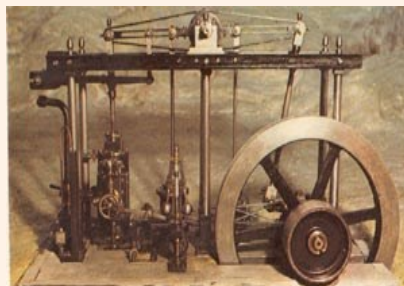


El siglo XVIII en la física



**MATERIAL DIDÁCTICO RECOPIADO Y
ELABORADO POR:
DULCE MARÍA DE ANDRÉS CABRERIZO**



ÍNDICE

Numeración	Epígrafe	Página
1	El siglo de los mecanicistas.	3
2	La astronomía en el siglo XVIII.	5
3	El desarrollo de la acústica.	9
4	Los problemas del calórico.	10
5	Los primeros electricistas.	14
6	El sistema métrico decimal.	17
7	Actividades.	19





1. El siglo de los mecanicistas.

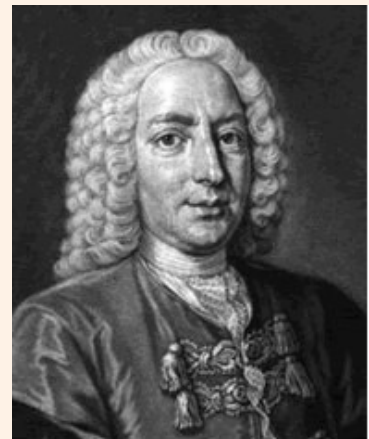
La obra del gran triunvirato, Galileo, Huygens y Newton y la de los ilustres hombres que los rodearon, aportó tal riqueza al conocimiento del mundo físico, que después de la gloriosa época del siglo XVII, hubo de transcurrir cierto tiempo para permitir al espíritu un segundo vuelo hacia semejantes alturas. El siglo XVIII no conoce en el mundo de la Física ningún genio tan capaz de soportar la comparación con uno de los tres citados anteriormente. Hay que esperar hasta los tiempos de Faraday para ver surgir un nuevo investigador cuyo poder alcance el de estos titanes del pasado.



Euler..

Las décadas que siguen a la muerte de Newton, lejos de ser un período de decadencia, son de intensa labor: continua la labor en el campo de la astronomía, enriquecen los dominios del calor y la electricidad con valiosos descubrimientos, desarrollan la acústica y, sobre todo, redondean la mecánica de Newton. En este último campo se encuentran los más ilustres espíritus del siglo XVIII, por lo que se puede calificar a este siglo con el calificativo de Siglo de los Mecanicistas.

Aumentar la herencia newtoniana, generalizando el empleo del análisis matemático en el tratamiento de los problemas mecánicos y físicos, es el rango sobresaliente de toda esta época, puesta a la sombra del inmortal inglés, cuyos Principia aparecen a los investigadores del siglo XVIII como la obra cumbre de la mente humana. La posibilidad ofrecida por el endiosado Newton de forjar con el análisis un poderoso instrumento de investigaciones mecanofísicas, es realizada por una serie de matemáticos, entre los cuales destacan los grandes nombres de Euler, Daniel Bernoulli, Lagrange y D'Alembert.



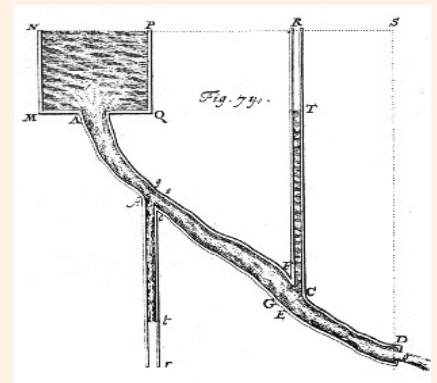
Daniel Bernoulli.

La historia no conoce ningún matemático más fecundo que el incansable suizo Leonhard Euler (1707-1783). Es conocida la ausencia de referencias del método fluxional en los Principia de Newton, por el contrario, Euler, a los veintinueve años, aplicaba el cálculo infinitesimal a todos los problemas importantes de la mecánica. Mientras que Newton hablaba de partículas y corpúsculos, nociones mal definidas, Euler introduce el concepto fundamental de punto material portador de masa y centro de fuerza. Tiene en cuenta la relatividad de todos los movimientos, y su sistema de coordenadas se desplaza junto con los móviles.

La velocidad, magnitud escalar en la mecánica de Newton, se vuelve en la de Euler una magnitud vectorial. Crea el cálculo vectorial, entrevisto por Stevin, que permite desde entonces adicionar y sustraer, gracias a sus componentes rectangulares, velocidades y fuerzas como si fueran magnitudes escalares.



Daniel Bernoulli (1700-1782), este otro suizo y amigo de Euler tuvo un padre también eminente en el campo de la Física, Johann que vivió entre 1667 y 1748 y se cruzó con Huygens, Descartes y Leibniz en las discusiones sobre el principio de lo hoy denominado conservación de la energía. Huygens encontró en el análisis del choque que el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad se conserva, de forma general fue Descartes quien reclamó la constancia del producto mv , en donde vio una medida de la fuerza. Leibniz protestó contra el razonamiento de Descartes y sostuvo que es el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad, "la fuerza viva", el que mide la capacidad de acción de un móvil, y es la suma de las fuerzas vivas, la que permanece invariable en todas las transformaciones mecánicas. Johann Bernoulli generalizó aún más el principio, afirmando la constancia de Σmv^2 en todas las transformaciones de la naturaleza, sean mecánicas u otras. Daniel Bernoulli coloca a la cabeza de su hidrodinámica el principio desarrollado por su padre y obtiene sus fórmulas fundamentales, que le permiten calcular la velocidad de la corriente en los líquidos y gases.



Dibujo para demostrar la ecuación fundamental de la hidrodinámica.

En cualquier caso los trabajos más meritorios de Daniel Bernoulli son sus escritos de iniciación de la teoría cinética de los gases. Bernoulli explica la elasticidad de los gases por la incesante agitación de las partículas que se desplazan independientemente las unas de las otras en línea recta, comparables a minúsculas bolas elásticas, las partículas chocan unas con otras y bombardean las paredes del recipiente, de forma que la suma de estos impactos se nos manifiesta como la presión del gas, y esta crece con el aumento de la temperatura, que es inseparable de la velocidad de las partículas. Estos trabajos quedaron postrados en el olvido, pues era una época en la que se consideraba al calor como materia, y debió pasar más de cien años para resucitar la labor de Bernoulli.

El franco-italiano Joseph Louis de Lagrange (1736-1813) prolonga la Mecánica de Newton en su famoso tratado de 1788, "La Mecánica Analítica", al condensar un gran número de relaciones en muy pocas fórmulas de gran generalidad, que permiten tratar todos los problemas particulares según esquemas muy simples y claros. Lagrange abandona el estudio del punto material, antes de él la preocupación casi única de los mecanicistas, y estudia sistemas materiales mediante el establecimiento de relaciones entre puntos: las relaciones de ligadura, que, aunque no tienen existencia material, sirven para reconducir toda la Estática de la Física a un único principio: el de los desplazamientos virtuales, del que, asimismo, deduce la Dinámica. De esta forma, toda la Mecánica de Lagrange está basada en el teorema de los desplazamientos virtuales, profundizado gracias a su íntima unión con Jean le Rond D'Alembert (1717-1783), que se hizo famoso por realizar la introducción de la famosa enciclopedia de Diderot.



Lagrange y D'Alembert.



2. La astronomía en el siglo XVIII.

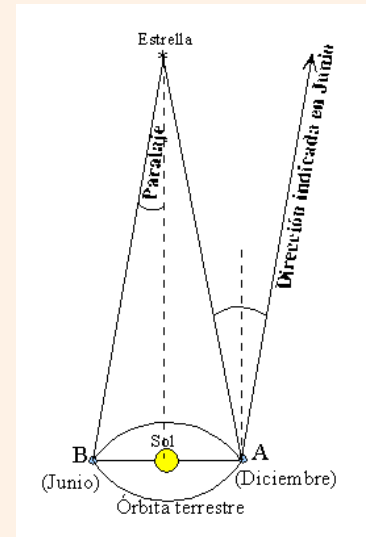
Desde la publicación de los Principia en 1687 hasta el inicio del siglo XX se impone y se desarrolla el sistema newtoniano del mundo, y aunque se hacen muchos descubrimientos y se formulan bastantes hipótesis interesantes, no se producen nuevos conceptos ni nuevos sistemas fundamentales en el campo de la Cosmología. Durante los siglos XVII y XVIII se creía que el Sol era centro inmóvil del Universo, fuente de luz y de calor y origen de la vida.

Una vez establecido el sistema kepleriano, se conocen los fundamentos teóricos y las leyes del movimiento del sistema solar, falta por determinar con exactitud la escala del sistema solar, conocer las dimensiones de los planetas y las distancias de las órbitas, y en esta tarea el telescopio será de gran ayuda para los astrónomos. Para medir distancias, los astrónomos utilizaban el método de la "paralaje", mediante el cual, conocida una distancia se podía fácilmente determinar las demás. Como las distancias relativas entre el Sol y los planetas se conocen desde Kepler, el calcular una de ellas con exactitud es muy importante, pues permitirá obtener las demás automáticamente.

El astrónomo francés Jean Picard (1620-1682) fue el primero que utilizó el telescopio para medidas exactas de pequeños ángulos con ayuda del micrómetro que inventó Huygens, y no sólo para meras observaciones como se usaba hasta entonces. El hecho que hizo famoso a Picard fue la medida de la circunferencia de la Tierra, al mejorar en exactitud el anterior valor aceptado de Eratóstenes.

La comprobación de que la Tierra está achatada en los polos y ensanchada en el Ecuador, previsto en la teoría de la gravedad de Newton, fue confirmado por el francés Jean Richer (1630-1696) en su expedición a la Guayana mediante la oscilación del péndulo, que es más lenta en la Guayana que en París, y como conclusión la fuerza de la gravedad es más débil en la Guayana por hallarse más lejos del centro de la Tierra. No obstante, dicha conclusión tardó en aceptarse por la polémica que se estableció con el astrónomo italo-francés Giovanni Domenico Cassini (1625-1712).

Cassini tenía ganada su reputación en Italia como astrónomo, al medir los períodos de rotación de Júpiter y Marte y establecer unas tablas del movimiento de las lunas de Júpiter, que sirven al danés Olaf Römer (1644-1710) para determinar la velocidad de la luz en 1676. Ya en París, Cassini localizó cuatro satélites de Saturno y notó que su anillo es doble.



Determinación de la paralaje de una estrella.

Expediciones científicas

En 1671 se realizó la primera medida astronómica de calidad mediante una histórica expedición científica. Richer en la Cayenne (Guayana francesa) y Cassini en París observaron la paralaje de Marte y estimaron su distancia a la Tierra. De esta forma Cassini calculó que el Sol dista de la Tierra 140 millones de km, y sólo se quedó corto en un 7 % de su valor verdadero.



Cassini y su hijo mediante observaciones equivocadas hechas en Francia afirmaban que la Tierra estaba achatada en el ecuador, por lo que la teoría de la gravitación de Newton estaba equivocada y con ello también los cálculos de Richer. Por ello se encargó en 1735 al geógrafo francés Charles Marie de la Condamine (1701-1774) realizar una expedición a Perú cerca del ecuador para la determinación de la forma exacta de la Tierra. Otra expedición al mando del también francés Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) fue enviada a Laponia en el extremo norte de Suecia y los resultados fueron concluyentes, la curvatura es claramente mayor en el ecuador, los Cassini estaban equivocados, Richer tenía razón y se confirmó la teoría de Newton.



Giovanni Cassini.

Por otro lado, en el inicio del siglo XVIII las estrellas se veían “quietas”, pues ninguna mostraba paralaje contra el fondo del cielo. El distinto brillo de las estrellas invitaba a considerarlas que estaban a diferentes distancias, pero tampoco tenían por qué ser todas ellas equibrillantes.

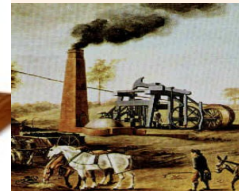
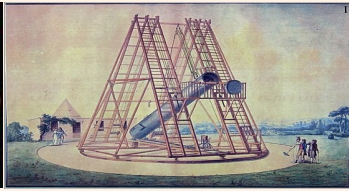
En 1718, el inglés Edmond Halley (1656-1742) contrastó sus estudios sobre la posición de las estrellas con el mapa estelar de Tolomeo y concluyó, al comprobar la diferencia de posición de Aldebarán, Arturo y Sirio, que se habían movido, por lo que las estrellas tienen movimiento propio aunque aparentemente sea muy lento.

De esta forma, a partir de entonces proliferan las conjeturas acerca de los movimientos de las estrellas y a mediados del siglo XVIII queda claro que no existe ni bóveda celeste rígida ni tampoco una franja relativamente estrecha en la que estuviesen todas las estrellas. En consecuencia, las estrellas pululan por un espacio vasto e indefinido y como no se detectaba paralaje se concluyó que estaban a distancias enormemente grandes. De esta forma, a medida que se desvanece la noción de la bóveda celeste crece la certeza de que el Sol era una estrella más.



Halley y el cometa que lleva su nombre.

Estudiando los movimientos de distintos cometas, Halley se dio cuenta en 1705 que el cometa que había descubierto en 1682 tenía el mismo itinerario que los que habían aparecido en 1456, 1531 y 1607 y pensó que se trataba del mismo cometa con una órbita muy alargada alrededor del Sol, haciéndose sólo visible cuando se aproximaba a la Tierra. Halley predijo que dicho cometa volvería a aparecer en 1758 y así lo hizo y desde entonces se conoce como el cometa de Halley y ha vuelto a aparecer en 1835, 1910 y 1986. La conclusión más importante es que cuando se deja de ver el cometa es porque se traspone bastante por detrás de Saturno, el planeta más alejado de los entonces conocidos, por lo que la acción del Sol llega muy lejos y las dimensiones del sistema solar son más grandes de las previstas hasta entonces.



En 1781 el germano-inglés William Herschel (1738-1822) descubre Urano, con lo que se duplica la extensión del sistema solar conocido (es decir, con respecto de la órbita de Saturno) y en 1793, analizando movimientos de estrellas próximas descubre las estrellas binarias cuyos desplazamientos conjuntos son fruto de la atracción gravitatoria.

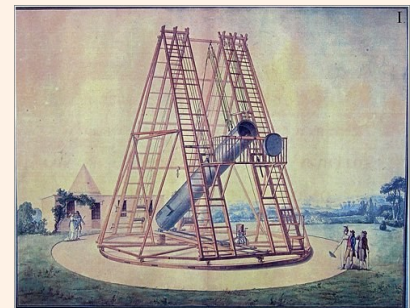
Herschel abordó la tarea de estudiar el posible movimiento del Sol y estableció que se movía hacia la constelación de Hércules. En 1785 presenta un mapa de la Vía Láctea como resultado de una exploración sistemática con su telescopio de 20 pies, dividiendo el cielo en sectores y comprobó que la hipótesis de Kant con el Sol cerca del centro de la galaxia era correcta. En 1809 Herschel completó un gigantesco telescopio de 40 pies (12,2 m), con un espejo de 48 pulgadas de diámetro (1,22 m) que pesaba una tonelada y era muy difícil de manejar.

El francés Joseph Louis de Lagrange, después de aplicar en su Mecánica Analítica la ley de la gravitación a los sistemas en los que influían más de dos cuerpos, la utilización del principio de la mínima acción a la Mecánica Celeste, le permitió formular la ley de la inmutabilidad del equilibrio del sistema planetario.

El gran astrónomo francés Pierre Simon Laplace (1749-1827) aplicó la ley de gravitación de Newton a todos los detalles hasta entonces conocidos del sistema solar. Dedicó casi toda su vida a la realización de su grandiosa obra: "Mecánica Celeste", pues inicio su estudio a los veinticuatro años y no lo terminó hasta dos años antes de su muerte, sus cinco volúmenes aparecieron entre 1799 y 1825. Su principal conclusión es que pudo afirmar que mientras el sistema solar permaneciera aislado, dicho sistema permanecería tal como está por un período indefinido de tiempo, siempre que el sol no cambiase drásticamente de su naturaleza. Dicha afirmación causó una gran impresión en los físicos y astrónomos de la época, pues mientras Newton se vio obligado a recurrir a la intervención divina que de tiempo en tiempo pondría en orden en el sistema solar perturbado (variaciones de las características orbitales de los planetas debido a las inclinaciones o excentricidades orbitales) para así preservarlo de su destrucción, por el contrario Laplace prueba la estabilidad del sistema solar, creando una imagen de un mundo libre de la intervención divina, y donde el universo aparece desde entonces como un mecanismo cíclico comparable a un reloj que se da cuerda asimismo.



Herschel.



Telescopio de 40 pies de Herschel., pero la mayor parte de su trabajo como astrónomo lo realizó con su telescopio de 20 pies.



En el siglo XVIII, el francés Charles Messier (1730-1817) publica su valioso catálogo de objetos celestes con aspecto nebuloso que recopiló desde 1758 hasta 1784, por lo que Messier ha pasado a la historia como el mejor cazador de cometas.



“Qué ironía, que de los descubrimientos del piadoso Newton surgiese la doctrina mecanicista con el concepto materialista y ateo del Universo”. Se dice que Napoleón, hojeando el tratado de Laplace, le dijo que no hacía alusión alguna de Dios a lo largo de él, al lo que el autor respondió: no tuve necesidad de tal hipótesis.

Uno de los perdurables méritos de Laplace es el introducir en el tratamiento de sus problemas mecánicos el concepto de potencial creado por Euler y Lagrange. La fecunda noción recibió más tarde importantes aplicaciones en el campo de la dinámica de los fluidos y en la teoría del electromagnetismo. Aunque parezca extraño, Laplace es más conocido por su famosa teoría del origen del sistema solar que por cualquiera de sus otras contribuciones. Laplace sugirió en 1796 que el sistema solar se originó a partir de

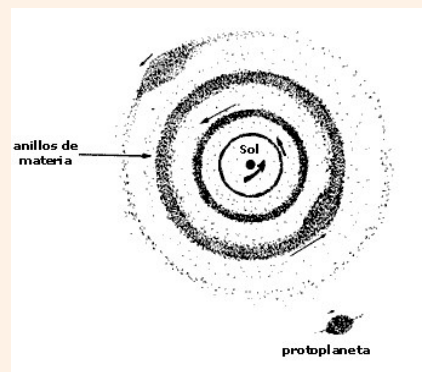


Laplace.

una gigantesca nebulosa o nube de gas en rotación. A medida que el gas se fue contrayendo el movimiento de rotación se aceleró y un anillo de gas quedó fuera del núcleo central por la fuerza centrífuga. Este anillo de gas se condensaría más tarde para formar los planetas, girando en el mismo sentido de la nebulosa original. El núcleo de la nube se condensaría finalmente en lo que habría de ser el Sol. Esta hipótesis nebular captó la imaginación de los astrónomos de la época y se mantuvo como la más aceptada del origen del sistema solar a lo largo de todo el siglo XIX.

Como consecuencia de la condensación de la nebulosa gaseosa, la nube se va aplanando en forma lenticular, se disgregan anillos de la parte ecuatorial a medida que aumenta la velocidad de rotación y éstos se concentran en planetas con sus satélites y la parte central se condensa en una gran estrella incandescente. Esta concepción especulativa permite explicar el hecho de que todos los planetas giran prácticamente en el mismo plano y en el mismo sentido.

La teoría nebular de Laplace es similar a la que expuso el filósofo Kant, a la que llegó de modo independiente y casi seguramente sin conocer la kantiana, por lo que desde entonces se denomina hipótesis nebular de Kant-Laplace, y que fue bien acogida por los astrónomos del siglo XIX. Según Kant la formación del sistema solar ocurre a partir de la condensación de una nube de gas (nebulosa gaseosa) en rotación cuyos materiales por efecto de la propia gravitación se contraen, se condensan e incrementan su velocidad. La visión del Cosmos de Kant no era estática, pensaba que la acumulación de perturbaciones gravitatorias conduciría un día a la aniquilación de la galaxia, aunque de este nuevo caos, por la misma acción de las leyes que contribuyeron a su formación y a su destrucción, surgirán nuevas galaxias: el Cosmos de Kant es un Cosmos cíclico. A partir de un punto central, en donde las inhomogeneidades del caos iniciaron la formación del Universo, la Creación se extendió como las ondas den un estanque cuando se arroja una piedra, para renovarse de nuevo en oleadas creadoras sucesivas subsiguientes a cada aniquilación.



Representación de la hipótesis nebular de Kant-Laplace.



3. El desarrollo de la acústica.

Como en los problemas de la Mecánica, en los de la Óptica la autoridad de Newton permaneció absoluta en el transcurso de este siglo. La hipótesis corpuscular sostenida por el gran inglés contó con una adhesión casi universal, aunque a pesar de ello, se manifestaron dudas pero con poca seguridad de sí misma. El mismo Euler se preguntó cómo reconciliar la imagen granular de la luz con la existencia de cuerpos transparentes, pues las partículas luminosas sólo pueden atravesarlos por sus poros, y como los rayos luminosos los atraviesan en todas direcciones, una sustancia transparente debería consistir sólo en poros.

En el campo de la Acústica, el investigador inglés Brook Taylor (1685- 1731) desarrolló dentro de la investigación matemática lo que se llama cálculo de las diferencias finitas y, entre sus distintas aplicaciones, se usó para determinar la forma del movimiento de una cuerda vibrante, reducido por él por vez primera con éxito a principios mecánicos. El mismo trabajo contenía el famoso Teorema de Taylor, cuya importancia sólo se reconoció en 1772, cuando Lagrange se dio cuenta de su valor y lo definió como "el diferencial principal del fundamento del cálculo".

En 1715, Taylor encuentra que el movimiento de un punto arbitrario de la cuerda es el de un péndulo simple y determina su tiempo de vibración (período). Obtiene la ecuación diferencial de la cuerda vibrante, es decir la ecuación unidimensional de ondas, y a partir de ella halla una solución: la forma de la curva que toma la cuerda en un instante dado es sinusoidal.



Brook Taylor.

En cualquier caso, el verdadero fundador de la Acústica experimental es el alemán Ernst Chladni (1756-1827), que evidenció la relación entre el sonido y los movimientos vibratorios del sistema que lo produce. Gracias a los experimentos de Chladni y al análisis de Euler y Bernoulli, la mayoría de los fenómenos fundamentales de la Acústica fueron aclarados en gran medida durante el siglo XVIII. Las vibraciones sonoras, longitudinales y transversales, fueron estudiadas, sus velocidades en los diferentes medios quedaron determinadas y los factores que reglan la altura y la intensidad del sonido aparecieron con nitidez, sin embargo el timbre permaneció enigmático hasta el trabajo de Helmholtz en el siglo XIX.



Chladni.

No obstante, si en la época post-newtoniana se sabía que el sonido era producido por vibraciones, se ignoró qué era lo que verdaderamente vibraba. Las opiniones eran confusas, siendo la teoría más aceptada la de que las partículas del éter mezcladas con el aire eran las que transportaban las oscilaciones del sonido de un punto del espacio a otro, y esta incertidumbre no desapareció del todo hasta los comienzos del siglo XIX.



4. Los problemas del calórico.

En el siglo XVIII, el calor, igual que la luz y la electricidad, era una sustancia sin peso que pasa de un cuerpo a otro sin que su cantidad sufriese modificación alguna. Las ideas de clarividencia de Bernoulli quedaron postradas hasta los experimentos de Rumford. No obstante, el siglo XVIII tiene el mérito de crear el concepto de cantidad de calor y de medirlo.

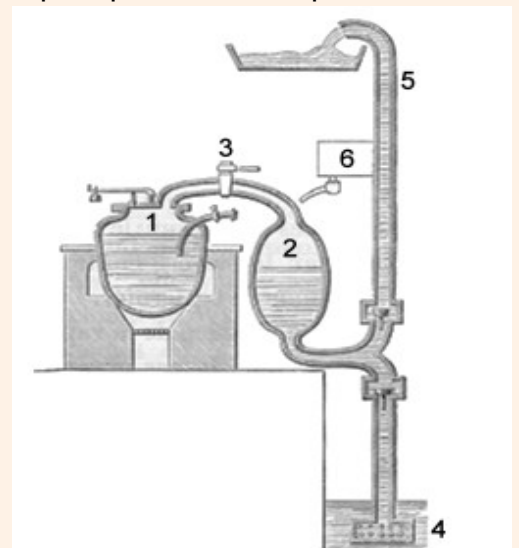
El escocés Joseph Black (1728-1799) realiza su famoso experimento de las mezclas, separó el concepto cantidad de calor de grado de calor y definió la caloría como unidad de calor. Reconoce asimismo la cantidad de calor intercambiada en los cambios de estado físicos como la fusión o la congelación, llamando calor latente (escondido) al factor que aparece o desaparece en el cambio de estado.

Black amplía sus investigaciones a sustancias no homogéneas y la idea del calor específico se va extendiendo, pero sin relacionarla a ninguna propiedad física o química sobresaliente de los cuerpos. Hay que esperar a los trabajos de Dulong y Petit, en el siglo XIX, para encontrar una relación en tal sentido.

Las experiencias de Black impresionaron profundamente a James Watt (1736-1819), mecánico de la Universidad de Glasgow, donde Black enseñaba, y de esta forma éste pudo perfeccionar la máquina de vapor de Newcomen, utilizada para achicar agua de las minas de carbón británicas.

A finales del siglo XVII, las aguas subterráneas suponían un grave problema para la minería de carbón, pues las bombas existentes no eran capaces de desarrollar una potencia suficiente para extraer el agua desde la profundidad que tenían ya los pozos mineros. Dicha tarea se hacía a mano o con animales, por lo que el desarrollo de la máquina de vapor fue un gran salto tecnológico al aplicarse a la realización de esta labor.

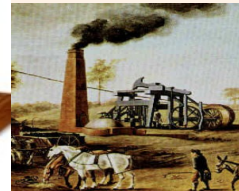
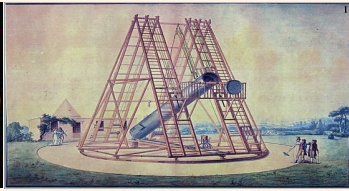
La máquina de vapor debe su desarrollo al alemán Guericke, que demuestra que la presión atmosférica hace maravillas si se consigue el vacío, pero si éste se hace a mano la faena es lenta. En 1698, se le ocurre al mecánico inglés Thomas Savery (1650-1715) idear un artefacto que permite solucionar el problema de la extracción del agua del interior de las minas de carbón, donde el vacío se obtiene llenando un recipiente de vapor y haciéndolo condensar después.



Esquema de máquina de Savery:

1. El recipiente con agua hirviendo.
2. El recipiente con agua fría.
3. Válvula de presión.
4. Colector de agua.
5. Tubo hacia el exterior protegido con una válvula antirretorno.
6. Espita para rellenar agua en la caldera.

La máquina térmica de Savery fue el primer dispositivo capaz de realizar trabajo mecánico: elevar una cantidad de agua desde una cota baja hasta una cota alta, venciendo la fuerza gravitatoria, en procesos cíclicos y empleando para ello un combustible que se quema.



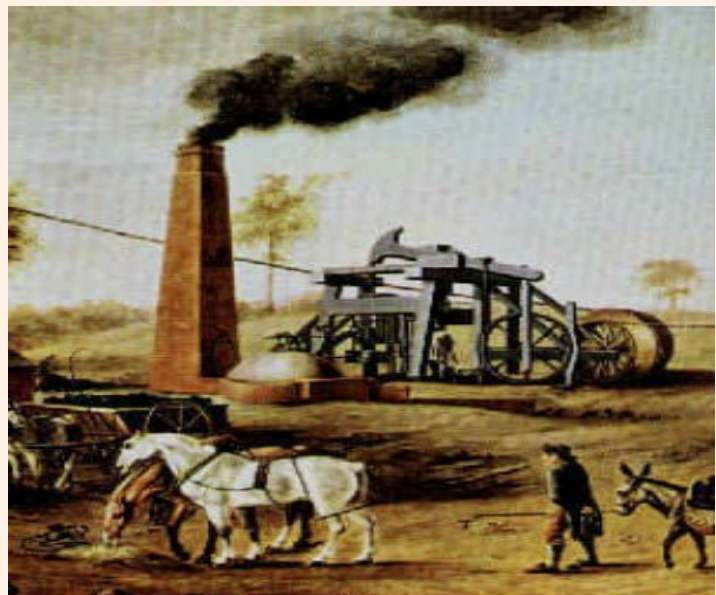
Thomas Newcomen (1663-1729), herrero de profesión, mejora en 1712 el artefacto de Savery, al construir su máquina de vapor, que opera a presión atmosférica, pero necesita de cilindros bien pulimentados en los que deben ajustar unos émbolos con suficiente hermetismo, lo cual en dicha época no era fácil de conseguir.

El principio de la máquina de Newcomen era la creación del vacío en el cilindro, que permite impulsar un pistón por la presión del aire exterior; sin embargo, el vacío se formaba calentando y enfriando alternativamente el cilindro, lo que implica un gasto grande de combustible.

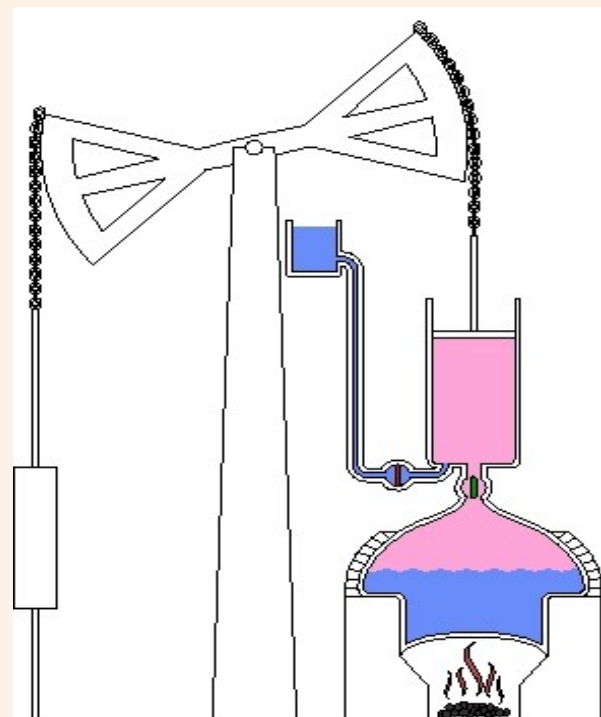
La máquina de Newcomen supuso una mejora frente a la máquina de Savery, aunque el funcionamiento de ambas máquinas era similar. Las dos creaban el vacío en un depósito a base de enfriar vapor de agua. La diferencia estaba en que mientras en la máquina de Savery era el propio vacío del depósito el que absorbía el agua de la mina, en la máquina de Newcomen el vacío creado en un cilindro tiraba de una viga hacia abajo.

La viga estaba situada en forma de balancín, de modo que al llenarse el vacío del cilindro con vapor, la viga volvía a subir. Este movimiento de vaivén accionaba una bomba alternativa que extraía el agua de la mina.

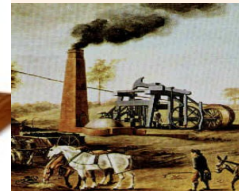
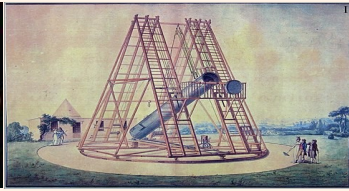
Los defectos de la máquina de Newcomen fueron remediados por Watt, que concibió la idea de acoplar un condensador independiente, consistente en una cámara agregada al cilindro en la que el vapor podía ser admitido y condensado sin necesidad de enfriar el cilindro. El condensador se podía mantener frío constantemente, mientras que el cilindro se mantenía siempre caliente. De este modo, los dos procesos de calentar y enfriar podían verificarse a la vez. En 1769 Watt patentó su máquina de vapor.



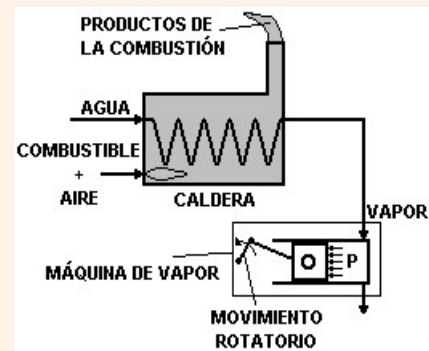
Máquina de Newcomen trabajando en una mina. Newcomen inventó su máquina de vapor atmosférico en 1712, pero fue asesorado por el físico Robert Hooke y el mecánico John Calley.



Esquema de la máquina de Newcomen.



En 1774 Watt creó un mecanismo, accionado por la propia máquina, para inyectar alternativamente vapor a ambos lados del pistón, la llamada máquina de vapor de doble efecto. En 1781 ideó la manivela para transformar el movimiento oscilatorio del sistema articulado del pistón del cilindro en rotativo, capaz de hacer girar una rueda, y de esta forma la máquina de vapor se convirtió en algo más que una simple bomba de agua y se aplicó a una gran diversidad de actividades. En seguida fue usada en las fundiciones de hierro para mover los fuelles que mantenían una corriente de aire en las fraguas y además para mover los martillos que aplastaban el metal. De este modo la máquina de vapor se convirtió en un dispositivo que permitía aprovechar la energía térmica procedente de la combustión del carbón, realizando un trabajo mecánico.



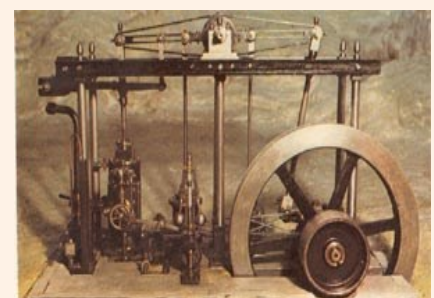
Máquina de vapor.

La máquina de vapor de Watt aparece en el momento justo para poder ser utilizada por la industria textil, que se encontraba en fase de desarrollo de la mecanización de los procesos de hilado y tejido. Watt se dedicó a fabricar máquinas de vapor, y al principio las cosas no le fueron bien, porque la construcción de sus primeras máquinas se obstaculizó por la falta de mecánicos hábiles. Watt se lamentaba de que los mecánicos le entregaban cilindros que tenían 1/8 de pulgada más ancho en un extremo que en otro, porque las barrenadoras-mandrinadoras (máquinas-herramientas) que se usaban estaban pensadas para fabricar cañones. La dificultad se superó gracias al esfuerzo del socio de Watt, el industrial Matthew Boulton, para formar mecánicos capacitados y a técnicos como John Wilkinson, que, en 1775, ideó una barrenadora-mandrinadora que hacía cilindros con un error máximo del espesor de una moneda de 6 peniques en un diámetro de 72 pulgadas, tolerancia muy grosera pero suficiente para garantizar el ajuste y hermetismo entre pistón y cilindro.



James Watt.

En la década 1780- la máquina de Watt se aplica en la industria textil y en las fundiciones de hierro. No obstante, Watt se opuso al uso de vapor a alta presión, y hay quien le acusa de haber ralentizado el desarrollo de la máquina de vapor por otros ingenieros, hasta que sus patentes expiraron en 1800. Junto a su socio Matthew Boulton, luchó contra ingenieros rivales como Jonathan Hornblower, quien intentó desarrollar máquinas que no cayeran dentro del ámbito generalista de las patentes de Watt.



La máquina de vapor fue el aparato que más contribuyó a la expansión de la Revolución Industrial, ya que el uso del vapor no tiene limitaciones geográficas como otras fuentes de energía, como la hidráulica o la eólica.

Watt creó la unidad caballo de potencia para comparar la salida de las diferentes máquinas de vapor y todavía hoy se utiliza dicha unidad para expresar la potencia de los automóviles.



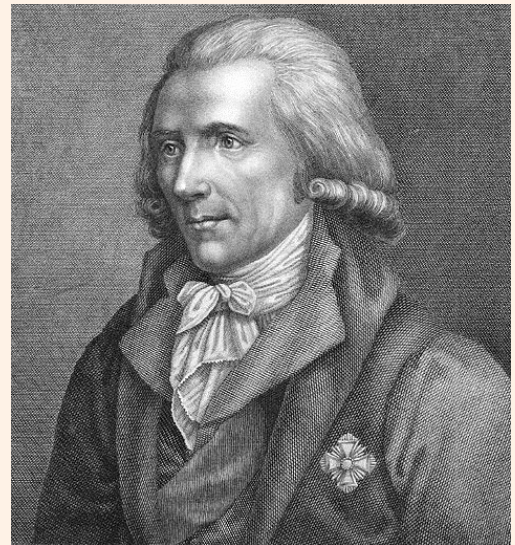
A pesar del avance que supuso los trabajos de Black, éste fue el más ardiente defensor de la naturaleza material del calor y hay que esperar a las investigaciones del médico, físico e inventor norteamericano Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814) para probar con experimentos que el calor no es una sustancia o un fluido, desechando así la idea material del calor o calórico a partir de 1798.

Rumford es el primero en medir, aunque de una forma grosera, la relación numérica entre trabajo mecánico y calor, la magnitud que años más tarde Joule llamaría equivalente calórico. De esta forma Rumford aportó la primera prueba de la naturaleza cinética del calor.

Antes de acabar el siglo XVIII, en 1800, se realiza otro descubrimiento importante debido a William Herschel, al abrir el estudio de las radiaciones calóricas.

Desde la Antigüedad hasta el Renacimiento, la humanidad creyó que los rayos de calor y los rayos de luz eran inseparables. Los discípulos florentinos de Galileo demostraron la existencia de rayos calóricos distintos de los luminosos. Herschel, al examinar en 1800 los colores a lo largo del espectro solar, con un termómetro sensible, se percató de que la mayor elevación de temperatura se encuentra más allá del rojo, en la parte invisible del espectro, y descubrió así los rayos infrarrojos.

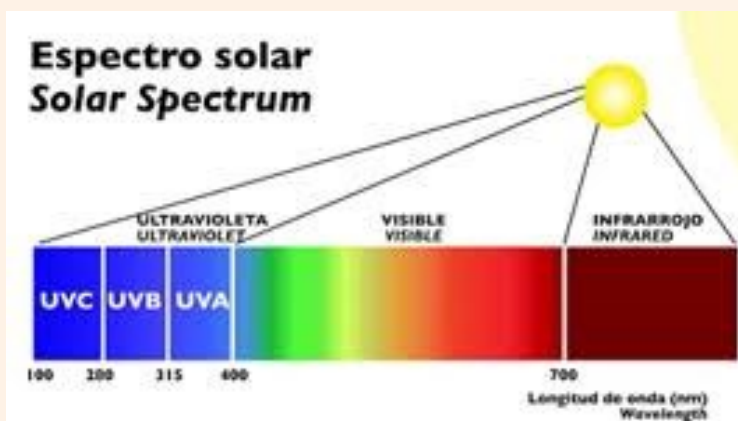
Los experimentos de Herschel impulsaron al alemán Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) a preguntarse si no existen rayos más allá de la otra extremidad del espectro, y encontró en 1801 los rayos ultravioleta, como así relató al editor de los Annalen der Physik el 22 de febrero de dicho año: he encontrado rayos solares en la parte violeta del espectro de colores, fuera de ella. De esta forma, en los albores del siglo XIX el espectro de la radiación solar se extendió más allá de los herméticamente siete colores de Newton.

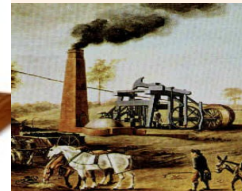
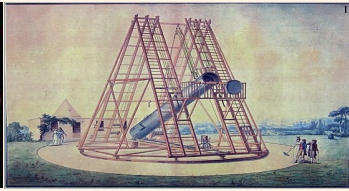


Benjamin Thompson.



Johann Wilhelm Ritter.





5. Los primeros electricistas.

La electricidad explora el dominio de la electricidad estática y a l final del siglo XVIII aparecen las primeras leyes cuantitativas. Ya desde tiempos inmemoriales el ser humano se dio cuenta de que después de frotar con paño la resina ámbar, ésta adquiría la capacidad de atraer algunos objetos ligeros, como trozos de papel. La historia registra al sabio griego Tales de Mileto, como el primero que hizo experimentos de esta naturaleza, aunque es bastante probable que desde antes se conociese este tipo de fenómeno. En griego, ámbar se dice elektron y de esta palabra se deriva electricidad. Durante muchos siglos este tipo de experiencias no son más que curiosidades hasta que en 1663, el alemán Otto von Guericke construye el primer generador de electricidad, que producía cargas eléctricas por medio de fricción. Sobre un armazón de madera Von Guericke montó una esfera de azufre sobre un eje. Mientras con una mano hacía girar la esfera, con la otra la presionaba. Así obtenía cargas eléctricas sobre la esfera, que atraían diversos objetos cercanos.

En las primeras décadas del siglo XVIII ya existen máquinas que producen cargas eléctricas por medio de fricción. Entre 1729 y 1736 los ingleses Stephen Gray (1696-1736) y Jean Desaguliers (1683-1744) encuentran que si unían por medio de un alambre metálico un tubo de vidrio previamente frotado con un trozo de corcho, éste se electrificaba. Comprueban que el corcho se electrifica ya que al acercarle trozos de papel éstos eran atraídos por él. Si en lugar de efectuar la unión con un alambre metálico empleaban un hilo de seda, el corcho no se electrificaba. Además descubrieron que si la línea de transmisión hacía contacto con el suelo, el corcho dejaba de electrificarse. También descubren la electrificación por influencia y reconocen la conductividad de los líquidos. Con todos estos experimentos llegan a la conclusión de que la electrificación es un efecto que se presenta en la superficie de los cuerpos, en donde aparece lo que llaman una "virtud" o "fluido" eléctrico al que en la actualidad se le llama carga eléctrica. Encuentran que la carga eléctrica puede moverse libremente de un cuerpo a otro a través de ciertos materiales que llaman conductores (el cuerpo humano, los metales o el aire húmedo). También existen materiales que no conducen electricidad, a los que se llama aisladores o no-conductores (la madera o la cerámica).



Máquina de electrificación de Guericke. En el siglo XVIII, las máquinas que producían cargas eléctricas por medio de fricción funcionaban esencialmente a base de discos que se hacían girar por medio de manivelas. Al girar se friccionaban con otra superficie y se cargaban, de la misma forma en que un trozo de vidrio se carga al frotarlo con un paño. Estas máquinas producían cantidades respetables de carga eléctrica y al acercarlas a otras superficies se producían chispas.



En 1746, el holandés Pieter van Musschenbroek (1692-1761) construye en Leiden el primer dispositivo para almacenar cargas eléctricas (antecesor del condensador). Era una botella de vidrio que estaba recubierta, tanto en sus paredes interiores como exteriores, de una capa muy delgada de estaño. En esta famosa botella de Leiden se pudieron almacenar considerables cantidades de carga eléctrica, producidas por las máquinas de fricción.



Entre 1733 y 1734, el francés François Du Fay (1698-1739) frotó con tela de seda dos tubos de vidrio iguales. Al acercar los tubos vio que siempre se repelen y concluye que dos materiales idénticos se repelen cuando se electrizan en formas idénticas. Como cada uno de los tubos adquiere el mismo tipo de carga afirma que cargas iguales se repelen.

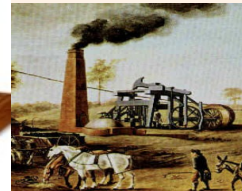
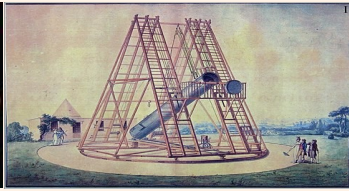
Du Fay hizo otros experimentos con diferentes materiales y concluye de que existen dos tipos de electricidad; a una la llamó vítrea (la que aparece cuando se frota con seda el vidrio) y a la otra resinosa (la que aparece cuando se frota al hule con piel). Y en 1734 escribe que la característica de ambas electricidades es que un cuerpo cargado con electricidad vítrea, por ejemplo, repele a todos los demás cargados con la misma electricidad y, por el contrario, atrae a los que poseen electricidad resinosa.

En la década siguiente, el norteamericano Benjamín Franklin (1706-1790) realiza estos mismos descubrimientos en Estados Unidos, sin conocer los trabajos del francés. Según él, en 1747, el vidrio electrizado había adquirido un exceso de fluido (carga) eléctrico, y le llamó a este estado positivo (la electricidad vítrea). Al estado de la seda con la que frotó el vidrio lo llamó negativo (la electricidad resinosa), pues consideraba que había tenido una deficiencia de fluido (carga) eléctrico. Y propuso una teoría simple del proceso de electrización a partir del modelo imperante en la época de la electricidad en base a un fluido.



A mediados del siglo XVIII, Benjamín Franklin se dio cuenta de que durante las tormentas había efectos eléctricos en la atmósfera, y descubrió que los rayos eran descargas eléctricas que partían de las nubes. Franklin logró juntar cargas eléctricas de la atmósfera por medio de varillas muy picudas. A la larga, esto dio lugar a la invención del pararrayos, que consistía en una varilla metálica picuda conectada a la tierra; las cargas eléctricas del rayo eran atraídas a la varilla y conducidas a la tierra. Con esto se evitaba que un rayo cayera sobre una casa, pues era conducido a tierra sin causar ningún daño. Posiblemente ésta fue la primera aplicación práctica de la investigación científica de la electricidad.

Franklin afirma que cierta cantidad de un único fluido determina el estado normal, neutro, del cuerpo, y un exceso o un defecto produce electricidades de distinta clase. El frotamiento modifica la distribución del fluido en el cuerpo frotado y en el frotador: el uno pierde electricidad y el otro la gana. Además, se puede concluir de una multitud de resultados experimentales que dos cargas eléctricas del mismo tipo (negativa-negativa o positiva-positiva) se repelen, mientras que dos cargas de tipos distintos (positiva-negativa) se atraen. Estos planteamientos son comunes con la teoría actual del fenómeno, aunque no se acepten las ideas con que las concibió este científico.



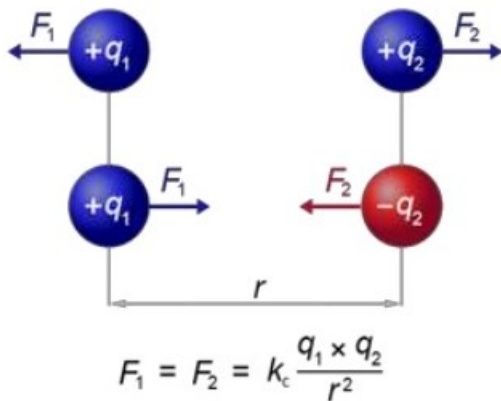
Siendo el siglo XVIII testigo de la gran fecundidad de la ley newtoniana, la semejanza entre la atracción gravitatoria y eléctrica debía, tarde o temprano, sugerir la idea de la analogía, de que la ley de ambas podría ser parecida, cuando no idéntica. Así, el ingeniero militar francés Charles Coulomb (1736-1806), al aplicar el principio de la balanza de torsión a las investigaciones eléctricas pudo encontrar las características de las fuerzas entre partículas eléctricamente cargadas y halló su ley de tipo newtoniano en 1785.

Además, sus trabajos sobre la repartición de la electricidad en los conductores le llevaron a la conclusión de que las cargas eléctricas están sólo adheridas a la superficie, lo cual es perfectamente coherente con su ley de corte newtoniana. Por último, Coulomb hizo ver experimentalmente que la densidad eléctrica de un conductor no depende de su sustancia, sino de su forma.



Charles Coulomb.

Ley de coulomb



Las investigaciones de Coulomb cierran las numerosas incursiones hechas por el siglo XVIII en el inmenso dominio de la electricidad estática y abren el camino a los nuevos descubrimientos que aportan Galvani y Volta en el campo de la electrodinámica en el inicio del siglo XIX.



6. El sistema métrico decimal.

La Revolución Francesa en el atardecer del siglo XVIII convulsionó el orden social establecido y también llegó hasta el mundo de la ciencia. Los científicos franceses de los últimos tiempos de la Monarquía Absoluta estaban plenamente imbuidos del espíritu de progreso de los filósofos y en la exaltación de la razón y de la destrucción de los últimos vestigios feudales. Dentro del campo de la ciencia, la primera medida de que se ocuparon los científicos del régimen revolucionario fue la reforma de los pesos y medidas y la implantación del sistema métrico decimal. La multiplicidad de pesos y medidas existentes entonces atormentaba al mundo técnico y científico y se encontró la solución con el sistema métrico decimal.

En la antigüedad los sistemas de medida eran muy diversos, aunque los más utilizados, procedían de los grandes imperios. Así, se conocen los sistemas de unidades egipcios, babilónicos, griegos y romanos. Este último, con más o menos dispersión, se utilizó hasta el siglo XVIII.

En 1790, la Asamblea Nacional francesa encargó a la Académie des Sciences de París, la elaboración de un sistema para resolver el problema de la diversificación de las unidades de medida. Se formó un comité para elaborar un proyecto y en 1791 se presentó un informe a la Asamblea Nacional en base al sistema decimal y en el que trabajaron Lagrange, Laplace y Legendre junto a otros. Al comité le impresionó la exactitud con que el matemático francés Adrien-Marie Legendre (1752-1833) y otros habían medido la longitud del meridiano terrestre y de esta forma propusieron como solución la implantación del sistema métrico decimal en base a la unidad de longitud metro definido como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre por París.

En 1791 el sistema métrico estaba ya casi completamente listo para su aplicación, pero las vicisitudes políticas de la época retrasaron el momento. Aunque se cerró la Académie des Sciences en 1793, el comité siguió trabajando. En 1799 concluyen sus trabajos del sistema métrico decimal y se implanta en dicho año en Francia.

La mayor innovación del sistema métrico decimal consistía en usar los múltiplos y submúltiplos de longitud (mm, cm, dm, m, dam, hm, km) y por extensión para unidades de superficie y volumen. La masa se definió como la masa de un cubo de agua de arista 1 dm, (el kg) que contenía 1000 g (unidad de masa). La unidad de tiempo no se consideró, y de hecho las divisiones de las unidades de tiempo no siguen un sistema decimal en la actualidad.



Legendre.



En 1822, el matemático y físico francés Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), observó Fourier en su Teoría Analítica del Calor, la necesidad de utilizar un sistema de unidades prefijado para el uso de ecuaciones científicas, definiendo unas cantidades secundarias en términos de otras cantidades que se deberían considerar como fundamentales.

A pesar de las ventajas del sistema métrico decimal, su implantación fue lenta, aunque en 1869 ya lo habían adoptado 20 países. Su adopción universal se hizo con el Tratado o Convención del Metro, que se firmó en Francia el 20 de mayo de 1875, y se estableció la creación de una organización científica, la Oficina Internacional de Pesas y Medidas con sede en Sèvres, cerca de París, que tuviera una estructura permanente que permitiera a los países miembros tener una acción común sobre todas las cuestiones que se relacionen con las unidades de medida y que asegure la unificación mundial de las mediciones físicas.

El 1889 se reunió la primera Conferencia Internacional de Pesas y Medidas que definió los patrones de longitud (m) y masa (kg) como dos prototipos depositados en Sèvres. Posteriores reuniones de la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas marcan la evolución del sistema y el cálculo de las unidades derivadas. En 1960 la Conferencia General de Pesas y Medidas estableció el Sistema Internacional de unidades (SI) en base inicialmente a seis unidades físicas básicas o fundamentales y en 1971 fue añadida la séptima unidad básica, la de cantidad de sustancia, el mol. El Sistema Internacional de Unidades está formado por dos clases de unidades: unidades básicas o fundamentales y unidades derivadas. De la combinación de las siete unidades fundamentales se obtienen todas las unidades derivadas.

Simultáneamente al desarrollo del Sistema Métrico Decimal y su conversión en el Sistema Internacional, han subsistido otros sistemas de unidades, como el Sistema Cegesimal o cgs, adoptado en 1871, y es un sistema basado en el centímetro (cm), gramo (g) y segundo (s) y fue utilizado por los físicos desde el último tercio del siglo XIX hasta la adopción del SI.

Las unidades básicas del Sistema Cegesimal son similares a las del SI, con la diferencia de que las unidades de longitud y masa utilizan submúltiplos de estas. La razón para el uso de este sistema de unidades se debió a que los valores de las unidades de las magnitudes de este sistema eran más apropiados para expresar los resultados obtenidos en los laboratorios de Física. Pero su mantenimiento durante muchos años se debió principalmente a la gran simplicidad de este sistema en el uso de las unidades electrostáticas y electromagnéticas.



Fourier.



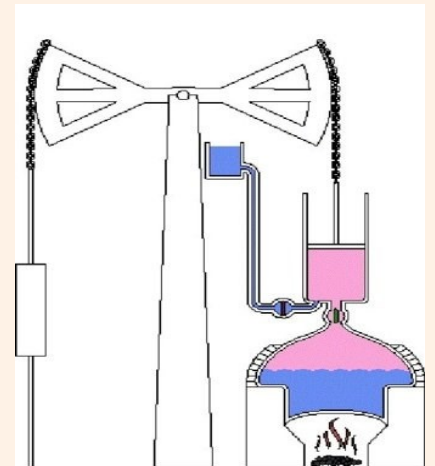
Oficina Internacional de Pesas y Medidas con sede en Sèvres.

El Sistema Internacional de unidades (SI) es una evolución de los antiguos sistemas de unidades. Pretende simplificar y unificar el uso de las distintas magnitudes.



7. Actividades.

1. ¿Quién fue el inventor del cálculo vectorial?
2. ¿Es verdad que la ciencia entró en decadencia a la muerte de Newton?
3. ¿Se puede afirmar que en el siglo XVIII la Física se matematizó?
4. ¿A qué se llama expedición científica?
5. ¿Es cierto que las estrellas están quietas y fijas en la bóveda del firmamento?
6. Explica cuál ha sido la importancia del descubrimiento del telescopio en el avance de la astronomía.
7. Explica el significado de la siguiente frase: “Se dice que Napoleón, hojeando los escritos de Laplace, le dijo que no hacía alusión alguna de Dios en los mismos, al lo que le respondió: no tuve necesidad de tal hipótesis”.
8. ¿A qué se llama sonido?
9. ¿Qué es lo que se creía en el siglo XVIII que vibraba en la transmisión del sonido?
10. ¿A qué se destinaba la máquina de Savery?
11. ¿Qué es el calor latente?
12. ¿Es verdad que el descubrimiento de la maquina de vapor se debe más a técnicos que a puros científicos?
13. Da una justificación sobre el sentido del siguiente texto:



“El conde Rumford prestó atención a la teoría del calor, por primera vez, durante la serie de experimentos que realizó sobre la fuerza de la pólvora. La teoría calórica del calor, predominante en esa época, definía a éste como un fluido libre de penetrar en un cuerpo cuando se lo calentaba y salir del mismo modo cuando se enfriaba. El fluido en cuestión poseía volumen; por consiguiente, un cuerpo caliente se expandía cuando el fluido penetraba en él y se contraía cuando el fluido lo abandonaba. Si uno piensa en los términos vinculados a la física del calor, descubre que nuestra terminología refleja todavía la influencia que esta teoría ejerció sobre el pensamiento de los físicos durante los siglos XVIII y XIX. Hablamos del "flujo" de calor desde un cuerpo hacia otro. Medimos la cantidad de calor en "calorías" y hablamos de la "cantidad de calor" que posee un determinado cuerpo. Medimos esta "cantidad de calor" con un "calorímetro". Hasta la aparición de la termodinámica, en la década 1860-70, los físicos carecían de herramienta alguna con la cual decidir entre las diversas y contradictorias teorías sobre la naturaleza del calor”.

14. En 1769 Watt patentó su máquina de vapor, ¿cuál fue la trascendencia de tal hecho?



15. Explica lo que se puede entender por rayos ultravioletas.
16. ¿Pudo Gray realizar sus experimentos sin el desarrollo anterior de las máquinas de electrización?
17. Busca información complementaria y explica el significado de la Enciclopedia de Diderot y D'Álembert en su contexto histórico.
18. Cómo es posible que Franklin hiciera sus experimentos sin saber que antes los había realizado de forma semejante Du Fay?
19. ¿Es cierto que la electricidad se puede asimilar al fluir de un sistema de cargas eléctricas?
20. Observa el dibujo del dispositivo de laboratorio adjunto y da una explicación de lo que es y para que sirve.
21. ¿Cuál es la definición de metro adoptada tras las mediciones de Legendre?
22. ¿Cuál era la razón y el interés por la utilización del sistema cegesimal de unidades, si ya se había establecido el sistema métrico decimal?
23. ¿Es cierto que los científicos de finales del siglo XVIII fueron unos revolucionarios?
24. ¿Podría haber avanzado tanto la ciencia sin la existencia de un sistema internacional de unidades?
25. Pon debajo de cada retrato el pie del científico que corresponde:

