrollo de la tecnología para producir acero a bajo costo permitió el desarrollo en gran escala del ferrocarril.

En Rusia, Estados Unidos y en las colonias británicas, los ferrocarriles se desarrollaron rápidamente a partir de 1857.

Hasta 1872, Inglaterra fue el principal productor de acero y de rieles de ferrocarril, siendo entonces superado por Alemania. Desde 1889, los Estados Unidos se transformaron en el mayor productor mundial de acero.

El desarrollo de la metalurgia

La segunda mitad del siglo XIX se caracterizó por un avance notable en los procesos metalúrgicos. La tabla siguiente nos muestra el aumento en la producción de algunos metales importantes.

Producción mundial en toneladas

	1850	1875	1900
Cobre	55000	130000	525000
Plomo	130000	320000	850000
Cinc	65000	165000	480000
Estaño	18000	36000	85000
Níquel	20	500	8000
Aluminio	0	2.5	7300

El desarrollo de la metalurgia implicó idear nuevos métodos de concentración de minerales y nuevos tipos de hornos para lograr su extracción.

El aumento notable en la producción del cobre se debió al desarrollo de la industria eléctrica.

El aluminio, aislado por el alemán Wohler en 1827 al hacer reaccionar el potasio con compuestos de aluminio, era una curiosidad y por lo tanto muy costosa. El francés Saint-Claire Deville sustituyó al potasio por el sodio, y así, en 1855, produjo un lingote de siete kilogramos. El precio del aluminio bajó de 30 000 francos el kilogramo a 300 francos en corto tiempo.

Las aleaciones de metales

Desde hace miles de años el hombre comenzó a emplear y producir aleaciones de metales. Mezclando el oro con la plata y el cobre encontró aleaciones que brillaban como el oro puro, pero que eran más resistentes al desgaste.

El bronce, que definió una edad en la historia de la humanidad, es una aleación de cobre y estaño.

A principios de este siglo, el hombre disponía de diversos elementos que mezclar, y así desarrollo combinaciones de metales con propiedades muy importantes.

Aleando hierro con silicio produjo la lámina de acero al silicio, fundamental en el desarrollo de la industria eléctrica, pues con ella se construyen los motores, los generadores y los transformadores.

Aleando fierro con cromo y níquel se produjo una gran variedad de aceros inoxidable que resisten, como su nombre lo indica, la corrosión, o enormes esfuerzos de tensión.

Aleando al aluminio con cinc, magnesio, cobre y cromo, en proporciones adecuadas, se pueden producir superaluminios que resisten esfuerzos como el acero ordinario y pesan mucho menos.

La disponibilidad de otros elementos, como el tungsteno, el silicio y el germanio, permitió desarrollar la electrónica, o sea el mundo en que vivimos con los equipos de sonido, los radios, la televisión y las computadoras.

2. LA ELECTRÓNICA. SUS INICIOS

Hemos visto al tratar la electricidad cómo la teoría electromagnética de Maxwell (1870) predijo la existencia de ondas electromagnéticas. Hertz en Alemania demostró su existencia y efectuó transmisiones a corta distancia (1888). El ruso Popov (1897) inventó la antena y efectuó transmisiones a cinco kilómetros, y el italiano Marconi (1901) hizo la primera transmisión transatlántica.

Otra contribución notable fue la del alemán Julius Plucker, quien hizo pasar una corriente eléctrica entre dos puntas de alambre, colocadas dentro de un tubo al vacío. Observó que se producía una fluorescencia entre ambas y, lo más importante fue que en presencia de un campo magnético la fluorescencia cambiaba de posición, lo que de acuerdo con las leyes de Ampère significaba que se trataba de movimiento de cargas eléctricas en el vacío. A estas cargas que se mueven en el vacío se les dio el nombre de electrones.

El electrón

José Juan Thomson (1856-1940). Físico inglés. En 1876 entró a la Universidad de Cambridge, como estudiante, y ahí permaneció toda su vida. Continuó la investigación del movimiento de cargas en el vacío, iniciada por Plucker y Crookes, que hacían suponer la existencia del electrón. Thomson realizó medidas

cuantitativas respecto a la deflexión que las fuerzas de Ampère debían producir sobre los electrones.

Suponiendo que estas partículas tuvieran carga eléctrica igual a la que se requiere para descomponer una molécula de agua (en un átomo de oxígeno y una molécula de hidrógeno) por medio de la electrólisis, encontró (1897) que la masa del electrón debía ser más pequeña que la milésima parte de la del átomo más pequeño que es el del hidrógeno.

Los atomistas consideraban que una vez que se llenara la Tabla Periódica de los elementos de Mendeleiev, ya no habría más partículas que descubrir, y ahora se encontraba una partícula mucho más pequeña, que daría origen a que los átomos a su vez estuvieran formados por otras partículas.

Thomson también demostró que los campos eléctricos desvían a los electrones de su trayectoria, cuando viajan del alambre con potencial negativo (cátodo) al de potencial positivo (ánodo).

Por este descubrimiento, Thomson recibió el premio Nobel en 1906, pero lo más sorprendente fue el equipo de investigadores que formó, ya que siete de sus asistentes recibieron posteriormente el premio Nobel.

En 1912 realizó otro descubrimiento sorprendente. Por métodos eléctricos le arrancó a los átomos del gas neón uno (le sus electrones, transformándolo en partícula positiva que pudo hacer que se moviera en el tubo al vacío, entre el ánodo y el cátodo, como había hecho con los electrones. Aplicándoles campos eléctricos y magnéticos, demostró que existían dos diferentes gases neón, con las mismas propiedades químicas pero diferente peso. Había descubierto los llamados isótopos de los elementos que tendrían papel importante en la nueva física nuclear que desarrollaría uno de sus estudiantes, el gran físico Rutherford.

Desarrollo de la electrónica

Juan Fleming (1849-1945). Ingeniero inglés. Trabajó con Maxwell, fue consultor de Edison y colaboró con Marconi. Edison había observado que si colocaba un alambre cerca del filamento caliente de uno de sus focos luminosos, pasaba algo de corriente eléctrica.

Fleming estudió este fenómeno tomando en cuenta el descubrimiento del electrón por Thomson. En un bulbo o tubo al vacío colocó un filamento (cátodo) y enfrente una placa (ánodo). Al colocar el cátodo al extremo negativo de una batería y el ánodo al positivo, observó que los electrones (negativos) que estaban en "ebullición" en el filamento caliente, al ser atraídos por la placa positiva, pasaban a través del vacío, produciendo una corriente eléctrica en el circuito.

Cuando el filamento se conectaba al polo positivo y la placa al negativo, los electrones (negativos) eran rechazados por la placa negativa y no pasaba corriente eléctrica.

Si el bulbo se conecta a un generador de voltaje alterno (que cambia constantemente de filamento negativo y placa positiva a lo opuesto y continúa cambiando sucesivamente), en este caso la corriente eléctrica circula sólo la mitad del tiempo, cuando el filamento es negativo y la placa positiva. En 1904, Fleming inventó este dispositivo que se llamó rectificador, y que transformaba una corriente eléctrica alterna en una corriente directa.

Lee De Forest (1873-1961). Inventor norteamericano. Entre el filamento y la placa de un rectificador de Fleming colocó una malla metálica que llamó reja y creó así el triodo, que revolucionó la industria electrónica y cambió al mundo.

La corriente de electrones que se mueven del filamento a la placa puede controlarse con un voltaje o potencial que se aplique a la reja. Un potencial de la reja, variable y débil, puede transformarse en una variación del flujo de electrones que lleve asociada mucho más energía, o sea que el triodo es un amplificador de la señal aplicada a la reja. Si la reja la hacemos negativa respecto al cátodo, rechazará a los electrones que salen del filamento caliente y no los dejará pasar. Al ir aumentando el voltaje de la reja irá aumentando la corriente de electrones. La evolución del triodo, a partir del foco de Edison y del rectificador

de Fleming, se muestra en la figura 34.

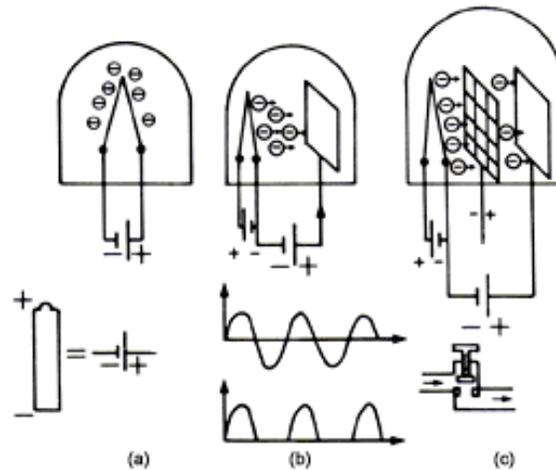


Figura 34. Evolución del foco de Edison al triodo de Lee de Forest.

(a) El filamento de Edison produce una nube de electrones.

(b) El rectificador de Fleming permite el paso de los electrones del filamento a la placa.

(c) Una señal de poca energía, aplicada a la rejilla del triodo, permite el paso, como si fuera una llave, de una corriente variable de electrones similar a una señal aplicada, pero con mucha energía.

Un símil de este amplificador podemos encontrarlo al girar la manivela de la llave de una manguera o de la compuerta de una presa. Casi sin esfuerzo podemos regular el tamaño del chorro de la manguera o del vertedor de la presa, que llevan asociados cambios muy grandes en la energía del chorro.

El triodo fue la base del desarrollo de la industria electrónica moderna. Gracias a él se desarrolló el radio, el cine sonoro, la televisión y las computadoras. Su reinado duró hasta que en 1948 el inglés Shockley inventó el transistor que realiza las mismas funciones que el triodo, pero que al no usar filamento es mucho más durable y se puede producir a un costo mucho menor.

Gracias a los triodos, la débil señal que se recibe en las antenas de los radios puede amplificarse y escucharse a través de una bocina, en vez de escucharse débilmente por medio de audífonos, como se hacía antiguamente.

Para aumentar su poder de control, a los bulbos se les aumentó el número de rejas, produciéndose los tetrodos y los pentodos.

Vladimir Zworykin (1889-). Físico ruso, nacionalizado norteamericano. Desarrolló los tubos de rayos catódicos que Thomson empleó para encontrar los isótopos de neón, en tubos que pudieran producir imágenes de televisión. En 1928 patentó el tubo en que un haz de electrones barre, en una fracción de segundo y por medio de campos magnéticos, toda la pantalla fluorescente de un tubo o bulbo de televisión, produciendo una imagen luminosa.

En 1938 patentó la cámara de televisión, llamada iconoscopio, que permitió por primera vez la transmisión de señales claras de televisión. Así eliminó los discos rotatorios (inventados por el alemán Nipkow) para explorar la luminosidad de las diferentes partes de la imagen por transmitir, que se empleaban en los sistemas anteriores.

El iconoscopio consiste en una cámara fotográfica que, en vez de película tiene una pantalla que contiene muchas células fotoeléctricas microscópicas, sobre la que se forma la imagen de la cámara. Un rayo catódico que barre toda la pantalla descarga periódicamente las células y produce una señal proporcional a

la luz recibida por cada una de ellas. Esta señal, amplificada, es la que transmite la estación de televisión.

Perfeccionó el microscopio electrónico, que había sido descubierto por científicos alemanes (Figura 35).

Desarrolló la televisión de colores.

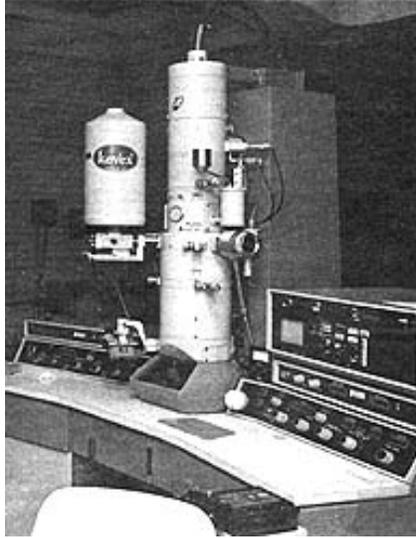


Figura 35. Microscopio electrónico del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

3. LAS COMPUTADORAS. SUS INICIOS

El hombre empleó desde tiempo inmemorial los dedos de sus manos y pequeñas piedras para efectuar sus cálculos.

Los pueblos civilizados desarrollaron métodos para contar y llevar sus estadísticas. La civilización maya fue la primera que inventó el cero para facilitar los cálculos y poder representar grandes números. La numeración que usamos en la actualidad se deriva de la empleada por los árabes, quienes a su vez se inspiraron en los números desarrollados en la India.

El ábaco, empleado por los griegos y los chinos, fue la primera computadora mecánica.

Los astrolabios, inventados en Alejandría por Hiparco, fueron empleados por Tolomeo y por los árabes para realizar cálculos astronómicos.

Juan Neper (1450-1517). Matemático inglés. Inventó las tablas de logaritmos que permitieron realizar cálculos matemáticos con cierta rapidez y precisión. Dibujando escalas logarítmicas sobre reglas, construyó las primeras reglas de cálculo, que fueron las calculadoras portátiles de los científicos e ingenieros hasta la llegada de las calculadoras electrónicas.

La computadora mecánica

Blas Pascal (1623-1662). Físico francés. A la edad de diecinueve años inventó la primera calculadora mecánica, que suma y resta en forma automática. Empleó en su construcción las series de engranes que él mismo ideó. Esta calculadora fue considerada en su tiempo como algo notable. Una calculadora construida en 1652, y firmada por Pascal, se encuentra en el Conservatoire des Art et Métiers en París (Figura 36).

Pascal construyó su famosa máquina para ayudar a su padre en los numerosos cálculos que tenía que realizar para calcular una curva que descubrió y que tiene la forma de un caracol.

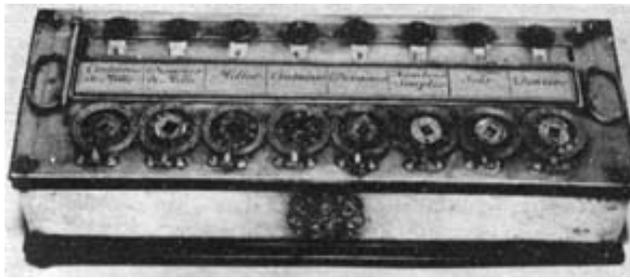


Figura 36. Calculadora mecánica de Pascal que suma y resta en forma automática.

Se encuentra en el Conservatoire des Arts Métiers de París.

Este descubrimiento condujo al gran matemático Leibniz a construir otra más compleja.

Godofredo Guillermo Leibniz (1646-1716). Matemático alemán. Construyó una calculadora superior a la de Pascal, ya que además de sumar y restar, multiplicaba y dividía.

Al comparar su máquina con la de Pascal, Leibniz dice: "En primer lugar, debe entenderse que la máquina contiene dos partes, una destinada a la adición (resta), y otra a la multiplicación (división) y que las dos se encuentran unidas. La máquina de sumar (restar) coincide completamente con la caja de Pascal."

Refiriéndose a las aplicaciones de su computadora, Leibniz dice: "Tampoco los astrónomos tendrán que continuar ejercitando la paciencia que se requiere para realizar computaciones. Esta máquina los liberará de los cálculos necesarios para hacer o corregir tablas, al calcular las efemérides, y al discutir las observaciones con otras personas. Porque es indigno que hombres excelentes pierdan horas, como si fueran esclavos, en trabajos de cálculo que pueden ser ejecutados eficientemente por otras personas, si se emplean máquinas computadoras."

En 1673 construyó la tercera máquina para Pedro el Grande, quien la mandó al emperador de China para mostrarle los avances del arte y la industria de los europeos.

Una de sus máquinas existe y se encuentra en la Biblioteca del Estado de Hannover.

Una de las ramas de las matemáticas que desarrolló y que publicó en forma de libro *De arte combinatorica* (1666) tuvo un papel fundamental en la gestación de las computadoras modernas.

Su computadora se empleó ampliamente durante tres siglos, y sólo desde hace unas décadas está siendo sustituida por las computadoras electrónicas.

Avances de la computadora mecánica

José María Jacquard (1752-1834). Tejedor de seda francés e inventor. Producto de la Revolución francesa, dio el primer paso en la construcción de robots mecánicos al idear y construir un telar en el que, por medio de tarjetas perforadas, controlaba el diseño y los colores de un tejido. El método de tarjetas perforadas se emplea actualmente en la operación de las modernas computadoras.

Dio a conocer su invento en 1801 y para 1812 había en Francia 11 000 telares Jacquard.

Un telar consiste en una serie de hilos paralelos de colores y de una o varias lanzaderas con hilos que se mueven perpendicularmente a los hilos. Para producir un diseño, el operario debe saber qué hilos deben quedar arriba y cuáles abajo, antes de que se mueva la lanzadera. Por medio de una serie de tarjetas de cartón, perforadas adecuadamente, Jacquard permitía que pasaran o no unas agujas que subían los hilos en forma automática, según el deseo del "programador" del diseño. Cuando todos los cartones de la cadena habían pasado, el diseño se repetía (Figura 37).

Si se quería repetir el diseño con otros colores, debían cambiarse los colores de los hilos paralelos.

Este invento tuvo una enorme trascendencia en la creación de las modernas computadoras.

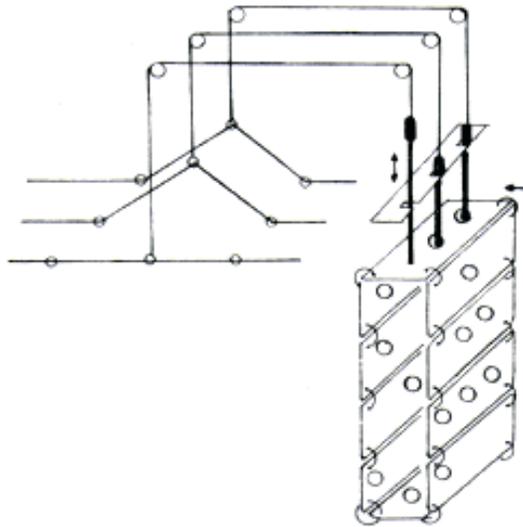


Figura 37. Esquema del funcionamiento del telar de Jacquard en el que, para simplificar la figura, se muestran sólo tres hilos. Las agujas que penetran en las perforaciones de las tarjetas son las que levantan los hilos.

Abraham Stern (1769-1842). Matemático polaco. Construyó una computadora que ejecutaba las cuatro operaciones aritméticas y además encontraba la raíz cuadrada de un número con resultado de seis cifras. Su máquina la describió en una conferencia de la Societas Scientiarum Varsoviensis en 1817 y fue publicado en los *Anales* de la Sociedad.

Léon Bollée (francés) en 1820 construyó una computadora que tenía un dispositivo para almacenar la tabla de multiplicar, con lo que se evitaba tener que realizar sumas sucesivas para ejecutar una multiplicación.

Carlos Babbage (1791-1871). Astrónomo y matemático inglés. Aun con las calculadoras de Leibniz, los científicos continuaban dedicando muchas horas al cálculo de tablas de efemérides y de logaritmos. Babbage ideó una calculadora que imprimiera directamente los resultados del cálculo de polinomios y a esta máquina se le llamó máquina de diferencias.

Babbage ideó una moderna computadora, la máquina analítica, en la que los datos y el programa se introducían por medio de tarjetas perforadas como las del telar de Jacquard.

Las máquinas que trató de construir Babbage no tuvieron éxito, porque antes de terminarlas se le ocurrían mejoras, por lo que suspendía su construcción e iniciaba la de una nueva máquina. Sus ideas sirvieron para que otras personas construyeran computadoras más poderosas.

Pedro Jorge Scheutz (1785-1873). Inventor sueco. Diseñó y construyó la primera máquina de diferencias que trabajó satisfactoriamente. En 1854 fue mostrada en Londres y posteriormente en la Gran Exhibición de París, donde fue comprada por el Observatorio de Dudley del Estado de Nueva York. Actualmente se encuentra en el Museo Smithsonian en Washington.

La máquina de Scheutz calculaba polinomios de cuarto grado, trabajando con catorce cifras y podía imprimir sus propias tablas.

Vannevar Bush (1890-1974). Ingeniero norteamericano. En 1931 construyó una de las últimas computadoras mecánicas, la llamada analizador diferencial en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y se empleó para obtener la solución de un problema de radiación cósmica del mexicano Sandoval Vallarta y del belga Lemaitre.

La computadora electrónica

La primera persona que construyó una computadora empleando los tubos electrónicos de De Forest fue un profesor de física del Colegio Estatal de Iowa, Juan Atanasoff.

Atanasoff se dio cuenta de que empleando bulbos electrónicos se podían realizar multiplicaciones en fracciones de segundo, mientras que con las calculadoras mecánicas se necesitaban varios segundos. Esto se debe a que el movimiento de engranes o relevadores electromecánicos, por la materia o masa que tienen, requieren de un tiempo grande para moverse, mientras que los electrones que se mueven en un bulbo electrónico lo hacen casi instantáneamente.

En 1941, Atanasoff y Clifford Berry construyeron una computadora electrónica que empleaba 300 bulbos electrónicos.

La computadora ENIAC

La primera gran computadora fue la ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) que entró en operación en 1945. Contenía 18 000 bulbos, 70 000 resistencias, 10 000 condensadores y 6 000 interruptores. Medía treinta metros de frente por tres metros de altura. Actualmente se encuentra en el Museo Smithsonian. Las computadoras electrónicas emplean el sistema numérico de base dos, o sea que al calcular, en vez de diez dígitos (del 0 al 9), emplean dos, el cero y el uno. La tabla de equivalencias de los primeros números es:

0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011

La necesidad de emplear el sistema numérico binario se debe a que en los circuitos electrónicos empleados los bulbos electrónicos, o conducen (uno), o no conducen (cero) y en los relevadores empleados como memoria, o estaban cerrados (uno), o estaban abiertos (cero).

Esta máquina, que tenía muchos defectos, era quinientas veces más rápida que las máquinas electromecánicas existentes. Fue creada por un equipo de científicos y técnicos bajo la dirección de John Ecker y John Mauchly.

La computadora ENIAC podía realizar en un segundo 5 000 sumas o 500 multiplicaciones y generaba tablas de senos y cosenos.

Juan von Neumann (1903-1957). Matemático y físico húngaro, nacionalizado norteamericano. Diseñó la computadora llamada Von Neumann o IAS, en el Institute of Advanced Study de la Universidad de Princeton, EUA.

La computadora fue construida de 1946 a 1951 y en 1952 trabajó satisfactoriamente. Las computadoras construidas posteriormente han seguido el diseño de esta computadora, consistente en un procesador central único, ligado a un banco de memoria por canales de comunicación, que a su vez controlan que las operaciones a realizar se efectúen una por una, en serie.

La computadora Von Neumann, por ser de bulbos, correspondió a lo que hoy se llama la primera generación.

Desarrollo de las computadoras

Las computadoras electromecánicas casi no tenían memoria y los datos se introducían con tarjetas perforadas. Podían hacer una o dos operaciones aritméticas en un segundo.

Computadoras electrónicas de primera generación. Usaban tubos electrónicos. La entrada y salida de datos se realizaba por medio de tarjetas perforadas. Los datos se almacenaban en tambores magnéticos. Podía realizar mil operaciones en un segundo. Se desarrollaron de 1946 a 1960.

Computadoras electrónicas de segunda generación. Con el descubrimiento del transistor, se diseñaron las computadoras de segunda generación, que tenían la gran ventaja de ser mucho más pequeñas. Por no usar filamentos requerían menor número de reparaciones y su consumo de energía era mucho menor. Podían realizar un millón de operaciones en un segundo. Empleaban núcleos de ferrita en la memoria principal. La memoria secundaria era de cinta magnética. Los datos entraban a la máquina por medio de tarjetas perforadas o por medio de cintas magnéticas. La salida era por medio de impresoras de líneas.

Estas computadoras se desarrollaron de 1960 a 1964.

Computadoras electrónicas de tercera y cuarta generación. Pronto se produjeron circuitos integrados, con varios transistores en una sola pastilla, lo que dio origen a la tercera generación de computadoras mucho más pequeñas y confiables.

Emplearon en la memoria secundaria discos magnéticos y una computadora tenía varias terminales o sea que varias personas podían estar usando la computadora al mismo tiempo y a todos les proporcionaba resultados (tiempo compartido). Estas máquinas realizaban mil millones de operaciones en un segundo y podían trabajar con diversos idiomas de computadora (Fortran, Cobol, Basic, etc).

En la actualidad, aún siguiendo los lineamientos de Von Neumann, vivimos la etapa de las computadoras de cuarta generación, en las que una pastilla (*chip*), Posee muchos circuitos, cada uno de los cuales contiene un número enorme de transistores y otras componentes electrónicas. Calculadoras y una computadora muy pequeña construida con estas pastillas se muestran en la figura 38.

Una computadora actual del tamaño llamado libro *book computer* es mucho más poderosa que la gran computadora ENIAC o la que diseñó Von Neumann.

Una computadora moderna puede realizar un millón de millones de operaciones en un segundo y atender a cientos de terminales que operan a la vez con tiempo compartido.

El desarrollo de microcomputadoras con gran memoria y velocidad pueden hacer obsoleto el uso de muchas terminales con tiempo compartido, sobre todo porque el precio de estos equipos ha bajado notablemente.

El desarrollo de los robots para su uso en la industria ha sido notable. Existen en el comercio tornos y fresadoras mecánicas en las que las tareas que van a realizar se programan y se ejecutan por medio de una

computadora (Figura 39).

No existe una línea clara que divida en el tiempo a la tercera generación, que se inició en 1964, y la cuarta generación en la que vivimos.

Computadoras de la quinta generación. Actualmente están en desarrollo las computadoras de la quinta generación, que serán las primeras en diferir del modelo Von Neumann y que realizarán los cálculos en paralelo (muchos a la vez), en vez de uno por uno.

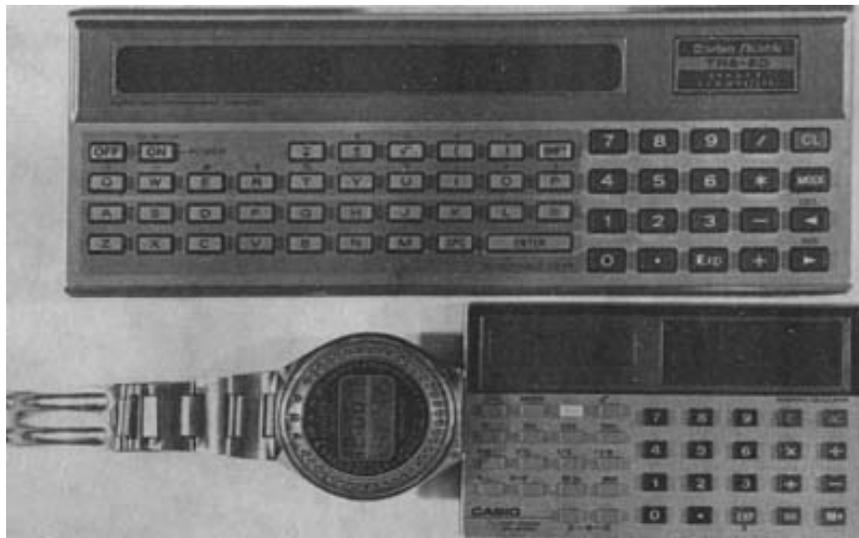


Figura 38. Pequeña computadora y modernas calculadoras



Figura 39. Fresadora mecánica controlada por medio de una computadora perteneciente al Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por su capacidad de aprender a tomar decisiones, su gran velocidad y la enorme memoria de que dispondrán en pequeños discos, se dice que estas computadoras del futuro dispondrán de inteligencia artificial.





V. LA ENERGÉTICA

DIVERSAS FORMAS DE ENERGÍA

EN NUESTRO lenguaje se define así la palabra energía: poder para obrar, fuerza de voluntad, vigor, tesón en la actividad y causa capaz de transformarse en trabajo mecánico.

Los animales, al alimentarse, están empleando un recurso energético que les permite mantener en actividad su prodigioso organismo, realizar trabajos mecánicos y mantener en funcionamiento su computadora cerebral.

Los antepasados del hombre, hace más de un millón de años, descubrieron cómo afilar piedras al golpearlas una contra otra. Estas piedras, en su mano, se transformaban en un poderoso instrumento de defensa o para procurarse alimento. Lo que aprendió fue que, al aplicar a la piedra la fuerza de su brazo, durante una distancia, ésta adquiriría una energía de movimiento que producía acciones importantes al descargar su energía contra un objeto. Un efecto similar se obtenía tomando con la mano una corta y gruesa rama de árbol. Por supuesto, este razonamiento técnico es *a posteriori*.

En tiempos más recientes, el antepasado del hombre, el llamado hombre de Pekín, aprendió a usar la energía del fuego. El fuego es una energía química que se produce al quemar el carbón de la madera, en una atmósfera de oxígeno, produciéndose bióxido de carbono, que es un gas.

Hace decenas de miles de años, el hombre usaba en su provecho la energía cinética o de movimiento del hacha, el mazo y la lanza. Descubrió, además, cómo fabricar proyectiles con mucha energía cinética. En la honda, la piedra va adquiriendo su gran velocidad, a través de un largo recorrido circular de varias vueltas. Con la cerbatana, el dardo va adquiriendo su energía a lo largo de su recorrido en el tubo o carrizo

El descubrimiento del arco y la flecha transformó al hombre en poderoso cazador y guerrero. La flecha adquiere su energía durante la distancia en que la cuerda en tensión le aplica una fuerza a la flecha.

Al dejar caer un cuerpo desde cierta altura, obrará sobre él una fuerza (su propio peso) sobre un cierto recorrido (la altura) por lo que al caer al suelo llevará una energía de movimiento o energía cinética que estará dada por:

Energía cinética = Peso por altura

Un cuerpo que se mueve tiene energía de movimiento y en la física de Galileo y Newton se demuestra que:

Energía cinética = Masa por (velocidad al cuadrado) entre dos

O sea que si un coche se mueve al doble de la velocidad de otro igual, su energía será cuádruple que la del coche lento, porque su energía depende del cuadrado de su velocidad, y si el rápido tiene una velocidad triple que la del lento, su energía cinética será 9 veces mayor.

En la física la energía se mide en joules. Una masa de *un kilogramo* al caer de una altura de *un metro* al nivel del mar, adquiere una energía de 9.81 joules (9.81 es la aceleración de la gravedad al nivel del mar).

El hombre ha aprendido a usar las seis diversas formas de energía que se conocen y a transformar un tipo de energía en otro.

Energía mecánica. Existe en dos formas, la cinética y la potencial. Cuando un niño se mueve en un columpio, hay un momento en que se encuentra en reposo, en este caso se dice que tiene energía potencial, porque se encuentra en la altura máxima y la gravedad puede obrar y devolverle su energía cinética.

Cuando está en el punto más bajo, su energía cinética es máxima y en este caso la potencial es mínima.

El calor. El vapor de una caldera, al pasar a un cilindro, lo mueve y hace girar a las ruedas de la máquina. Los motores de gasolina trabajan por el calor de los gases que estallan dentro de los cilindros, haciendo que se muevan los pistones.

Energía radiante. Cubre un espectro muy amplio, que comprende las ondas de radio y televisión, la luz infrarroja, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos x y los rayos gamma de las radiaciones nucleares.

Energía química. Proviene de la transformación de unos productos químicos en otros. Los alimentos, los combustibles y los explosivos, son fuentes de esta energía.

Energía eléctrica. El hombre aprendió a emplear esta energía, a partir de:

La energía química en pilas y acumuladores, o en plantas termoeléctricas por medio de la combustión.

La energía mecánica, a partir de la energía cinética del agua que cae de una presa, del viento o de las mareas.

La energía radiante que nos llega del Sol.

La energía calorífica contenida en las capas terrestres (energía geotérmica).

La energía nuclear.

Energía nuclear. Es la fuente más reciente de energía. Proviene de transmutaciones de los núcleos de los átomos. Usada con fines exclusivamente pacíficos, puede ayudar a proporcionar la energía necesaria para las fábricas, la agricultura y las comunicaciones. A fines del siglo, el combustible básico en el mundo volverá a ser el carbón, y en los países con pocas reservas de este energético, como México, la energía nuclear será de gran valor.

El Sol se mantiene caliente, gracias a que el uranio que contiene se está fisionando ya que su hidrógeno se está fusionando para formar núcleos de gas helio. En otras palabras, el Sol es un enorme reactor nuclear y la energía nuclear que produce y ha producido, a un ritmo prácticamente constante, ha permitido la existencia de vida en la Tierra.

Los científicos usan la siguiente notación para representar números muy grandes: el número diez con un numerito arriba y a su derecha (exponente), nos indica el número de ceros que debemos agregar al número uno. Para las computadoras "E" significa exponente.

$$10^6 = 1,000,000 \text{ (un uno seguido de seis ceros)} = 10E+6$$

un exponente negativo (-6), significará

$$10^{-6} = 1/1,000,000 \text{ un millonésimo} = 10E-6$$

La tabla siguiente nos da una idea aproximada de las energías asociadas con algunos fenómenos.

Caída de un kilogramo desde un metro		10 joules
Dosis mortal de rayos X	I	
Quemar un cerillo	I	10E+3 joules
Bala de fusil	I	
Coche pequeño a 60 kilómetros por hora		10E+5 joules

Comida de un día		10E+7 joules
Recorrido de 1 000 kilómetros en coche grande		10E+9 joules
Bomba nuclear mediana	I	
Huracán mediano	I	10E+15 joules
Volcán en erupción	I	
Gran terremoto		10E+19 joules
Energía que la tierra recibe del Sol en 30 minutos	I	10E+21
Todas las bombas nucleares almacenadas	I	
Energía de rotación de la Tierra		10E+30 joules
Energía de movimiento de la Tierra en su órbita		10E+33 joules
Energía radiada por el Sol anualmente		10E+34 joules
Explosión de una estrella supernova		10E+40 joules!

La energía mecánica

En la construcción de sus templos y pirámides, los antiguos utilizaron las llamadas máquinas simples. Los estudios de Arquímedes sobre las palancas nos muestran sus conocimientos respecto a las palancas, las poleas, el plano inclinado y el tornillo. Él hizo ver que la reducción de la fuerza empleada con cualquiera de estas máquinas se compensaba con su aplicación durante un recorrido mayor, o sea que el trabajo realizado (fuerza por distancia) se mantenía el mismo con o sin la máquina simple. Éste fue un primer paso hacia el principio de la conservación de la energía que los físicos Mayer y Joule establecieron en 1842, y que dice la energía no se crea ni se destruye, sólo puede transformarse de una forma de energía en otra.

Los griegos sabían cómo emplear la energía potencial o de altura del agua, para mover la rueda de un molino y por medio del tornillo de Arquímedes, transformar trabajo mecánico para subir agua a cierta altura.

Hace mucho tiempo, la fuerza humana era la única disponible para sembrar, viajar, cazar, edificar y manufacturar armas y objetos. Después se ayudó con el empleo de la fuerza de diversos animales, como el perro, el caballo y el toro, a los que pudo domesticar. Posteriormente aprendió a usar la energía cinética y potencial del agua de los ríos para realizar trabajo mecánico, y la del viento, en la transportación en ríos, lagos y mares. Por último, aprendió a transformar todas las formas de energía en trabajo mecánico. En países desarrollados, el trabajo realizado por las máquinas es dos mil veces superior al trabajo humano que podrían realizar las personas que en él viven.

La energía química

Al quemar madera, el carbón que contiene se combina con el oxígeno del aire para formar un nuevo compuesto, el bióxido de carbono, que es un gas, y se libera gran cantidad de energía.

Un antepasado del hombre actual, el hombre de Pekín, usaba el fuego en su provecho, hace unos 500 000 años. Esto se sabe por la enorme cantidad de cenizas encontrada en las cuevas que habitaba.

Hace 50 000 años el hombre moderno había heredado de sus antepasados el uso de este poderoso energético, el fuego, o sea la combustión química.

Durante cientos de miles de años, el principal energético del hombre y sus antepasados fue la madera.

Hace un siglo, el carbón mineral pasó a ocupar el primer lugar.

Hace medio siglo, los hidrocarburos (petróleo y gas) se transformaron en el energético principal, lugar que mantendrán hasta principios del próximo siglo, cuando el carbón mineral ocupará nuevamente ese lugar.

Dentro de veinte años, cuando las reservas de los hidrocarburos hayan disminuido notablemente, muchos países del mundo contarán con reservas importantes de carbón mineral. La URSS, Estados Unidos, Canadá, Australia, China y varios países europeos, cuentan con reservas de carbón mineral para seguir operando por unos cien años.

Los países de Latinoamérica y muchos de África que no cuentan con reservas, ni siquiera modestas, de carbón mineral, deberán emplear otros energéticos y en particular, a corto plazo (dentro de varias décadas), la energía nuclear.

Otros energéticos químicos que tuvieron y tienen una gran trascendencia en el desarrollo de la humanidad, son la pólvora, la dinamita y la nitroglicerina.

El calor

Hace dos mil años, en Egipto, Herón de Alejandría construyó la primera máquina de vapor que transformó energía calorífica en trabajo mecánico (Figura 10). El vapor producido en una caldera pasa a una esfera que puede girar alrededor de un eje y tiene dos chiflones por donde escapa el vapor. La esfera gira por el mismo principio por el que se mueve un cohete o un globo al que se le escapa el aire, esto configura la ley de la acción y la reacción de Newton.

Después de este descubrimiento, el mundo tuvo que esperar a que llegaran Galileo y sus discípulos para que se volviera a estudiar el comportamiento de los gases y vapores.

Galileo fue el primero en estudiar el calor que contienen los cuerpos calientes y para ello construyó el primer termómetro que se basaba en que el gas contenido en un recipiente se expande o dilata al calentarse.

Existen numerosas maneras de calentar un cuerpo. Una de ellas es empleando la energía del fuego o sea la energía química. (Nuestro cuerpo se mantiene caliente gracias a la energía química que ingerimos en forma de alimento). Otra es absorbiendo la energía radiante que nos llega del Sol o de otro cuerpo caliente. Una más es por medio de la energía eléctrica. La energía mecánica, a través de la frotación, también produce calentamiento.

El calor que contiene un cuerpo puede emplearse en producir un trabajo mecánico.

Como una aplicación de su ley de la acción y la reacción, Newton ideó un automóvil de cuatro ruedas movido por el chorro de vapor que salía de una caldera a través de un escape dirigido hacia atrás. Este coche nunca se construyó, pero todos hemos visto como se mueve un globo cuando se le sale el aire por la boquilla, que es el mismo principio.

Denis Papin (1647-1712). Físico francés. Fue asistente de dos grandes físicos, el holandés Huygens y el inglés Boyle. Trabajando con pequeñas calderas de vapor, descubrió la hoy llamada olla exprés, en la que se aumenta, en un recipiente hermético, la presión y la temperatura de ebullición del agua con objeto de cocinar los alimentos rápidamente (Figura 40). Introdujo en las calderas válvulas de seguridad que evitaban que la presión aumentara más de lo debido y destruyera el equipo. Fue el primero en producir vapor dentro de un cilindro que contenía un pistón y lograr que el vapor moviera al cilindro, produciéndose así el segundo motor de vapor.

Después de Papin hubo investigadores que continuaron estos trabajos hasta llegar a los coches y las máquinas de vapor.

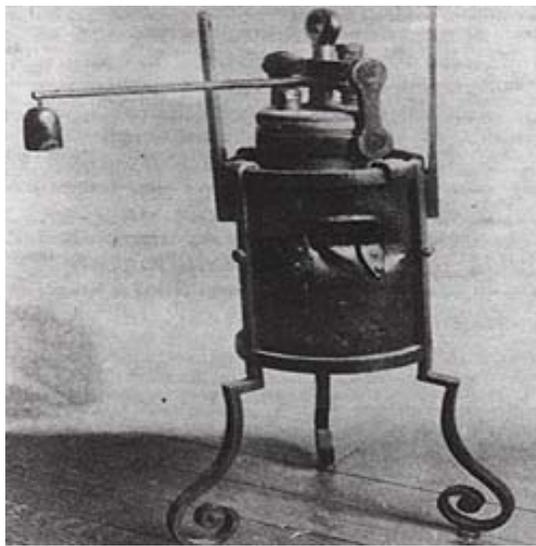


Figura 40. Olla exprés de Papin para cocinar alimentos.

Se encuentra en el Conservatoire des Arts et Métiers de París.

Tomás Newcomen (1663-1729). Ingeniero inglés. Perfeccionó la máquina de vapor y la empleó en extraer agua de las minas. Al entrar vapor a un cilindro, movía un pistón y el cilindro se calentaba; para moverlo en sentido contrario se le echaba agua para enfriarlo, y al condensarse el vapor, se hacía vacío y este regresaba al pistón. Por 1770 había unas cien máquinas de Newcomen trabajando en las minas inglesas. Éstas eran muy ineficientes porque se perdía mucha energía en calentar y después enfriar los cilindros. Las máquinas empleaban carbón mineral.

José Cugnot (1725-1804). Ingeniero militar francés. En 1765 construyó el primer automóvil o máquina que usara vapor para moverse de un lugar a otro. El automóvil de tres ruedas, tenía en la parte delantera una rueda y la caldera. El vapor movía a un pistón que a su vez movía la rueda delantera. El automóvil estaba destinado a arrastrar piezas de artillería.

En 1770 construyó otro modelo mayor, que debía transportar una carga de cuatro toneladas a una velocidad de cuatro kilómetros por hora. Estos automóviles trabajaron, aunque su manejo era difícil y en las primeras pruebas derribó una pared, sin que el vehículo se dañara mucho. Este automóvil se encuentra actualmente, en el Conservatoire des Arts et Métiers de París (Figura 41).

Para facilitar su operación las siguientes máquinas de vapor se montaron en rieles y así nació el ferrocarril.

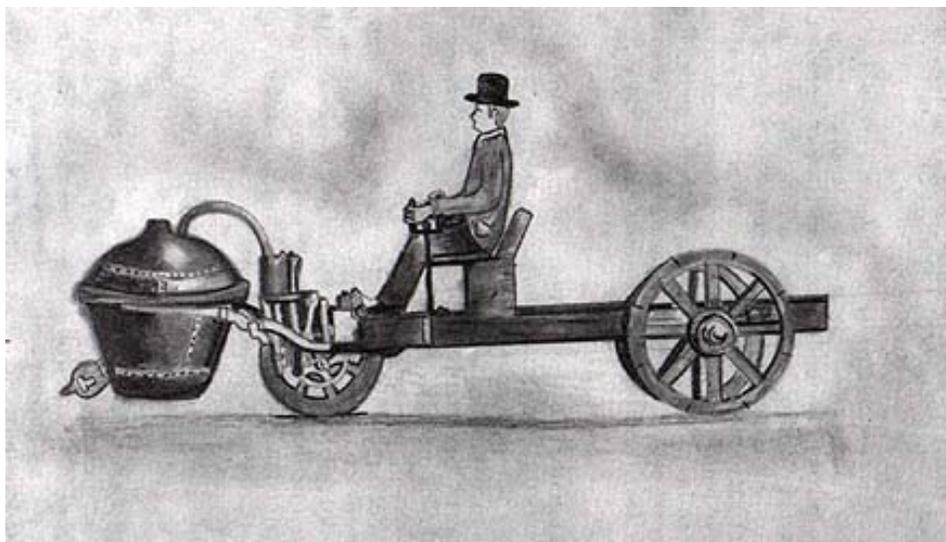


Figura 41. Esquema del automovil de vapor de Cugnot, que se encuentra en

el Conservatoire des Arts et Métiers de París.

Roberto Fulton (1765-1815). Inventor norteamericano. Trató de emplear el vapor en la construcción de un submarino, al que llamó *Nautilus*, y que setenta años después inspiró a Julio Verne su famosa novela.

Trató de venderle su idea primero a Napoleón y después a Inglaterra, pero sus experimentos no tuvieron éxito. Posteriormente trató de mover un barco con vapor en el río Sena y también fracasó.

En 1806 regresó a Estados Unidos, donde construyó un barco, el *Clermont*, en el que unas paletas mecánicas eran movidas con un motor de vapor. El barco navegó por el río Hudson, de Nueva York a Albany en treinta y dos horas. En poco tiempo construyó una flota de barcos que trabajaron eficientemente.

Jaime Watt (1736-1819). Ingeniero inglés. Perfeccionó la máquina de vapor al agregar un condensador externo al cilindro, donde el vapor se condensaba, evitando la necesidad de calentar y enfriar el cilindro. Con esto, las máquinas se volvieron más eficientes y el consumo de carbón se redujo a la tercera parte del necesario con las máquinas de Newcomen. En las máquinas de Watt el cilindro siempre estaba caliente y el condensador siempre frío.

Inventó el pistón de doble acción, en el que el vapor entraba primero por la izquierda y movía el pistón a la derecha y después entraba por la derecha, moviendo al pistón a la izquierda y así sucesivamente.

Estos motores tuvieron gran repercusión cuando se emplearon en los telares ingleses, siendo factor preponderante de la revolución industrial que se inició en Inglaterra.

En su honor, la unidad de potencia (trabajo realizado en un segundo) se mide en watts.

Ricardo Trevithick (1771-1838). Ingeniero de minas inglés. Fue el primero a quien se le ocurrió poner una máquina de vapor sobre rieles de hierro, dando origen al ferrocarril. En 1804, su máquina de un cilindro horizontal arrastró cinco carros durante cuatro horas por catorce kilómetros. En el tren viajaban 70 personas y llevaba una carga de nueve toneladas de lingotes de hierro.

Jorge Stephenson (1781-1848). Inventor inglés. Perfeccionó la locomotora. En 1825 una de sus máquinas movió treinta y ocho carros a una velocidad de veinticinco kilómetros por hora.

En 1830 estableció una línea ferroviaria entre Liverpool y Manchester, Inglaterra.

Sadi Carnot (1796-1832). Físico francés. Desarrolló una teoría sobre la forma como el calor puede transformarse en trabajo mecánico. Las máquinas de vapor perfeccionadas por Watt tenían una eficiencia de 7%, es decir, el 93% de la energía empleada se desperdiciaba.

Carnot observó que para realizar un trabajo mecánico a partir del calor se necesitaba disponer de un cuerpo caliente y de uno frío (o menos caliente). En el caso de las máquinas de vapor, la temperatura del vapor corresponde al cuerpo caliente (T_c) y la temperatura del agua en el condensador (T_f), a la temperatura del cuerpo frío. Carnot demostró que la eficiencia máxima que puede obtenerse, depende de la diferencia de temperaturas en la máquina ($T_c - T_f$).

En otras palabras, si disponemos sólo de un cuerpo muy caliente, no podemos producir un trabajo mecánico, a menos que consigamos un cuerpo frío (o menos caliente).

Para las temperaturas normales de operación de las máquinas, una buena aproximación a la eficiencia máxima que puede obtenerse es la siguiente,

$$\text{eficiencia} = \frac{T_c - T_f}{T_c}$$

En donde las temperaturas se miden a partir de la temperatura más baja que pueda existir (temperatura absoluta o Kelvin).

La temperatura Kelvin = temperatura centígrada + 273, esto es, que el hielo se funde a 273 grados Kelvin y el agua hierve, al nivel del mar, a 373 grados Kelvin.

Si por ejemplo tenemos una máquina en la que el vapor tiene una temperatura de 150 grados centígrados (423 grados Kelvin) y la temperatura fría del condensador es de 20 grados centígrados (293 grados Kelvin), la eficiencia máxima que podría obtenerse sería de un 30% y, en la práctica, menor.

En la fórmula vemos que la eficiencia aumenta cuando la diferencia de temperatura entre el cuerpo caliente y el frío aumenta. A continuación, grandes líneas de ferrocarril se tendieron principalmente en Estados Unidos y Rusia, mientras que los coches de vapor tuvieron poca importancia. Las cosas cambiaron cuando el francés Lenoir construyó el primer motor de combustión interna y éste fue perfeccionado por el francés Beau de Rochas y el alemán Otto.

Juan José Lenoir (1822-1900). Inventor belga-francés. Fue el primero en construir un motor de combustión interna que trabajaba con gas de alumbrado como combustible. Construyó el primer automóvil y la primera lancha que trabajó con un motor de combustión interna (antes que él se construyeron coches y barcos movidos con motores de vapor).

Los motores de Lenoir eran muy deficientes y fueron perfeccionados en teoría por Beau de Rochas, quien ideó el motor de cuatro tiempos, y por Otto que fue el primero que lo fabricó.

Nicolás Augusto Otto (1832-1891). Inventor alemán. Fue el primero en construir los motores de cuatro tiempos, también llamados de Otto, que aún se usan en los automóviles modernos.

Durante el primer movimiento del pistón, una mezcla de aire y gasolina entra al cilindro. Durante el segundo movimiento, la mezcla es comprimida por el movimiento del pistón. Cuando la compresión es máxima, una chispa hace explotar la mezcla, ésta se expande, mueve al pistón y realiza el trabajo mecánico. En el cuarto movimiento, el pistón expulsa del cilindro los gases quemados y está listo para realizar el siguiente ciclo.

Otto construyó su primer motor en 1876, y su compañía vendió en unos cuantos años 35 000 motores. El motor de Otto hizo posible el desarrollo de la industria automovilística y de la aviación.

Rodolfo Diesel (1858-1913). Inventor alemán. Desarrolló un nuevo tipo de motor similar al de Otto, pero que no usa bujías. Por trabajar con derivados del petróleo más pesados que la gasolina y más baratos, su uso resulta más económico.

Al comprimir suficientemente el aire en el segundo movimiento, éste aumenta de temperatura lo suficiente para iniciar la combustión del petróleo que se inyecta por medio de una bomba, produciéndose la combustión durante cierto recorrido del proceso de expansión. Cuando termina la combustión, los gases calientes continúan expandiéndose y así el trabajo mecánico realizado durante el movimiento del pistón aumenta, lo mismo que la eficiencia. En estos motores no existe la explosión de un gas, sino la combustión controlada del petróleo.

Los motores diesel eran más pesados por lo que en general se empleaban en grandes instalaciones, como barcos, ferrocarriles, plantas termoeléctricas, plantas industriales y camiones grandes. En la actualidad, también se usan en los automóviles.

Wernher von Braun (1912-1977). Ingeniero alemán. Desarrolló el motor que hoy usan los aviones de propulsión a chorro o jets. En 1942, en parte gracias a sus esfuerzos, fue lanzado el primer cohete o misil, que empleaba uno de sus motores y que consistía en un tanque donde se quemaba un combustible con oxígeno, y los gases producidos a alta temperatura y presión eran expulsados en cierta dirección. Por la ley

de la acción y la reacción de Newton, sobre el cohete obra una fuerza que lo impulsa y acelera. Es el mismo principio que se aplica en el movimiento de los cohetes de pólvora que inventaron los chinos hace muchos siglos (Figura 42).

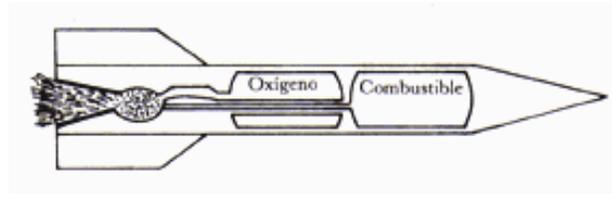


Figura 42. Esquema de uno de los cohetes de Von Braun.

Los motores de los aviones modernos, como no llevan su propio oxígeno, deben emplear parte de la energía de los gases calientes en mover una turbina que comprima el aire de la atmósfera para poder introducirlo en la cámara de combustión del motor.

Energía geotérmica

Existen en nuestro país numerosas regiones que cuentan con mantos de roca caliente de los que se podría extraer grandes cantidades de energía.

El problema radica en cómo extraer dicha energía de la roca. El método más simple y económico consiste en fracturar, por medio de explosiones nucleares subterráneas, una pequeña parte de la roca caliente, e inyectar agua y extraer vapor a alta temperatura que puede transformarse, por medio de turbinas, en trabajo mecánico o energía eléctrica. La roca también puede fracturarse con explosivos químicos, pero el costo aumenta notablemente. Cuando la roca se enfría, se fractura otra zona próxima y se continúa el proceso.

la energía eléctrica

En el capítulo de electricidad, tratamos de su desarrollo a través de los trabajos de Coulomb, Ohm, Ampère, Faraday y Maxwell.

La maravilla de este energético radica en que cualquier otra forma de energía puede transformarse en energía eléctrica, enviarla por un alambre y transformarla nuevamente en otra forma de energía. A esta flexibilidad se debe que la energía eléctrica se use cada vez más en los hogares, las fábricas y el campo.

Energía eléctrica a partir de energía mecánica. Un ejemplo es el dínamo de una bicicleta que transforma una rotación en la luz de su lámpara eléctrica. En este principio (ley de Faraday) se basa la producción de la energía eléctrica producida por las grandes caídas de agua de las presas.

En las plantas termoeléctricas, la energía química del petróleo se transforma en energía mecánica por medio de grandes motores Diesel y ésta a su vez se transforma en energía eléctrica por medio de generadores o dínamos.

Energía eléctrica de la energía química. En las pilas eléctricas y en los acumuladores, la energía química se transforma directamente en energía eléctrica.

Energía eléctrica a partir de energía radiante. Las placas de silicio y otros elementos, al recibir energía radiante, la transforman directamente en energía eléctrica. Por este método trabajan sin baterías algunas pequeñas calculadoras, exposímetros de fotografías y satélites de comunicaciones.

Si en el futuro se logra producir estas placas a precios bajos y se aumenta su vida útil ante grandes calentamientos y fenómenos meteorológicos, se podrá obtener de muchas zonas áridas una gran cantidad de energía eléctrica.

Energía eléctrica del calor. Si dos alambres de metales diferentes se sueldan en sus extremos, formando un

anillo, y una de las soldaduras se coloca en contacto con un cuerpo caliente y la otra con un cuerpo frío, en el anillo se crea o se produce una corriente eléctrica. Estas uniones, llamadas termopares eléctricos, se emplean como termómetros para medir y controlar procesos industriales que se realizan en hornos a alta temperatura.

Energía nuclear en energía eléctrica. La energía producida en los reactores nucleares se emplea en producir vapor de agua a alta temperatura que a su vez se transforma en trabajo mecánico por medio de turbinas de vapor y posteriormente, por medio de dínamos, en energía eléctrica.

La energía radiante

La energía radiante es indispensable para la existencia misma de la vida.

La energía que nos llega del Sol ha mantenido en la superficie de la Tierra una temperatura que ha permitido la existencia de la vida durante cientos de millones de años. Esta radiación permite que actúe la clorofila de las plantas y transforme la energía radiante en vida vegetal y de ahí la existencia de vida animal.

Newton encontró que la luz blanca, que es energía radiante, está formada por los siete colores del arco iris. Otros físicos encontraron que más allá del color rojo existen radiaciones que el ojo no ve y las llamaron infrarrojas, y que después del violeta existen otras radiaciones invisibles al ojo humano, pero no a los instrumentos, las ultravioletas.

Maxwell, al desarrollar su famosa teoría electromagnética de la luz, demostró que la luz es un fenómeno electromagnético y encontró que debían existir otros tipos de ondas electromagnéticas. Éstas han dado lugar a las ondas de radio, las de televisión y las microondas. Los rayos X y la radiación gamma que emiten las sustancias radiactivas también son ondas electromagnéticas.

Toda onda tiene asociada una longitud de onda; en el caso de las ondas en el agua, éstas son visibles y es la distancia entre dos crestas próximas. La frecuencia nos dice cuántas vibraciones se producen cada segundo. La zona visible cubre una pequeña parte del espectro de las radiaciones electromagnéticas.

La mayor parte de la energía que nos llega del Sol es radiación infrarroja y aun con los ojos vendados nuestra piel la siente, por la energía o calor que nos proporciona; igualmente sentimos la presencia de las radiaciones debidas al fuego, o al aproximar la mano a una plancha caliente.

La atmósfera terrestre nos protege de la mayor parte de la luz ultravioleta que nos llega del Sol, sin embargo, si nos asoleamos, notamos sus efectos porque nos quema la piel y nos la hace más oscura.

Guillermo Roentgen (1845-1923). Físico alemán. Descubrió los rayos X. Investigando la luminiscencia que producen haces de electrones sobre ciertas sustancias (como las empleadas en las pantallas de los televisores modernos), encontró que de los tubos de rayos catódicos que empleaba en sus estudios salían radiaciones que hacían luminosas estas sustancias aunque tuvieran que atravesar, para llegar a ellas, materiales opacos a la luz.

Como no sabía que tipo de radiación era la que había descubierto, la llamó rayos x; por ser la letra X la que se usa en matemáticas para expresar una incógnita.

Su descubrimiento lo realizó en 1895, y en una conferencia dictada en enero de 1896 pidió un voluntario del público y le sacó la radiografía de su mano, en la que se veían claramente sus huesos.

Esta tecnología ha resultado fundamental en el desarrollo de la medicina (Figura 43).

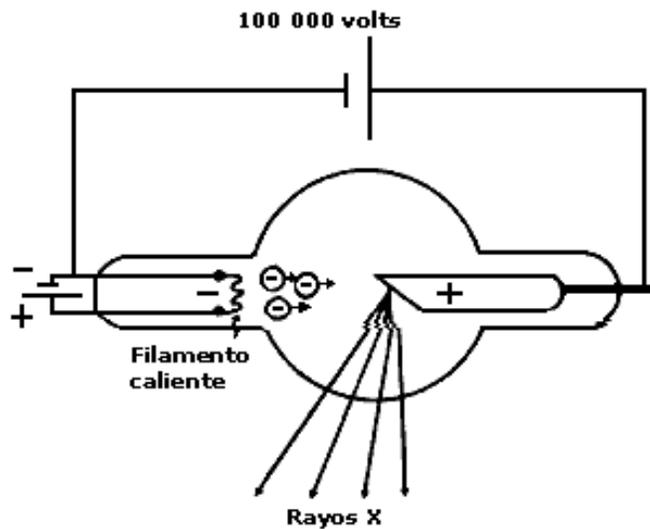


Figura 43. Esquema de un tubo de rayos X.

La energía nuclear

Desde el siglo pasado se comenzó a sospechar en la existencia de una nueva fuente de energía. Todos los esfuerzos que se hicieron para explicar por qué el Sol ha permanecido a una temperatura prácticamente constante durante centenas de millones de años fracasaron. La vida en la Tierra, que cuenta ya millones de años, necesita de una radiación solar prácticamente constante para subsistir. Al considerar la energía calorífica y gravitacional del Sol, éste debía enfriarse en relativamente poco tiempo debido a la enorme cantidad de energía que radia.

Parte de la incógnita se despejó en 1905, cuando Einstein desarrolló su famosa teoría de la relatividad.

Alberto Einstein (1879-1955). Físico alemán. En 1905 publicó varios trabajos, uno de ellos explicando el efecto fotoeléctrico, o sea la emisión de electrones por sustancias, bajo la acción de la luz. Por este trabajo se le otorgó el premio Nobel en 1921.

Otro de los trabajos que publicó ese año fue el desarrollo de la teoría de la relatividad, que es la que nos interesa en este capítulo.

En la física clásica de Galileo, Newton y Maxwell se requería de un éter en el que el movimiento de los cuerpos fuera absoluto. Si un tren se movía respecto al éter y una persona que viajaba en él lanzaba una pedrada en dirección del movimiento del tren, desde el sistema del éter la piedra se movería con una velocidad mayor, igual a la suma de la velocidad del tren más la velocidad con la que el pasajero lanzó la piedra.

La Tierra en su movimiento orbital se mueve con una velocidad de treinta kilómetros en cada segundo y por hacerlo alrededor del Sol en una órbita casi circular, su velocidad actual será opuesta a la que tendrá dentro de medio año.

Siguiendo este razonamiento, Michelson y Morley trataron de medir el cambio en la velocidad de la luz emitida por una estrella, cuando la Tierra en su movimiento orbital se mueve hacia ella, comparada con el movimiento, seis meses después, cuando la Tierra se aleja.

El experimento fracasó y no pudieron encontrar diferencia en la medida precisa que hicieron de la velocidad de la luz.

Este fracaso se convirtió en éxito, pues le sirvió a Einstein para postular que la luz en el vacío se propaga a la misma velocidad, sin importar que la fuente luminosa o el observador se muevan. Es decir, que Einstein descartó el éter que se empleaba antiguamente, lo mismo que los movimientos absolutos. Todos los movimientos son relativos a otros sistemas. No hay sistemas absolutos y de ahí el nombre de la teoría de la relatividad.

El resultado más espectacular de esta teoría es su postulado de que la masa es una forma de energía. Antes de Einstein, el griego Epicuro y el francés Lavoisier establecieron el principio de la conservación de la masa, y por otro lado, Joule y Helmholtz el de la conservación de la energía. Ahora estos dos principios se unen para tener la conservación del sistema masa-energía.

La ecuación encontrada por Einstein para la equivalencia entre masa y energía es:

$$E = mc^2$$

energía igual a masa por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

Como la velocidad de la luz en el vacío es enorme, $c = 300\,000\,000$ metros por segundo, y su cuadrado mucho mayor, $c^2 = 90\,000\,000\,000\,000\,000$, pequeñas cantidades de materia, contienen cantidades enormes de energía.

Einstein no encontró la manera de transformar la masa en energía mecánica u otra forma de energía, pero su resultado condujo a otros científicos a descubrir la energía nuclear y así encontraron el origen de la energía del Sol y las estrellas y como transformar la masa en energía.

Investigaciones iniciales de la energía nuclear. El origen de la energía nuclear se remonta a fines del siglo pasado cuando, en Francia, Becquerel descubrió la radioactividad del uranio y los esposos Curie los elementos polonio y radio. Por estos trabajos, los tres recibieron el premio Nobel en 1903.

En esa misma época, Thomson, en Cambridge, Inglaterra, descubre el electrón que es una partícula mucho más pequeña que los átomos (antes considerados lo más pequeño). Los átomos están formados por partículas menores. Posteriormente demostró que existen dos isótopos del elemento químico neón, es decir dos átomos de neón que tienen diferente peso e iguales propiedades químicas. En 1906 recibió el premio Nobel por el descubrimiento del electrón. Fue un gran formador de investigadores como lo demuestra el hecho de que siete de sus asistentes en Cambridge recibieran el premio Nobel.

Ernesto Rutherford (1871-1937). Físico neozelandés. Fue asistente de Thomson y la primera persona en realizar una transmutación de los elementos: algunos átomos de nitrógeno los cambió en oxígeno. Estudiando la radiación emitida por las sustancias radioactivas, observó que hay tres diferentes tipos de radiaciones, una llamada alfa formada por partículas positivas que resultaron ser núcleos de helio, otra llamada beta, constituida por electrones y una tercera, a la que llamó gamma, que son radiaciones electromagnéticas similares a los rayos X.

En 1917 observó que proyectando partículas alfa (núcleos de helio) en un recipiente con nitrógeno, se producían algunas partículas penetrantes que resultaron ser protones o sea núcleos de hidrógeno y se formaron átomos de oxígeno.

De cada 300 000 partículas alfa, emitidas por las sustancias radiactivas, una producía la transmutación de un átomo de nitrógeno en uno de oxígeno.

En esa forma, Rutherford descubrió otra partícula subatómica, el protón, que cuando se combina con un electrón forma un átomo de hidrógeno.

Al proyectar Rutherford partículas alfa contra películas delgadas de diversos elementos, observó que estas eran desviadas de su trayectoria, y en algunas ocasiones casi en dirección opuesta a la inicial. Rutherford lo

interpretó como que la partícula alfa, que tiene carga eléctrica positiva, era rebotada por una repulsión eléctrica producida por un pequeño núcleo atómico, también positivo (dos cargas eléctricas positivas, se repelen de acuerdo con la ley de Coulomb).

Del estudio de estas colisiones, pudo deducir qué tanto se acercaba la partícula alfa al núcleo atómico, de donde calculó las dimensiones del núcleo de los átomos.

Para Rutherford, los átomos están formados por un núcleo pesado (de carga positiva), que se encuentra rodeado de electrones (de carga negativa) en forma similar a los planetas alrededor del Sol. Los electrones conservan sus órbitas por la atracción eléctrica entre cargas opuestas.

Normalmente, las cargas positivas del núcleo son de la misma magnitud que las negativas de los electrones y los átomos parecen no tener carga eléctrica. Si se arranca uno de los electrones, el átomo muestra una carga total positiva y se llama átomo ionizado.

Para realizar estos estudios, Rutherford tuvo que contar con métodos para detectar a las partículas.

Detectores de partículas

Al chocar una partícula alfa (núcleo de helio) o un protón (núcleo de hidrógeno) o un electrón, contra una pantalla fluorescente (como la de un televisor), produce un destello luminoso que puede observarse con antejo o microscopio. Este método fue empleado por Thomson en el descubrimiento del electrón.

El inglés Wilson, asistente de Thomson, encontró que si en una cámara o recipiente que contenga vapores de agua y alcohol se efectúa una expansión por medio de un pistón, se producirán gotitas de agua o alcohol alrededor de los iones existentes. Si colocamos una sustancia radioactiva dentro de la cámara, las partículas alfa emitidas producirán, a lo largo de sus trayectorias, la ionización del gas de la cámara y sus trayectorias se harán visibles por las gotitas que se forman a lo largo de ellas. A este instrumento se le llamó cámara de Wilson y por este descubrimiento recibió su inventor el premio Nobel en 1927.

El alemán Geiger, asistente de Rutherford, inventó en 1913 el contador de radiaciones que lleva su nombre y que consiste en un tubo que contiene un gas especial con dos electrodos sometidos a un alto voltaje o potencial. Al pasar por el contador una partícula ionizante (alfa, beta, gamma, protón), la ionización que producen en el gas es suficiente para producir en éste una avalancha de corriente eléctrica que puede detectarse en una bocina o moviendo la aguja de un medidor eléctrico. Con este aparato se localizaron los depósitos de mineral de uranio.

Las emulsiones fotográficas también detectan partículas ionizantes, porque dejan en la emulsión su trayectoria que puede observarse con la ayuda de un microscopio.

Al pasar las radiaciones por algunos materiales transparentes, parte de su energía se transforma en luz, la que puede ser detectada con sensores especiales.

Existen en los países más desarrollados aceleradores de partículas muy poderosas que producen haces de átomos muy ionizados con gran energía, y velocidades que casi igualan la de la luz en el vacío. Si estas partículas se lanzan contra un blanco de peso medio, al chocar se desintegran en un gran número de fragmentos. En la portada se muestran los fragmentos producidos al lanzar un átomo de lantano de alta energía contra un núcleo de lantano en reposo.

El blanco se encuentra dentro de una cámara que contiene un gas que se ilumina a lo largo de las trayectorias de los fragmentos durante una pequeña fracción de segundo, pero que permite tomarles fotografías desde tres direcciones. La existencia de un campo magnético en la cámara produce trayectorias curvas, cuyo radio de curvatura proporciona información sobre la masa y la energía de los pedazos. La luminosidad de la trayectoria aumenta con el peso o tamaño del fragmento.

El descubrimiento del neutrón

En 1930 el físico alemán Walther Bothe observó que al bombardear el elemento berilio con partículas alfa, se producía una extraña radiación que no pudo identificar, pero que al lanzar esa radiación sobre parafina se producían protones.

La explicación de este experimento la dio el físico inglés Jaime Chadwick en 1932, al descubrir que la radiación misteriosa estaba formada por neutrones, partículas sin carga eléctrica que tenían casi la misma masa del protón (unas dos mil veces la masa del electrón).

Al chocar los neutrones, como bolas de billar, contra los núcleos de los átomos de hidrógeno, que son muy abundantes en la parafina, les comunicaba su energía y se emitían los protones.

Werner Heisenberg (alemán) sugirió que todos los átomos de los elementos estaban formados por un núcleo pequeño y pesado, formado por protones y neutrones, a los que rodeaba una nube de electrones (negativos) en igual número al de los protones (positivos) para producir átomos neutros.

El número de protones o de electrones del átomo definía el elemento, uno para el hidrógeno, dos para el helio, hasta llegar a 92 para el uranio. El número de neutrones sólo cambiaba el peso del átomo y así se tenían diferentes isótopos (el mismo lugar en la tabla periódica) de cada elemento.

Los físicos idearon aparatos (espectrómetros magnéticos) para encontrar los isótopos de todos los elementos. El número de partículas en el núcleo (nucleones = protones + neutrones) definió el isótopo de cada elemento. Se encontró el hidrógeno al que se llamó deuterio (un protón y un neutrón) y el hidrógeno al que se llamó tritio (un protón y dos neutrones), y así hasta llegar al uranio (U) con tres isótopos, U234, U235 y U238.

Los científicos no quedaron satisfechos con saber cuántos isótopos de los elementos existían, sino que quisieron transmutar unos en otros, crear nuevos isótopos y también nuevos elementos no existentes en la naturaleza. Para eso inventaron los aceleradores de partículas; emplearon los haces de neutrones y continuaron empleando partículas alfa.

Juan Gockroft (1897-). Físico inglés. Inventó, con Ernesto Walton, un acelerador de protones (1932) y con él bombardearon litio, produciendo en la reacción nuclear helio. Esta fue la primera reacción nuclear producida con un acelerador de partículas.

El descubrimiento de la fisión nuclear

En 1938, poco antes del inicio de la segunda Guerra Mundial, había en Europa tres importantes grupos de científicos que empleaban los neutrones en sus investigaciones nucleares. El grupo de Roma, dirigido por Enrique Fermi, el grupo de París por Federico Joliot-Curie y el grupo de Berlín por Otto Hahn.

Fermi bombardeó con neutrones el elemento más pesado y último de la tabla periódica, el uranio. Buscaba la producción de elementos nuevos más pesados que el uranio (transuránicos) y encontró que se producía una mezcla de elementos difícil de interpretar.

Irene Curie halló que uno de esos elementos tenía propiedades químicas muy similares a las de un elemento de la parte media de la tabla periódica.

Otto Hahn descubrió que todos los elementos producidos tenían propiedades químicas similares a los elementos que se encontraban en la región central de la tabla periódica.

A principio de 1939, Otto Frisch y Lise Meitner, en el Instituto Bohr de Copenhague, dieron la explicación de lo que en realidad sucedía: agregar un neutrón al pesado núcleo de uranio lo excitaba y lo dividía en dos partes más o menos del mismo tamaño, como una gota de agua demasiado grande que se divide en dos. Se

había descubierto la *fisión nuclear*.

Las dos partes en que se divide el núcleo tienen carga positiva (protones) y, por estar muy cerca uno de otro, sufren una fuerza eléctrica de repulsión muy grande que los hace alejarse uno del otro con gran velocidad o sea que adquieren gran energía de movimiento. En otras palabras, se libera en esta reacción gran cantidad de energía. Visto el fenómeno desde la transformación de masa en energía, de acuerdo con la fórmula de Einstein, uno por mil de la masa original, se transformó en energía cinética.

Lo que es más importante, Joliot encontró, a principios de 1939, que cuando un neutrón fisiona a un núcleo de uranio se producen dos o tres nuevos neutrones libres que pueden continuar fisionando otros núcleos, es decir se puede producir una reacción nuclear en cadena.

Federico Joliot (1900-1958). Físico francés. Se casó con Irene Curie, hija de Pedro y María Curie. Fue colaborador de María Curie, y por la admiración que por ella sentía, cambió su apellido a Joliot-Curie. Trabajando con su esposa, bombardeó aluminio con partículas alfa, en 1934, y encontró que se producía un nuevo isótopo del fósforo que no existía en la naturaleza y que, terminado el bombardeo, seguía emitiendo radiaciones. Habían encontrado la radiactividad artificial, que es importante en la medicina moderna.

Por este descubrimiento él y su esposa recibieron el premio Nobel de Química en 1935.

Al ver que en la fisión nuclear se producen dos o tres neutrones que pueden continuar fisionando a otros núcleos de uranio (reacción en cadena), presentó al Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (CNRS), en mayo de 1939, tres patentes secretas; las dos primeras para liberar energía en reactores nucleares de uranio y agua pesada y la tercera sobre cargas explosivas nucleares (Figura 44).

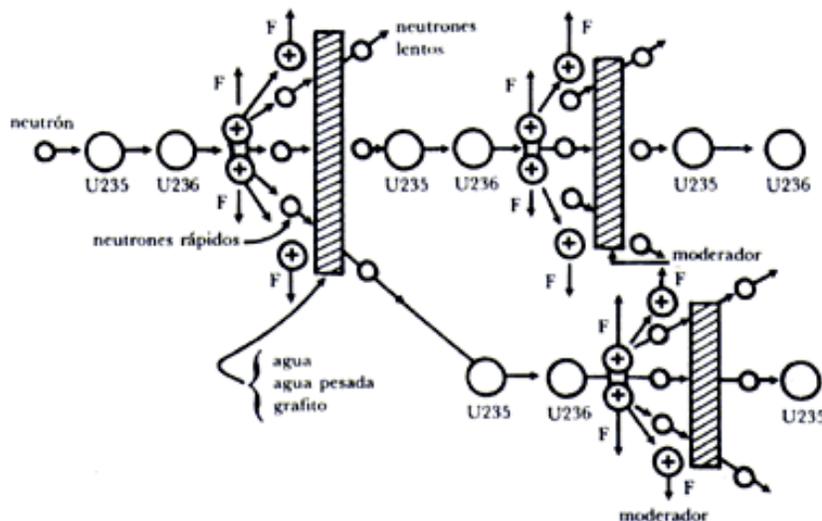


Figura 44. Reacción nuclear en cadena.

El estallido de la guerra ese mismo año obligó a que se enviara a Inglaterra, en 1940, el agua pesada con que estaba investigando.

Por permanecer en Francia durante la ocupación alemana, perdió la oportunidad de construir el primer reactor nuclear, honor que le correspondió al italiano Fermi en Estados Unidos.

Enrique Fermi (1901-1954). Notable físico italiano. Descubrió que cuando a los neutrones se les hace pasar por materiales que contengan mucho hidrógeno, como la parafina o el agua, debido a colisiones, como las de las bolas de billar, pierden velocidad, se vuelven lentos y son más fácilmente capturados por otros núcleos, siendo por lo tanto más efectivos para producir reacciones nucleares.

Tratando de producir elementos transuránicos, lanzó estos neutrones contra uranio, iniciando así las investigaciones que condujeron al descubrimiento de la fisión nuclear.

Por sus trabajos con neutrones recibió en 1938 el premio Nobel de Física, y por ser su esposa judía, y ser él enemigo del fascismo, de Estocolmo pasó con su familia a radicar a Estados Unidos.

Un italiano (se naturalizó norteamericano hasta 1945) dirigió en la Universidad de Chicago la construcción del primer reactor nuclear de uranio natural, que empleaba grafito para hacer lentos a los neutrones. El reactor entró en operación el 2 de diciembre de 1942 y en esa fecha se inició la era nuclear en que vivimos. Debe recordarse que, en ese tiempo, Estados Unidos estaba en guerra contra Italia.

El elemento transuránico con 100 protones, producido artificialmente, recibió el nombre de fermio en su honor.

Desarrollo de los usos pacíficos de la energía nuclear

En diciembre de 1946 entró en operación el primer reactor nuclear soviético en Sverdlovsk. Fue diseñado por Igor Kurchatov, y fue el primero que produjo electricidad para uso público. Aún se encuentra en operación.

En agosto de 1947 entró en operación el primer reactor nuclear británico.

En diciembre de 1948 entró en operación el ZOE, primer reactor nuclear francés.

En 1951 el reactor nuclear noruego-holandés entra en operación.

En 1959 el barco rompehielos *Lenin* con motor nuclear inició sus operaciones.

A fines del siglo, cuando las reservas de hidrocarburos hayan disminuido notablemente y no sea posible ni conveniente seguirlos quemando, la energía nuclear, usada exclusivamente con fines pacíficos, será de vital importancia para los países de Latinoamérica, que por no tener reservas significativas de carbón mineral, necesitarán de todos los energéticos disponibles para sobrevivir.

La operación de un reactor nucleoelectrico como el de Laguna Verde, México, se muestra esquemáticamente en la Figura 45.

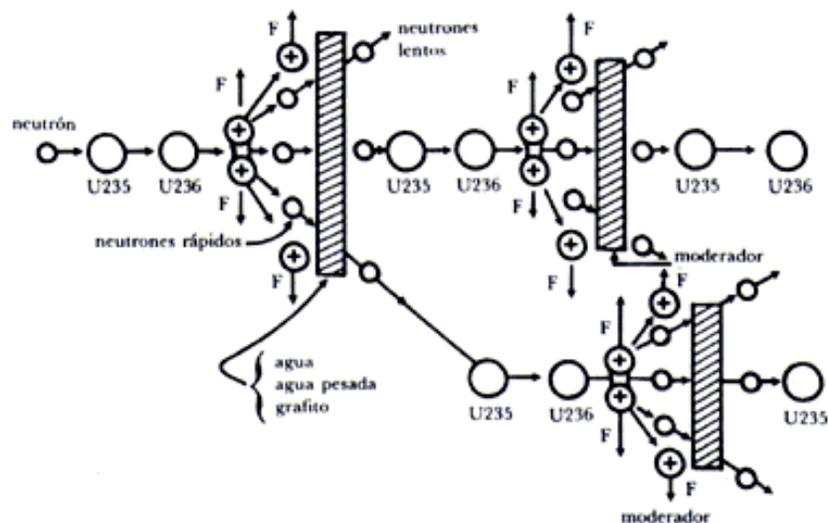


Figura 45 Operación del reactor nuclear de Laguna Verde, México, en forma esquemática.

NOTAS

1NOTA: $10E^{+40}$ significa un uno seguido de cuarenta ceros.

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



BIBLIOGRAFÍA

C. Singer, E. J. Holmiar, A. R. Hall y T. 1. Williams, *A History of Technology*, Oxford University Press, 1958, 5 vols.

Isaac Asimov, *Biographical Encyclopedia of Science and Technology*, Doubleday and Company, 1964.

Henry Hodges, *Technology in the Ancient World*, Alfred Knopf, 1970.

R. Massain, *Physique et Physiciens*, Magnard, 1966.

Herman Goldstine, *The Computer from Pascal to von Neumann*, Princeton University Press, 1972.

John Bernal, *La ciencia en la historia*, UNAM, 1959.

Albert Bettex, *The Discovery of Nature*, Simon and Schuster, 1965.

Tito Lucrecio Caro, *De la naturaleza de las cosas*, UNAM, 1963.

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de junio de 1993 en Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C. V. (IEPSA), Calz. de San Lorenzo, 244; 09830 México, D. F.

Se tiraron 3,000 ejemplares.

La Ciencia desde México es coordinada editorialmente por MARCO ANTONIO PULIDO y MARÍA DEL CARMEN FARÍAS.

[Índice](#) [Anterior](#) [Previo](#)



El conocimiento, a lo largo de la historia, ha tenido que atravesar etapas en extremo difíciles tanto en lo subjetivo: la dificultad extrema de tratar de entender el mundo lo que es, en última instancia, la labor primera del estudioso, como en lo objetivo: dar a conocer a los demás las nuevas ideas. Sabido es que preconcepciones religiosas, el deseo de mantener los privilegios y, como puede verse en nuestra época, el interés de las grandes potencias por mantener su hegemonía sobre los demás países mediante el dominio tecnológico, impiden el libre flujo de la información.

Sin embargo, el conocimiento siempre termina por abrirse paso, como nos muestra en este libro el doctor Fernando Alba Andrade quien, con la experiencia que le da su larga trayectoria como maestro, logra presentar en forma clara y haciendo una síntesis notable, la trayectoria del pensamiento científico desde la muy remota época en que el hombre comenzó a hacer uso de instrumentos hasta nuestra época, en que la tecnología y sus logros nos sorprenden de continuo.

Vemos así, tras una ojeada a las etapas de la humanidad anteriores a la historia, cómo Egipto hereda a la humanidad los primeros esbozos de la ciencia, las primeras herramientas complejas y los inicios de la metalurgia a través de los griegos, quienes no sólo los difunden por el mundo entonces conocido sino que también los enriquecen ofreciendo su valiosa aportación y creando el famoso Museo de Alejandría, que puede ser considerado la cuna del método experimental y el sistematizador del pensamiento científico.

El doctor Alba Andrade utiliza este método, ir de lo simple a lo sencillo, del pensamiento mágico al tecnológico, para describir al lector el tiempo y el espacio, la mecánica, la óptica, la electricidad, el magnetismo, las comunicaciones, las computadoras, los materiales nuevos y la energética, temas todos de amplitud considerable que el autor presenta en forma muy completa y amena, en una auténtica labor de divulgación.

Fernando Alba Andrade es egresado de la Escuela Nacional de Ingenieros del IPN y de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Hizo estudios de especialización en Oak Ridge, EUA, en la Comisión de Energía Atómica. Se doctoró en Ciencias en la UNAM y en la actualidad es maestro de la Facultad de Ciencias e Investigador del IFUNAM.

Not Found

The requested URL /biblioteca/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/23/htm/SEC_11.HTM was not found on this server.

Apache/1.3.20 Server at omega.ilce.edu.mx Port 3000