

CALOR Y MOVIMIENTO

Autor: MAGDALENA RIUS DE RIEPEN, CARLOS M. CASTRO ACUÑA

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [DEDICATORIA](#)
- [INTRODUCCIÓN](#)
- [I. LOS FENÓMENOS NATURALES Y EL HOMBRE](#)
- [II. TEMPERATURA Y TERMÓMETRO](#)
- [III. CALOR Y TRABAJO](#)
- [IV. LAS REACCIONES QUÍMICAS Y EL CALOR](#)
- [V. EL EFECTO DE INVERNADERO](#)
- [VI. EL LENGUAJE EN LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA](#)
- [APÉNDICE](#)
- [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



Primera edición, 1989

Segunda edición, 1995

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 Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1989, Fondo de Cultura Económica, S. A. de c. v.

D. R. © 1995, Fondo de Cultura Económica

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

ISBN 968-16-4814-5 (2a. edición)

ISBN 968-16-3147-1 (1a. edición)

Impreso en México



DEDICATORIA

Para ALEJANDRA JAIDAR

Mujer extraordinaria que tuvo el talento y la sensibilidad para reconocer la importancia que representa para nuestro país la comunicación de la ciencia. Su tenacidad y compromiso con estas tareas contribuyeron, de manera decisiva, a la creación de la serie La Ciencia desde México.

El mejor homenaje, el más obligado, que puedo hacer a Alejandra Jaidar, amiga entrañable desde la infancia e impulsora de muchos proyectos que realizamos juntas, es asumir el compromiso de continuar trabajando para que, en nuestro país, la divulgación de la ciencia tenga el lugar que le corresponde dentro de la cultura integral de la sociedad mexicana.

MAGDALENA RIUS



INTRODUCCIÓN

En el desarrollo histórico de las ciencias naturales se distinguen varias etapas, las primeras están asociadas con el pensamiento mágico, los mitos y las religiones primitivas; las posteriores se caracterizan por mostrar periodos "cumbre" en los que se producen grandes descubrimientos y se conquistan nuevas fronteras, alternados con etapas más prolongadas de comprobación y consolidación de las anteriores.

Es frecuente situar los antecedentes de la civilización en la conquista del fuego por el hombre. Sin embargo la combustión, como fenómeno natural, se dio con mucha anterioridad. En los primeros tiempos, el hombre cuidaba celosamente el fuego obtenido de algún incendio natural y lo mantenía dentro de templos donde era conservado como algo sagrado. El hecho fundamental de la llamada "conquista del fuego" es que el hombre llegó a ser capaz de reproducir; controlar y hacer suyo el fuego, proceso químico que le permitió mejorar sus condiciones de vida, cambiar radicalmente sus hábitos alimenticios y asegurar su sobrevivencia.

El fuego ha sido utilizado no sólo para elevar la temperatura de los objetos, sino también para alterar sus propiedades. Por ejemplo, el cocimiento de los alimentos, más que un simple calentamiento, es un proceso que cambia las propiedades físicas o químicas de aquéllos. De igual forma, el hombre aprendió a utilizar el fuego para alterar las propiedades de los metales y fabricar diferentes utensilios.

Los instintos y la evolución de la inteligencia del hombre lo han llevado a buscar incansablemente el dominio de los fenómenos naturales, tanto para satisfacer sus necesidades y mejorar su forma de vida como para satisfacer su natural curiosidad en desentrañar los secretos de la naturaleza.

Una vez que logró el dominio del fuego, se puede decir que la humanidad fue haciéndose dueña de la *energía*, lo cual le ha permitido aumentar su capacidad de realizar trabajo que incrementa su potencial natural y supera las limitaciones que su estructura biológica le impone. Con el dominio del fuego, el hombre descubre la posibilidad de utilizarlo para obtener calor, luz y protección contra los animales.

Desde el anterior punto de partida hasta el dominio de la energía nuclear son muchos los avances técnicos logrados por la humanidad. Lentamente, el hombre ha recorrido un camino difícil que lo ha llevado a conocer, dominar y utilizar en su provecho los fenómenos de la combustión, los eléctricos, los magnéticos y, en general, los químicos y físicos.

Así, el conocimiento de la combustión dio origen al diseño de las máquinas de vapor.¹  El dominio de los fenómenos eléctricos y magnéticos ha contribuido a la creación de máquinas y equipos cada vez más complejos que incrementan día con día la capacidad de trabajo del hombre.

Al mismo tiempo, la humanidad ha pagado un alto precio por las consecuencias no previsibles de sus descubrimientos. En la actualidad, el avance impresionante de la tecnología va acompañado de repercusiones negativas para la existencia de la especie humana.

El hombre no se ha conformado con desarrollar y aumentar su capacidad de producir trabajo útil, sino que ha realizado un estudio sistemático de las ciencias naturales con el propósito de poseer —con su razón— el mundo que lo rodea.

Así surgen, en la historia de la humanidad, disciplinas científicas cada vez más específicas y complejas que intentan explicar los fenómenos naturales. Aún hoy en día estamos lejos de *explicar* muchos fenómenos naturales que sólo describimos mediante modelos.

¿Cuál es la naturaleza del fuego, del calor, de la energía...?, para ésta y otras preguntas, el científico busca respuestas estableciendo teorías y modelos científicos, creando lenguajes específicos, entre los que se incluye al matemático, que sólo son accesibles a los especialistas o a los estudiosos. Sin embargo, los científicos también se preocupan por transmitir sus descubrimientos, tanto a los jóvenes estudiantes como a los adultos no especialistas interesados en los temas científicos de actualidad. De esa necesidad surge la divulgación de la ciencia, una disciplina que pretende extender los beneficios de la cultura científica a la sociedad.

Inicio |



[Nota 1] [<--]

¹ Véase el libro de García Colín, *De la máquina de vapor al cero absoluto*. La Ciencia desde México, núm. 5, SEP /FCE (CONACYT)

Inicio |

I. LOS FENÓMENOS NATURALES Y EL HOMBRE

La naturaleza y sus leyes se escondían en la noche, Dios creó a Newton, y todo fue luz.

(Epitafio de Pope)

LA RELACIÓN entre el hombre primitivo y los fenómenos naturales se estableció a través del pensamiento mágico y de las religiones.

Su desconocimiento y temor a los procesos de la naturaleza, hicieron que los asociara a fuerzas y seres sobrenaturales responsables de las lluvias, tormentas, sismos, la aparición del Sol, las estrellas, etcétera.

Por su particular concepción del mundo, los pueblos primitivos veían, en todo lo que les rodeaba, los efectos de las fuerzas mágicas o de los espíritus. Con los mitos y las religiones ancestrales se pretendía justificar los orígenes de los fenómenos naturales; con ello se garantizaba la estabilidad de la realidad existente y se aceptaba el destino del hombre en relación con sus preocupaciones existenciales sobre la vejez, las enfermedades, la muerte o las catástrofes.¹

En el desarrollo histórico de las ciencias naturales, al margen de las religiones y los mitos, han existido periodos de "incubación" asociados con frustraciones, tensiones, intentos erráticos y falsas aspiraciones; periodos que

Arthur Koestler² denomina "de anarquía fértil" y que son recurrentes en la historia de todas las ciencias. El hombre, para evolucionar; ha tenido que romper con viejos hábitos mentales y con fronteras absolutas. Ha tenido que elaborar; verificar y consolidar sus teorías por largos periodos previos a los descubrimientos espectaculares.

En todas las ramas del conocimiento científico se han alternado los periodos breves de conquista de nuevas fronteras, y los largos, de consolidación. Es imposible apreciar los avances de la ciencia si no se conoce la evolución histórica de las civilizaciones. El progreso técnico y científico asombra por su discontinuidad, por sus cambios abruptos en el tiempo y el ritmo.

De acuerdo con lo que sabemos, el camino se inicia en el siglo VI a. C., con la aparición en Milo, Elea y Samos³ de un gran número de pensadores, "filósofos de la naturaleza", que discuten los orígenes y la evolución del Universo; su forma, su estructura y las leyes que lo rigen. Su pensamiento y su lenguaje, en muchos casos, han quedado incorporados definitivamente en la filosofía y la ciencia actuales.

En este principio, los modelos son simples; sólo cuatro elementos: fuego, tierra, agua y aire; cuatro humores, partículas indivisibles. Se trata, sobre todo, de separar las disciplinas y líneas de pensamiento. Distinguir entre religión y medicina, y entre ésta y la astronomía. Un intento heroico de explicar la naturaleza del mundo que nos rodea y que abarca el pensamiento griego desde Tales de Mileto (¿640-537? a. C.) hasta Aristóteles (384-322 a. C.).

Después de ser rebasada esta primera frontera, viene el periodo de consolidación, de *ortodoxia*. Y luego el declive, seguido de un larguísimo periodo —nada menos que 15 siglos— de hibernación, de caminar en la dirección contraria al avance.

En los siglos XII y XIII ya se observan los primeros signos de "deshielo". Son los siglos de Roger Bacon (¿1214?-1294) y Petrus Peregrinus (siglo XIII) de la fundación de las universidades de Bolonia (1158), Oxford (mediados del siglo XIII) Cambridge (1209), Salerno (1224), Salamanca (1218) y París (1170). Sin embargo, se mantiene la línea de pensamiento científico de Aristóteles y la teología de Tomás de Aquino. ¿Cuál es el resultado? Se crea una nueva ortodoxia que conduce a otros tres siglos de esterilidad científica. Al respecto, A.

Maslow⁴ escribe: "La historia de la ciencia, o por lo menos de los grandes científicos, es la historia de repentinas y extáticas percepciones de la verdad que luego, poco a poco, son cuidadosa y cautamente validadas por trabajadores meticulosos que verifican, validan, e investigan la verdad o falsedad de las hipótesis e ideas de otros".

La segunda frontera —tan importante como la primera, establecida en el siglo VI a. C.— es superada en el siglo XIII, iniciándose la segunda época heroica de la ciencia con Kepler (1571-1630), Galileo (1564-1642), Pascal (1623-1662), Descartes (1596-1650), Leibniz (1646-1716) y Newton (1642-1727). El siglo XVIII es, nuevamente, un tiempo de asimilación, consolidación, clasificación y sistematización.

Durante el siglo XIX y lo que llevamos del XX se presenta un desarrollo explosivo, espectacular; de la ciencia y de la técnica: se desarrolla la teoría del electromagnetismo, que trata de explicar la naturaleza dual de la luz y el origen de las radiaciones. Se inician la física atómica, la electroquímica y de hecho toda la estructura moderna de la química. La física teórica profundiza en los mundos de lo infinitamente pequeño y lo infinitamente grande. ⁵



Para finalizar; algunos autores sostienen que Einstein, como un nuevo Aristóteles, ocasionará un nuevo periodo de consolidación. Por ejemplo, H. Belloc responde al epitafio de Pope de la siguiente manera:

no duró: el diablo gritando

¡eh!, creó a Einstein, que

restableció el *statu quo*...



Inicio |

[Nota 1] 

¹ El papel de las religiones respecto al Sol ya lo hemos descrito en La química hacia la conquista del Sol. La Ciencia desde México, núm. 10, SEP/ FCE/CONACYT.

Inicio

² A. Koesder, *The act of creation*, Pam Books LTD. Londres, 1970.

Inicio |

³ Islas y ciudades de la Grecia antigua.

Inicio |

⁴ A. Maslow, *La personalidad creadora*. Kairós, Barcelona 1985.

Inicio |

[Nota 5] 

⁵ Muchos de estos temas se encuentran en los libros de la colección La Ciencia desde México, SEP / FCE / CONACYT .

Inicio |

II. TEMPERATURA Y TERMÓMETRO

TEMPERATURA

¿POR CASUALIDAD pertenece usted, estimado lector; al grupo de personas que prefiere ponerse una chamarra cuando los demás están listos para vestir el traje de baño? ¿Se descubre todo lo posible en la noche, cuando las demás personas tienen frío aun bajo tres cobijas? En ese caso, sabe que los términos "frío" y "caliente" son relativos y específicos para cada persona.

Si no conoce experiencias como las mencionadas —lo cual es bastante improbable— le invitamos a realizar un pequeño experimento que es sencillo y rápido: llene tres recipientes grandes, uno con agua caliente (¡no tanto que pueda quemarse!), uno con agua fría, y el tercero con agua tibia. Sumerja su mano en el recipiente con agua caliente y la otra mano en el que contiene agua fría hasta que realmente sienta calor y frío. Inmediatamente después sumerja ambas manos en el agua tibia: sentirá el agua caliente en la mano que antes estaba en el agua fría y sentirá el agua fría en la mano que sacó del agua caliente. Esta experiencia nos muestra que, además de lo relativo de los términos "caliente" y "frío", nuestros sentidos pueden engañarnos, ya que percibimos dos sensaciones diferentes de calor para una misma temperatura.

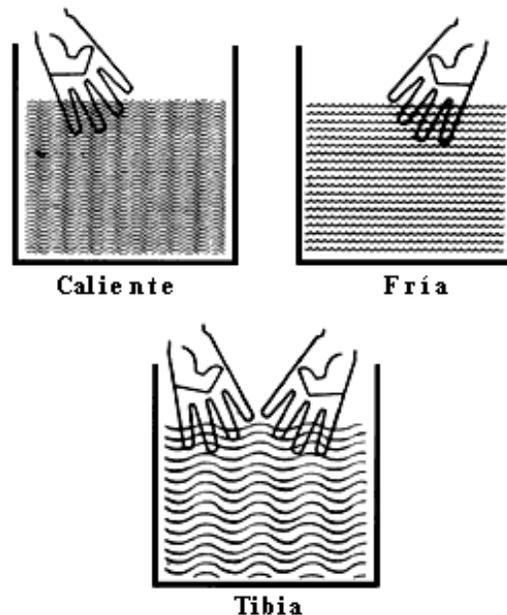


Figura 1. Nuestros sentidos pueden engañarnos.

Los experimentos han demostrado que somos capaces de percibir; a través de nuestro sistema nervioso, diferencias de temperatura muy pequeñas. Mediante el sentido del tacto, nuestra piel percibe diferencias de 0.1 grado. Lo que no podemos lograr es determinar, con nuestros sentidos, el valor absoluto de la temperatura de un cuerpo. Podemos sentir en forma cualitativa si un objeto está frío o caliente en relación con nuestro cuerpo, pero no podemos recordar, después de un tiempo, qué tan caliente o frío estaba dicho objeto. Tampoco podremos determinar cuál es la diferencia de temperatura de un cuerpo con respecto a otro.

Para poder realizar una comparación *objetiva* —o simplemente convencer a los amigos de que ponerse la chamarra está justificado— el hombre ha desarrollado un aparato de medición que no se deja engañar como nuestros sentidos. Este instrumento es el *termómetro*.

Algunos tipos de termómetro funcionan con base en el mismo principio físico: el hecho de que todas las sustancias —en mayor o menor medida— aumentan de tamaño con el calor y se contraen con el frío. A este fenómeno se le conoce como *dilatación*.

En la Grecia antigua se manejaban los conceptos de caliente y frío, y se realizaban experimentos simples que pueden considerarse, en forma retrospectiva, las bases de la termometría. Pero no fue sino hasta finales del siglo XVI (1592) cuando apareció el primer *termoscopio*, atribuido generalmente al científico italiano Galileo Galilei. Con este instrumento sólo podían obtenerse datos cualitativos, ya que carecía de una escala normativa que permitiese cuantificar las variaciones de temperatura. La idea de proveer al termoscopio con una escala y convertirlo así en un termómetro, se atribuye a Sanctorius Sanctorius, colega de Galileo, en 1611.

El gran médico de la antigüedad, Claudio Galeno, ^{a*} escribía ya sobre la "medición" de la fiebre y no sobre la "sensación" de la fiebre. Hero de Alejandría ^b describía mediciones comparativas de la temperatura.

Así hemos llegado de nuevo al término temperatura, que requiere de una explicación detallada. Si consultamos un diccionario, encontraremos el siguiente tipo de definición:

"una medida para el estado calorífico de un sistema material." La traducción de esta definición al lenguaje común expresa que la temperatura nos indica qué tan "caliente" o qué tan "frío" está un cuerpo en un momento dado. Una manera de entender el significado de "temperatura" es a través del contacto entre dos cuerpos:

Si ponemos en contacto un cuerpo caliente con otro frío, el material caliente le suministra energía, en forma de calor, al material frío. El flujo de energía se detiene cuando ambos cuerpos tienen el mismo valor de una propiedad, que es precisamente la que llamamos "temperatura". Cuando dos o más cuerpos están en equilibrio térmico, es un requisito que todos estén a la misma temperatura. Como el termómetro es un aparato para medir la temperatura, si dos cuerpos están en equilibrio térmico, el valor indicado por el termómetro deberá ser el mismo para ambos cuerpos.

Con lo anterior podemos introducirnos nuevamente en la historia; como ya mencionamos, Galileo Galilei ^c inventó el termoscopio, instrumento que consistía en un tubo lleno de agua o alcohol, abierto en su extremo inferior; y con una bola de vidrio llena de aire en el extremo superior. La parte abierta del tubo sobresalía hacia otro recipiente lleno de agua. Al calentarse la bola de vidrio se dilataba el aire interior; que a su vez empujaba el agua del tubo.

Muy pronto se descubrió que este "termómetro" tenía un funcionamiento limitado, ya que el aire —al igual que todos los gases— es fácilmente compresible, por lo cual con un pequeño calentamiento la presión opuesta de la columna de agua en el tubo de vidrio, es lo suficientemente grande para impedir una expansión visible del gas. Por esto se pensó, como alternativa, en los líquidos: en 1632 el francés Jean Rey ^d construyó un termómetro de agua.

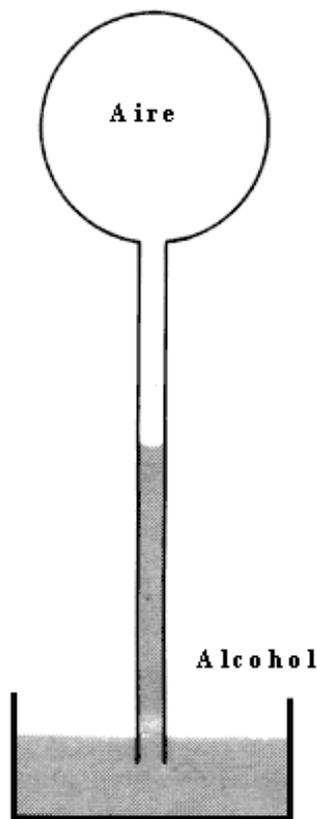


Figura 2. Termoscopio de Galileo.

También esta solución tenía su talón de Aquiles: el agua, al ser calentada, no se dilata en forma lineal, es decir, en forma proporcional o uniforme. Otra desventaja del agua es que en los países fríos, durante el invierno, la temperatura ambiente puede bajar más allá de su punto de congelación.

Así se inicia la búsqueda de un líquido que, dentro de los límites de la temperatura del medio ambiente, no se congele ni se evapore y, además, cuya dilatación sea lineal. Los líquidos encontrados, el alcohol y el mercurio, constituyen el fundamento del termómetro actual. Aun así, no existían todavía las posibilidades de comparación, ya que cada descubridor utilizaba un "patrón" propio, es decir; tomaba puntos de referencia diferentes.

Imagínese usted un termómetro sin escala: con él podrían hacerse mediciones comparativas si se señalaran distintos puntos de referencia en el termómetro, pero no tendría usted una base para compararlos con el termómetro de su amigo, que seguramente habría marcado otros puntos distintos. Por ejemplo: Sanctorius marcó dos puntos, uno con el nivel del agua cuando el bulbo estaba rodeado de nieve derretida, y otro con el nivel alcanzado al calentar el bulbo con una vela. Después, dividió la distancia entre los dos puntos en 110 partes iguales.

En los inicios del siglo XVIII se utilizaban más de 30 escalas diferentes de temperatura; muchas de ellas desaparecieron rápidamente y entre las que prevalecieron destaca la del astrónomo danés Ole Romer ^e, porque sirvió como base a Daniel Gabriel Fahrenheit para establecer su conocida escala. Fahrenheit fijó dos puntos: uno que corresponde a la temperatura de fusión del hielo, al que asignó un valor de 32; el otro punto fijo fue la temperatura del cuerpo humano, a éste le asignó un valor de 96. Es digno de subrayar el hecho de que la temperatura del cuerpo humano aceptada actualmente como normal es de 98.6°F, valor muy cercano al determinado por Fahrenheit.

Es posible que usted, lector, piense que ésa es la escala Fahrenheit que se utiliza actualmente en los Estados Unidos, y con la cual usted tiene problemas para recordar su transformación a la escala que utilizamos en México. Sin embargo, la escala de Fahrenheit que se emplea en algunos países tiene como punto fijo superior el

correspondiente a la temperatura de ebullición del agua al nivel del mar; y que es 212°F. En todo caso, reconocemos que no puede disminuirse la importancia de la contribución de Fahrenheit; en primer lugar porque construyó una escala dividida en partes iguales que por lo tanto eran comparables, y en segundo lugar porque su idea de tomar como punto cero la temperatura más baja no estaba desencaminada, ya que un siglo y medio después lord Kelvin retomó su idea.

En México utilizamos la escala inventada por el sueco Anders Celsius ^g, quien tomó como punto cero el punto de congelación del agua y como el otro extremo de referencia, 100 grados, su punto de ebullición; de este modo, dividió la escala en 100 partes iguales. Los mismos puntos escogió René-Antoine Ferchault de Réaumur ^h, sólo que él repartió la diferencia en 80 grados. Esta escala se utilizó hasta los años 30 de nuestro siglo en Europa; uno de los autores recuerda que en la casa de sus padres había un termómetro que tenía en la parte izquierda la escala de Celsius y en la derecha la de Réaumur.

Usted podrá decir, con razón, que la división a partir de los puntos de congelación y de ebullición del agua es tan arbitraria como las divisiones de Fahrenheit, y que uno podría elegir; a voluntad, el punto cero o un segundo punto de referencia. También podría pensar que la división en 100 grados es arbitraria; en términos del sistema decimal, ¿por qué no 10 grados o 1000?

Para la segunda pregunta existe una respuesta simple: los 100 grados sencillamente han demostrado ser más prácticos. En la vida diaria basta esta división, ya que da la aproximación suficiente para valores de la temperatura en números enteros. Usted mismo habrá podido comprobar lo práctico de la escala Celsius y lo complicado que es obtener; para una cierta temperatura, el valor correspondiente en grados Fahrenheit. De hecho, es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{valor en } ^\circ\text{F} = [9/5 \times (\text{valor en } ^\circ\text{C})] + 32$$

Así, para una temperatura de 100 °C corresponde un valor de 212°F y para un valor de -17.77 °C tendremos prácticamente el cero de la escala Fahrenheit.

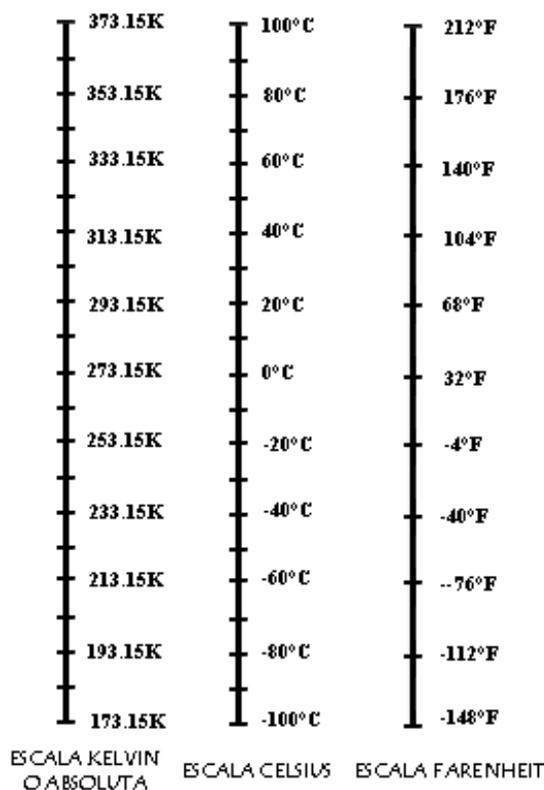


Figura 3. Anders Celsius.

Respecto a la elección del punto cero, resulta interesante anotar que también el físico británico lord William Kelvin de Largs ⁱ contribuyó a la discusión sobre qué punto podría escogerse como punto cero. Partiendo de la idea de Fahrenheit, buscó establecer un punto de temperatura mínima. La diferencia fue que Kelvin determinó la temperatura mínima no a través de una mezcla frigorífica casual o una medida tomada al azar en un día muy frío,

sino a través de cálculos que lo llevaron a la conclusión de que no puede existir una temperatura más baja que -273.15 grados Celsius.

Cuadro 1. Escalas termométricas



Así, Kelvin Colocó el punto cero de su escala de temperatura en el *punto cero absoluto*.¹ Por razones prácticas, conservó el tamaño de las divisiones fijado por la escala Celsius y de esta manera el punto de congelación del agua es 273.15 K, mientras que el punto de ebullición es 373.15 K. Tenemos así que una diferencia de un grado Celsius (°C) equivale a una diferencia de temperatura de un Kelvin (K).

A la escala de temperatura de Kelvin que en las ciencias es la única que debe utilizarse,² comúnmente se le llama escala de temperatura absoluta, ya que en lugar de tener un punto de partida fijo y arbitrario (el punto cero), tiene un punto fundamentado en la naturaleza de la materia. Por ello, la escala de Kelvin se distingue de la mayoría de las unidades utilizadas en la física y la química.

Si usted reflexiona en lo arbitrario de la fijación del metro-patrón, que se utiliza para determinar longitudes, reconocerá que, en última instancia, la división no tiene en sí significado; lo importante es únicamente que todos sepan qué quiere decir una determinada unidad y cómo puede medirse. Las unidades de la física utilizadas comúnmente no son, por lo general, constantes dadas por la naturaleza, sino medidas fijadas arbitrariamente por el hombre, con las cuales todos sabemos cómo hacer una determinada medición.

TERMÓMETRO

Hemos visto ya cómo puede medirse la temperatura en diferentes escalas, pero todavía no sabemos de qué manera funciona un termómetro.

Hemos oído decir que la materia se dilata al calentarse y que esta dilatación no es siempre lineal. También

sabemos que el alcohol y el mercurio fueron inicialmente los líquidos más utilizados para la construcción de los termómetros. Es claro que no todos los termómetros están contruidos de esta manera, pero, ya que son los más usuales, comenzaremos por ellos: los termómetros de este tipo están contruidos por un tubo de vidrio con un diámetro interno muy pequeño (tubo capilar) soldado a una esfera de vidrio que contiene el líquido seleccionado. A mayor cantidad de líquido, la dilatación por calentamiento es más apreciable y por lo tanto el ascenso en el tubo capilar; más fácil de observar.

Seguramente usted habrá pensado que si los cuerpos se dilatan por el calor, también se dilatará el vidrio en el cual está contenido el líquido. ¿Cambiará este hecho la exactitud de la medición? La dilatación del vidrio del termómetro es tan pequeña que podemos despreciarla; sólo para mediciones muy exactas debe usarse otro tipo de métodos. Es importante considerar que por esta razón las lecturas en el termómetro de vidrio tienen un margen de error de ± 0.01 K.

Todos los líquidos se congelan y hierven a temperaturas específicas, por eso, cada termómetro está diseñado para determinados intervalos de temperatura. En el caso del mercurio, su punto de congelación es -39.0°C y el de ebullición es 356.7°C , valores que limitan su intervalo de aplicación. Por la misma razón, un termómetro de alcohol sólo funciona en un intervalo de -100°C a 70°C .

En general, los límites de uso de un termómetro de dilatación dependen de dos factores:

- 1) Los puntos de congelación y ebullición de los líquidos utilizados.
- 2) La temperatura de reblandecimiento del vidrio.

Cuando el líquido es el galio y el vidrio es de cuarzo, el intervalo de aplicación es de 35°C a 110°C .

En la calibración de los termómetros hemos dado por sentado que las temperaturas de ebullición y congelación tienen el mismo valor bajo iguales condiciones. Por desgracia, esto no es así. Aun bajo condiciones idénticas, el punto de congelación del agua oscila ± 0.002 K y el de ebullición 0.01 K . j

Usted podrá decir: ¡qué importan estas milésimas o centésimas!, ¡tanta exactitud no nos interesa! Para la vida diaria, tiene usted toda la razón, realmente sólo puede interesarle a un neurótico si el agua de la regadera está a 34 o a 34.02 grados. Pero para los científicos, y para muchos propósitos técnicos, la exactitud de un termómetro de vidrio no es suficiente; sin considerar que además muchas mediciones científicas y técnicas están fuera de los intervalos útiles de estos instrumentos.

Cuando se requiere una mayor exactitud, deben emplearse los termómetros que aprovechan la sensibilidad a los cambios de resistencia eléctrica de ciertos materiales. Por ejemplo, en los metales, al variar la temperatura cambia también su conductividad eléctrica, es decir, cambia su resistencia al flujo de corriente eléctrica. Con un sensor de temperatura como éste se pueden hacer mediciones con una precisión de ± 0.001 K en un intervalo de 0°C a 400°C . Para trabajos todavía más precisos se utilizan los termómetros de cuarzo, que tienen una exactitud de 0.0001 K en un intervalo de -8°C a 250°C .

Para medir temperaturas más altas o más bajas que las mencionadas, se utilizan elementos termoeléctricos (*termopares*) que se componen de dos metales diferentes, fácilmente soldables. Esta unión genera un potencial eléctrico que depende de la temperatura, y cuyo valor puede traducirse a una escala de temperaturas por medio de una tabla de calibración. Algunas uniones metálicas, como la de orocobalto, permiten mediciones desde un intervalo de unos cuantos Kelvin (poco más de 0 absoluto). La de tungsteno-tántalo puede utilizarse hasta $3\ 000$ K (3273.15°C).

Cuando es necesario medir temperaturas mayores a $3\ 000$ K, se deben utilizar métodos indirectos; por ejemplo, cuando se calienta el fierro empieza a ponerse incandescente (brillo sin llama), cambiando su color del rojo oscuro al blanco azulado. Un efecto parecido puede usted obtener en su casa con un regulador de intensidad de corriente que le permita observar el filamento de un foco. Conociendo esta corriente y la temperatura de incandescencia se puede asociar el color del filamento con su temperatura.

Estos son los métodos fundamentales para medir la temperatura, aunque no son, ni de lejos, los únicos. Un método muy importante para los científicos es el uso del termómetro que utiliza un gas en lugar de un líquido; de

éste trataremos después de presentar algunos fundamentos necesarios para ello.

TERMORRECEPCIÓN

Termosensores biológicos

La termorrecepción es un proceso que realizan los seres vivos para detectar diferencias de temperatura.

La vida activa de los animales es posible dentro del estrecho intervalo que establece la temperatura de su cuerpo: entre 0°C y 45°C. Las limitaciones dependen del congelamiento de los tejidos a baja temperatura y de la alteración química de las proteínas del cuerpo, por encima del extremo superior de ese intervalo. Dentro de los límites establecidos, el metabolismo de un animal tiende a aumentar o disminuir paralelamente con la temperatura de su cuerpo.

En las especies más evolucionadas (aves y mamíferos), la temperatura del cuerpo y el metabolismo son relativamente independientes de las influencias térmicas directas del medio ambiente. Estos animales pueden mantener una considerable estabilidad fisiológica interna, aunque se den cambios en las condiciones ambientales y en las fluctuaciones climáticas y geográficas.

Por ejemplo, un oso polar puede realizar sus funciones normales durante el calor del verano, lo mismo que en las aguas frías del Ártico. Este tipo de flexibilidad está basada en estructuras sensoriales específicas llamadas *termorreceptores*, que le permiten al animal detectar los cambios térmicos y adaptarse a ellos.

En cambio, en las especies llamadas "de sangre fría", como los insectos, víboras y lagartijas, la temperatura ambiental se refleja directamente en la temperatura de su cuerpo, y por este motivo se mueven hacia zonas más favorables, como por ejemplo debajo de las piedras, en las zonas calientes. Los mosquitos, por otra parte, son atraídos por las radiaciones térmicas (infrarrojas) de sus huéspedes de "sangre caliente".

Las abejas normalmente escogen intervalos de temperatura entre 35°C \pm 1.5°C.

La sanguijuela puede discriminar temperaturas con una precisión de un grado Celsius. La babosa reacciona a temperaturas inferiores a 21°C, aumentando su actividad locomotora, y basta que la temperatura baje a 20.7°C para que, en un lapso de cinco minutos, haya cambiado su posición.

La antena de los mosquitos, donde probablemente se encuentra su termosensor, manifiesta una sensibilidad a los cambios en la temperatura del aire, de cerca de 0.5°C.

Algunas especies de peces, como el bacalao, nadan con la mitad de su cuerpo hacia afuera, como respuesta a cambios tan pequeños como de 0.03°C a 0.07°C en la temperatura del agua que los cubre.

Se considera que los termosensores de los peces están repartidos en la piel de todo el cuerpo. Sin embargo, en los anfibios sólo se ha registrado sensibilidad para cambios muy grandes de temperatura. Se ha publicado, por ejemplo, que una rana colocada en una sartén con agua fría no salta si el agua se calienta gradualmente. En efecto, se sabe que las ranas pueden permanecer quietas en esa agua hasta que mueren por cocimiento.

Los mamíferos y las aves tienen sus centros termorreguladores localizados principalmente en el hipotálamo. La información que proveen dichos reguladores sirve para activar mecanismos biológicos internos que mantienen la temperatura del cuerpo dentro de los límites normales. Por ejemplo, la información de un aumento de temperatura provoca mecanismos de pérdida de calor: sudoración, jadeo y vasodilatación en la piel. Si las señales son de descenso de la temperatura se inician los mecanismos de conservación del calor; mediante un movimiento muscular que consume energía del organismo al tiritar, temblar; sacudirse, estremecerse y al producirse la vasoconstricción.



Figura 4. Los gatos poseen termosensores en la nariz que les permiten responder a estímulos térmicos de 0.1 a 0.2 grados Celsius.

Las aves ahuecan el plumaje y los animales el pelo, para favorecer el aislamiento térmico. Todos estos cambios reguladores, involuntarios o automáticos, persisten durante la anestesia ligera o durante el sueño.

Un caso interesante son los termosensores que poseen los gatos en la nariz, receptores altamente específicos que responden a estímulos térmicos de 0.1 a 0.2°C. Esto corresponde a los niveles de sensibilidad térmica de la piel de la cara en los seres humanos.

DILATACIÓN

¿Se ha preguntado, alguna vez, por qué la tubería por donde fluye el petróleo no es continua? ¿Se ha preocupado del aparente desperdicio de cables de luz, por la manera en que cuelgan entre los postes? ¿O se acuerda usted del monótono y fascinante "rat-tat-tat-tat" de los trenes cuando corren por los rieles? Todo esto, y muchas más cosas que usted habrá podido observar si va por el mundo con los ojos y los sentidos despiertos, tiene que ver con la dilatación, de la que algo hemos dicho en el capítulo anterior.

Con un experimento sencillo puede usted hacer visible este proceso en su casa. Coloque una aguja de acero de tejer en un cubo pequeño de madera (Figura 6a), de tal manera que aquélla no pueda moverse, y ponga en otro cubo de madera (de preferencia liso) una pequeña aguja de coser; en caso de que no tenga una madera lisa, coloque entre la aguja y la madera una hoja de rasurar limpia y libre de grasa. La aguja de coser debe sobresalir del cubo, para que pueda usted poner un pedacito de papel en la punta como detector (Figura 6b). Si usted calienta con un encendedor la aguja de tejer en la mitad, verá cómo empieza a girar el pedacito de papel (Figura 6c).

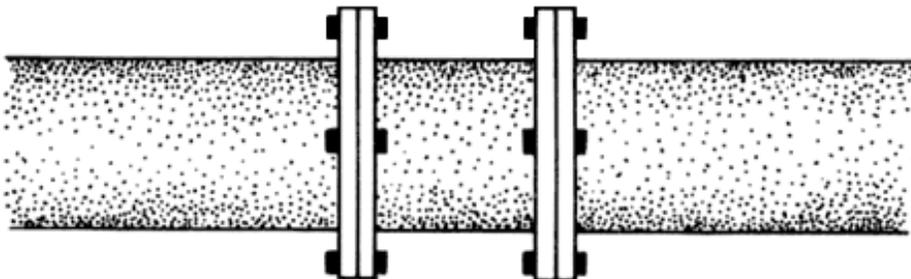


Figura 5a. Tubería con junta de expansión

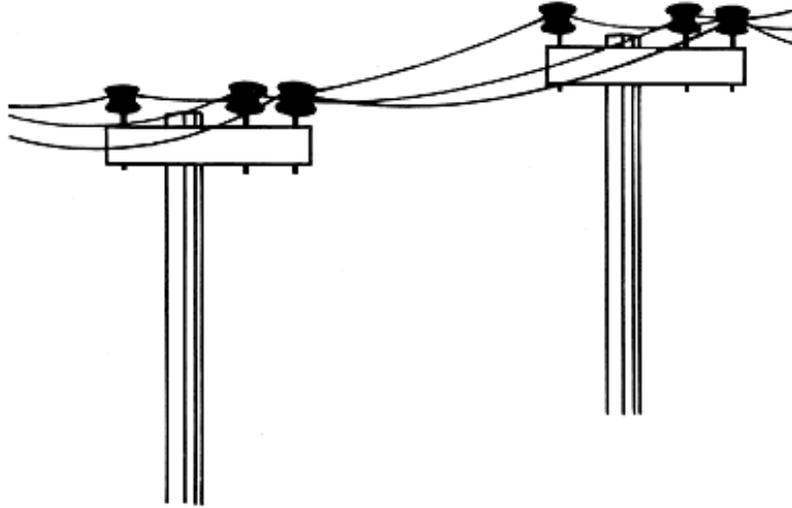


Figura 5b. Postes de luz donde se aprecia la holgura de los cables.

Un instrumento parecido se utiliza, en la práctica, en los institutos de física técnica, en los cuales se mide numéricamente la dilatación de diversos materiales. Usted se preguntará: ¿por qué es tan importante conocer cómo se dilatan los distintos materiales?

Esta pregunta puede contestarse con un pequeño ejemplo. Usted conoce, o ha oído hablar del famoso puente Golden Gate de San Francisco; una construcción de 1 280 m de largo que cruza el mar.

Supongamos que la temperatura en San Francisco, en el mes de enero, puede llegar hasta 12°C ; y que en el verano puede llegar a 39°C . Consideraremos también, como factor de seguridad (margen de error), que las temperaturas pueden ser de hasta -20°C en invierno y hasta 45°C en verano.

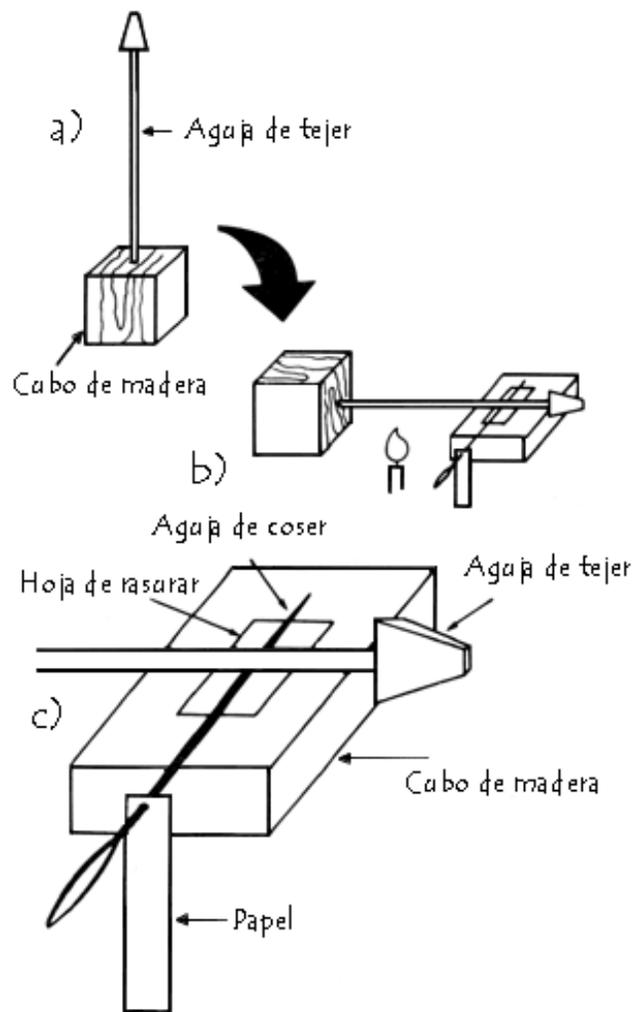


Figura 6 (a, b y c). Experimento sobre la dilatación de un metal.

Lo anterior quiere decir que el puente debe soportar diferencias de temperaturas de 65K (o 65°C). Si hacemos los cálculos que normalmente realizan los ingenieros constructores y consideramos una longitud de referencia, encontraremos que a una temperatura -20°C el puente se acorta (o reduce) 61 cm. En el verano, los cálculos indican que, para 45°C, el puente se alarga 39 cm.



Figura 7. El puente Golden Gate.

En total hay una modificación, entre los límites de la temperatura, ¡de 1 metro! Si los constructores de puentes no tomaran en cuenta la magnitud de la dilatación, la estructura se destruiría.

Los constructores de puentes no son los únicos que deben tomar en cuenta la dilatación térmica. En todo aquello en lo que las diferencias de temperatura intervengan en la técnica — y esto es en casi todos los campos— se debe considerar la dilatación. En los manuales de construcción podemos encontrar tablas que nos ayudan a estimar la dilatación de diversos materiales en función de los cambios de temperatura.

En ciertos intervalos, la dilatación es prácticamente lineal, es decir, que para cada grado que aumenta la temperatura de un cuerpo, éste se dilata o alarga en el mismo valor porcentual (este valor porcentual varía de acuerdo con el material en cuestión).

Para estimar la dilatación térmica lineal de un material en ocasiones podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$l_t = l_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

siendo l_0 la longitud del material a 0°C y l_t la longitud a otra temperatura t .

CUADRO 2

<i>Los valores publicados para algunos materiales son:</i>		
<i>Material</i>	$\alpha(^{\circ})^{-1}$	$\beta(^{\circ})^{-2}$
Aluminio	0.220×10^{-4}	0.009×10^{-6}
Cobre	0.161×10^{-4}	0.004×10^{-6}
Acero	0.1118×10^{-4}	0.0053×10^{-6}
Platino	0.0887×10^{-4}	0.00132×10^{-6}

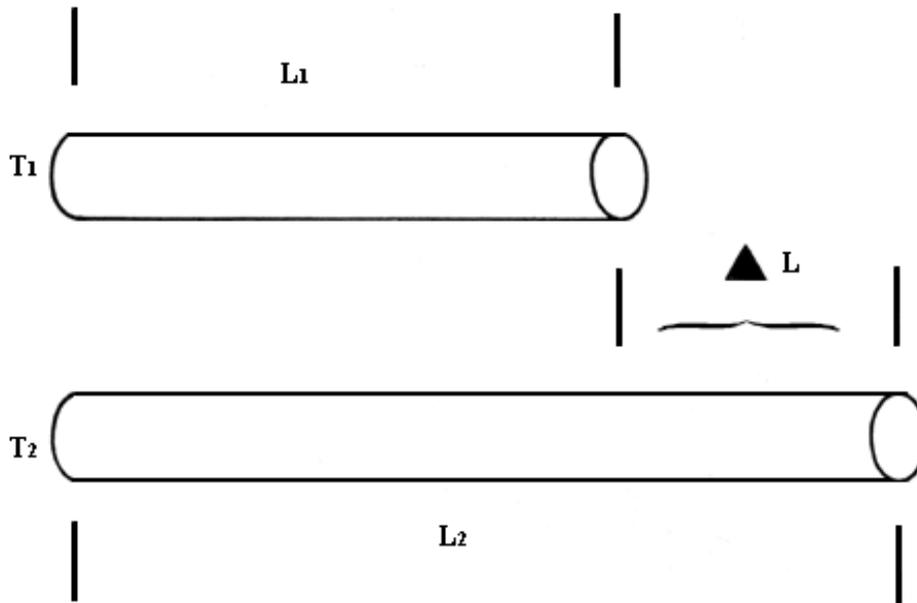


Figura 8 Dilatación lineal.

Considerar la dilatación de los cuerpos es, con frecuencia, un problema fundamentalmente técnico. Si tratáramos de impedir la dilatación sujetando fuertemente los extremos de un cierto material, veríamos que nuestro esfuerzo es en vano, ya que este efecto ocurre con una fuerza violenta. Al calentar una barra de acero de 5 mm de diámetro, aumentando su temperatura tan sólo un grado Celsius, la barra se dilata en una magnitud tal, que si deseáramos obtener el mismo efecto por esfuerzo mecánico, deberíamos colgar de la barra un peso de 2 600 kg, ¡más de 2.5 toneladas! (Figura 9.)

El talento humano no sólo ha logrado dominar técnicamente la dilatación cuando es indeseable, sino que ha ido más allá: la ha utilizado para su provecho.

Los puentes, cuando son largos, se dividen en segmentos que descansan a su vez sobre bases rodantes para permitir la libre dilatación. Entre los segmentos se dejan espacios para que puedan alargarse sin problemas.

Las construcciones de acero y concreto son posibles únicamente porque el concreto y el acero —¡por casualidad!— tienen el mismo coeficiente de dilatación longitudinal. Los tubos de cobre deben descansar libremente o ser colocados de tal manera que puedan dilatarse.

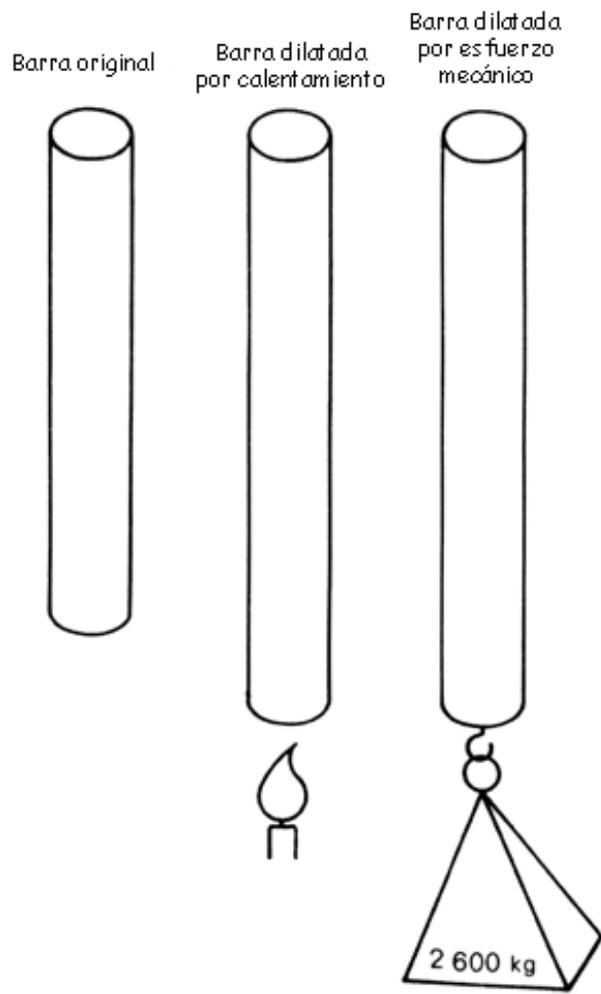


Figura 9. La dilatación ocurre con fuerza violenta.

El marcado colgado (combado) de los cables eléctricos es necesario para que, en el caso de un invierno frío, los cables no se encojan tanto que puedan romperse o hagan caer los postes.

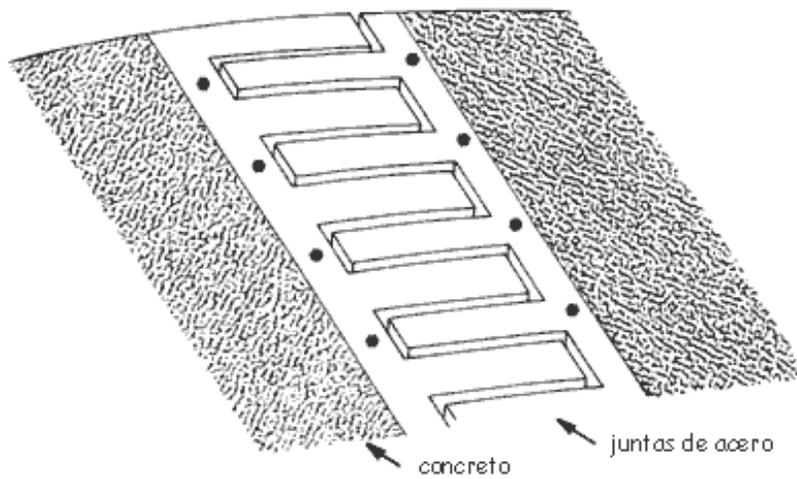


Figura 10. Estructura de acero y concreto.

Ya en la Edad Media se usaba una técnica interesante: sobre las ruedas de madera de las carretas se clavaba una banda de hierro calentado para que al enfriarse se encogiera y, bajo condiciones normales, no pudiera desprenderse la rueda. Con la misma técnica, un poco más "elaborada", se fabrican las ruedas de los trenes: la pestaña se calienta entre 600°C y 800°C para que ajuste al buje. Al encogerse por enfriamiento, las uniones entre la pestaña y el buje son prácticamente indisolubles. Por el contrario, los tornillos que están pegados pueden separarse sumergiendo la cabeza del tornillo en agua caliente: la dilatación provocada por el calor es suficiente para que se puedan despegar.

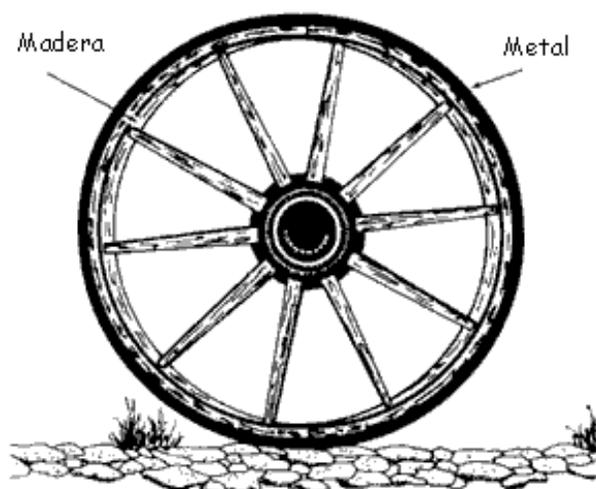


Figura 11. Rueda de carreta.

Así pueden encontrarse miles y miles de ejemplos en los cuales la dilatación tiene un papel importante. Seguramente no será difícil para el lector dar con ejemplos de lo anterior en su vida cotidiana.

Usted podrá decir; con razón, que hasta ahora sólo se ha hecho referencia a las sustancias y cuerpos sólidos. ¿Pero qué sucede con los líquidos y los gases? y sobre todo, ¿qué pasa con el agua, si en el capítulo anterior se afirmó que no presenta una dilatación lineal? Estas preguntas se hallan totalmente justificadas: tanto los líquidos como los gases se dilatan. La dilatación de los líquidos es, por lo general, mayor que la de los sólidos. En cuanto a que el agua no se dilate linealmente, esto tampoco es una excepción. Lo que sucede es que es mucho más notoria en intervalos de temperatura fácilmente observables.

Si usted no vive en un clima muy extremo quizá nunca se haya preguntado cómo pueden sobrevivir los peces cuando se congelan los ríos o los lagos. La respuesta está precisamente en esa anomalía que presenta el agua con respecto a su dilatación: Si se calienta lentamente agua congelada a 0°C , se puede demostrar que su volumen inicialmente disminuye, a pesar de que normalmente el calentamiento debería producir una dilatación y ésta ir acompañada de un aumento de volumen. Hasta 4°C , el volumen del agua disminuye y, a partir de esta temperatura, empieza a aparecer la dilatación.

Aun con una disminución pequeña de volumen, existe un cambio en la densidad ³ y como el agua líquida resulta más densa que el hielo, sólo se congela la superficie de los lagos y los ríos.

¿Todas las sustancias muestran esta anomalía? Sí, estimado lector; todas la presentan, aun cuando, como ya se mencionó, no siempre en intervalos fácilmente observables. Muy frecuentemente deja de presentarse la disminución de volumen por calentamiento que se aprecia en el caso del agua, y lo que se presenta es un escaso aumento de la dilatación. Un ejemplo muy ilustrativo de esto ocurre en el hierro, donde la anomalía aparece a 720°C.

CUADRO 3. En los gases y en los líquidos, la dilatación se mide por un aumento en el volumen. Una excepción es el agua, cuyo volumen disminuye al aumentar la temperatura de 0°C a 4°C. Después de esta temperatura, el agua se dilata normalmente.

El coeficiente de expansión térmica a presión constante (α_v) se define por la expresión:

$$\alpha_v = \frac{1}{V_0} \left[\frac{dv}{dt} \right]_p$$

Algunos valores publicados para gases son:

<i>Sustancia</i>	α_v
Aire	3671.1 x 10 ⁻⁶
Helio	3659.1 x 10 ⁻⁶
Hidrógeno	3660.3 x 10 ⁻⁶
Nitrógeno	3671.0 x 10 ⁻⁶

En el caso de los líquidos, su expansión cúbica puede calcularse con la fórmula:

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3)$$

siendo V_0 el volumen a 0°C.

Algunos valores publicados y válidos para temperatura ambiente (25°C) son:

<i>Sustancia</i>	$\alpha (^\circ)^{-1}$	$\beta (^\circ)^{-2}$	$\gamma (^\circ)^{-2}$
Acetona	1.324 x 10 ⁻³	3.81 x 10 ⁻⁶	-0.89 x 10 ⁻⁸
Cloroformo	1.107 x 10 ⁻³	4.66 x 10 ⁻⁶	-1.743 x 10 ⁻⁸
Aceite de oliva	0.682 x 10 ⁻³	1.14 x 10 ⁻⁶	-0.539 x 10 ⁻⁸

¿No está rondando por su cabeza la pregunta de por qué se dilatan los cuerpos y por qué los líquidos más que los sólidos?

La respuesta descansa en la propia estructura de la materia. Es importante señalar que, en este sentido, también fueron los griegos los primeros en buscar una explicación de la estructura de la materia. La encontraron de una manera sorprendentemente moderna, aunque sólo tenía una base especulativa sin experimentación ni complejos microscopios electrónicos, ni aceleradores de partículas.



Figura 12. Demócrito.

El filósofo griego Demócrito ^k propuso que las diferentes sustancias estaban formadas por partículas muy pequeñas, invisibles e indivisibles, que llamó átomos (del griego átomos indivisible) De acuerdo con el pensamiento griego de ese tiempo, asignó representaciones geométricas distintas para cada sustancia. Durante un siglo éstas fueron las ideas que prevalecieron en los griegos cultos, sin que ninguno considerara la posibilidad de demostrarlas mediante experimentos, lo cual no les parecía necesario, ya que para ellos era suficiente que fuera en sí una idea completa que pudiera comunicarse brillantemente. La ciencia era la confrontación con el contenido del pensamiento, sin que se exigiera una comprobación experimental para contrastarlo con la realidad. Con ello se puede entender que la ciencia fuera para ellos una parte de la filosofía, una parte del amor a la sabiduría.



Figura 13. Aristóteles.

Así, no fue difícil para el filósofo griego más conocido, en lo que actualmente llamamos filosofía y cuyas ideas tienen hoy la misma validez que hace 2 400 años, triunfar con sus ideas "científicas" contra la teoría atómica de Demócrito. Por supuesto nos referimos a Aristóteles. Por más de dos mil años las ideas de Aristóteles frenaron el desarrollo de la ciencia, ya que si sus consideraciones filosóficas eran irrefutables, ¿cómo no iban a serlo las científicas?

La negación de la observación y la experimentación en sus escritos fundamentaron entre otras la convicción (o creencia) de la existencia de cuatro elementos: fuego, agua, tierra y aire. Como estos trabajos corrían paralelos con sus incuestionables trabajos de lógica, los griegos y sus descendientes sacrificaron durante siglos el desarrollo del pensamiento científico, tal y como hoy día lo entendemos. Para dar un pequeño ejemplo drástico de sus suposiciones, vale la pena mencionar que Aristóteles sostenía que las mujeres tenían menos dientes que los hombres. Como además la Iglesia apoyó de manera decisiva sus escritos, sus críticos eran considerados como detractores de Dios. Las primeras dudas sobre la existencia de los cuatro elementos aparecieron en el Renacimiento, con Giordano Bruno,^m Galileo Galilei, sir Isaac Newtonⁿ y Christian Huygens,^o entre otros.

Finalmente, se aceptó que la materia estaba formada por moléculas, a su vez constituidas por átomos indivisibles, una idea que el mundo debe agradecer al inglés Robert Boyle.^p Estas ideas de Boyle tampoco estaban sustentadas en experimentos, por lo que fueron tomadas por sus contemporáneos como "fantasías".



Figura 14. Galileo Galilei.

Casi cien años después, el suizo Daniel Bernoulli [¶] pudo comprobar que la presión de un gas era simplemente el resultado de las colisiones de las moléculas del gas con la pared del recipiente que lo contenía. Al mismo tiempo, Bernoulli consideró que la presión de un gas debía ser proporcional al promedio de la velocidad al cuadrado de cada una de las moléculas, lo cual fue comprobado *experimentalmente* por Robert Hooke, [¶] Rudolf Clausius, [§] James C. Maxwell ^t y Ludwig Boltzmann. [¶] Con ello se dio la fundamentación para que Albert Einstein ^v desarrollara su teoría de la relatividad.

También se continuaron los estudios sobre la estructura del átomo. Sin embargo, sólo nos ocuparemos del concepto de molécula, el cual es suficiente para entender; de manera sencilla, los fenómenos relacionados con la dilatación. Una molécula es la unidad más pequeña de una sustancia, que conserva sus propiedades. Las moléculas pueden ser monoatómicas o estar formadas por dos o más átomos.



Figura 15. Isaac Newton.



Figura 16 (a). Christian Huygens.

Las moléculas pueden estar formadas por el mismo tipo de átomos o por átomos de diferentes tipos.

No vamos a considerar aquí la manera como las moléculas están estructuradas internamente (fuerzas intramoleculares); lo que nos interesa es la unión de las moléculas entre sí (fuerzas intermoleculares). Las fuerzas intermoleculares son las que determinan si un material se encuentra en estado líquido o sólido, el valor de su temperatura de ebullición, etcétera.



Figura 16 (b). Robert Boyle.

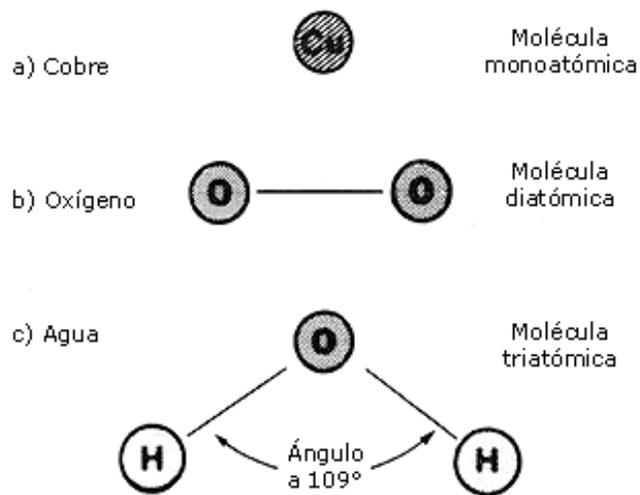


Figura 17 (a, b y c). Las moléculas pueden ser monoatómicas, diatómicas, triatómicas y poliatómicas.

En el caso de los sólidos podemos encontrar dos grandes grupos: los materiales cristalinos y los amorfos. Cuando los átomos están ordenados en estructuras cristalinas, constituyen redes que cumplen rigurosamente con las leyes de la geometría. La manera más fácil de apreciar esto es en algunas muestras de minerales donde a simple vista se pueden observar las formas geométricas que toman los cristales. Por otra parte, debemos recordar que en la realidad es casi imposible tener un cristal perfecto, y casi siempre se presentan *defectos cristalinos*, esto es, zonas en las que parece romperse la continuidad del cristal, o bien puntos de la red donde falta un átomo.

De manera muy simplificada se puede decir que las fuerzas de unión dependen de si en el cristal los puntos de la malla están ocupados por moléculas, radicales, iones o átomos. Una descripción detallada de las uniones químicas está fuera del marco de este libro; sin embargo, sólo se desea subrayar que de ellas dependen muchas de las propiedades físicas de los cuerpos: la elasticidad, plasticidad y conductividad, entre muchas otras.

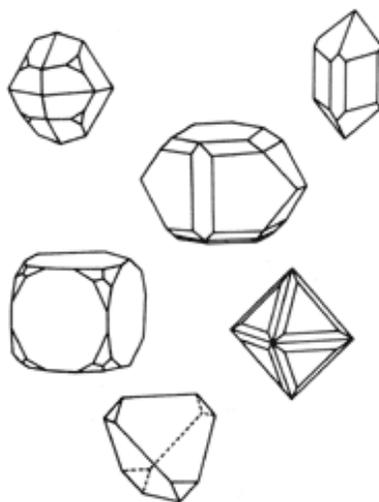


Figura 18 estructuras cristalinas.

Un ejemplo interesante resulta de comparar los diamantes y el grafito con que está hecha la punta de su lápiz. Ambos materiales están formados exclusivamente por átomos de carbono; sus propiedades fisicoquímicas tan diferentes se deben al tipo de unión entre los átomos.

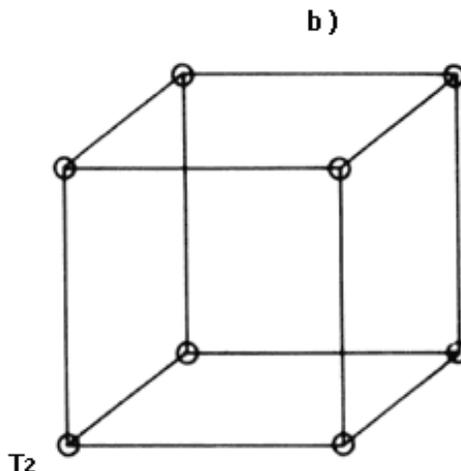
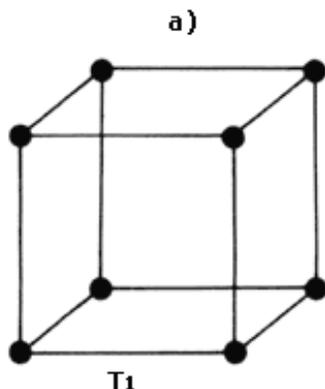


Figura 19a. Cristal antes del calentamiento.

Figura 19b. Cristal después del calentamiento.

Para continuar con nuestra explicación, imaginemos un arreglo geométrico en forma de un cubo cuyos vértices están ocupados por pequeñas esferas que representan a los átomos (ver figura 19). De esta manera tenemos un modelo muy simple de un cristal. Cada esfera, cada átomo, está vibrando respecto a un punto fijo (vibración de la malla cristalina). Sigamos imaginando que las esferas están unidas —según la sustancia será la fuerza— por ligas que representan las fuerzas de unión entre ellas. La actuación de estas fuerzas es tal que los átomos no pueden moverse uno con respecto al otro (es decir; alejarse o acercarse) sino que se mantienen vibrando en posiciones fijas. Si calentamos el cubo, los átomos empezarán a vibrar más rápidamente. Al mismo tiempo, las fuerzas entre los átomos serán menores, de tal manera que al cubo le sucede lo que a las ligas de hule: se ablandan y se hacen más flexibles cuando se calientan. El resultado de lo anterior es que el cubo se hace más grande, es decir; se dilata.

Ahora bien, ¿por qué se dilatan en mayor proporción los líquidos que los sólidos?

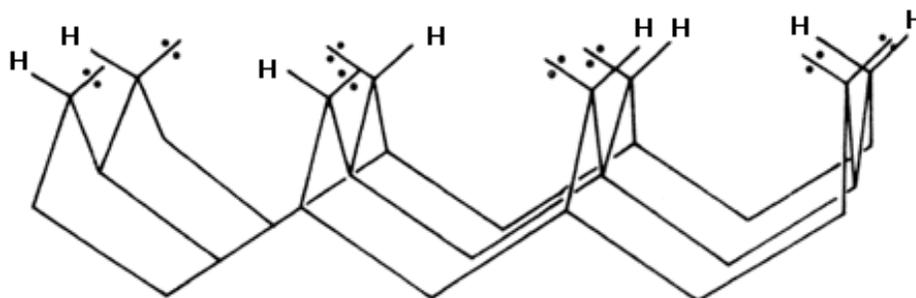


Figura 20. Modelos de un líquido. (Doctor F. J. Garfias.)

Volvamos a nuestro cubo. Si continuamos calentándolo, los movimientos de los átomos serán cada vez más rápidos, y las fuerzas de unión serán más débiles. Así, llega un momento en el que las fuerzas ya no son lo suficientemente grandes para mantener unidos a los átomos o a las moléculas. El sólido se funde y se transforma en un líquido. Los líquidos no tienen una estructura cristalina (aquí no vamos a hablar de lo que los físicos llaman cristales líquidos), ⁴ y las fuerzas que unen a los átomos o a las moléculas son más débiles que en los sólidos. Algunos científicos mexicanos, como el doctor Francisco Javier Garfias, han investigado los líquidos y planteado que algunos, como el caso del agua, mantienen una cierta estructuración, y las moléculas forman grupos o "agregados" (ver figura 20).

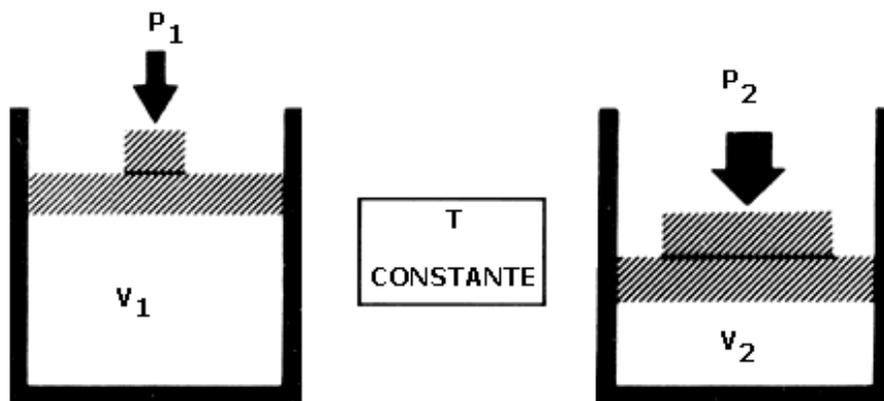


Figura 21. Ilustración de la ley de Boyle-Mariotte.

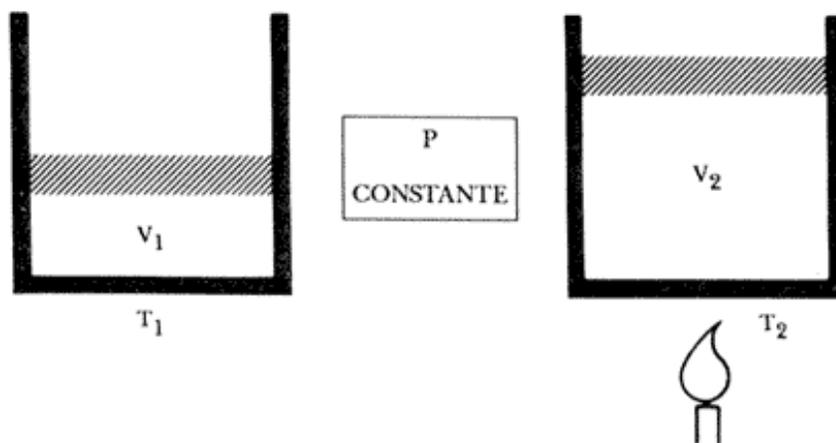


Figura 22. Ilustración de la ley de Charles-Gay Lussac.

¿Qué sucede al respecto con los gases?

Los gases no tienen volumen propio, sino que éste depende de la temperatura y la presión a que sean sometidos. Si mantenemos la presión constante, el volumen de un gas aumentará conforme aumente la temperatura. Por otra parte, si mantenemos la temperatura constante y aumentamos la presión, disminuirá el volumen del gas en

proporción inversa al aumento de la presión. Estas relaciones son comunes a todos los gases sin importar la naturaleza de los mismos.

De lo anterior; el conde italiano Amadeo Avogadro concluyó que para igual temperatura e igual presión, gases diferentes tendrían el mismo volumen y por lo tanto tendrían que tener también el mismo número de moléculas dentro de ese volumen. Otra manera de decir esto es afirmar que si las condiciones de presión y temperatura son constantes, "iguales volúmenes de diferentes gases contienen el mismo número de moléculas".

A través de mediciones y cálculos específicos Joseph Lodschmidt ^x determinó por primera vez la llamada constante de Avogadro: 6.022045×10^{23} moléculas están contenidas en 22.4 l de un gas ideal a 0°C y 760 mm Hg.

Más adelante explicaremos a qué llamamos un *gas ideal*. Primero hagamos un pequeño cálculo aritmético. A partir de la constante de Avogadro se puede calcular que en cada centímetro cúbico (un mililitro) de cualquier gas ideal están contenidas a la presión de 760 mm Hg (una atmósfera) y a la temperatura de 0°C o 273.15 K un total de 2.6884×10^{19} moléculas (veintiséis trillones, ochocientos ochenta y cuatro billones de moléculas). Este número supera la capacidad de imaginación del hombre: si alguien quisiera contar este número de moléculas, a un ritmo de 10 moléculas en un segundo, tardaría, sin pausas, más de ochenta y cinco mil millones de años en poder hacerlo. Empiece de una vez para terminar pronto! Naturalmente, Lodschmidt no las contó una por una, sino que obtuvo esta cantidad a través de cálculos matemáticos.



Figura 23. Si alguien quisiera contar las moléculas que hay en 1 cm^3 de gas, tardaría en hacerlo mas de 85 mil millones de años.

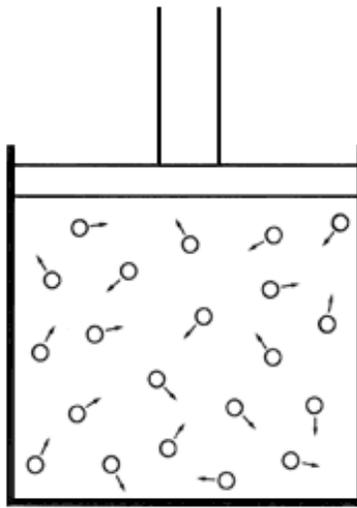


Figura 24. Esquema molecular de un gas.

La estructura molecular de los gases es la siguiente: un gas está constituido por moléculas muy separadas unas de otras —respecto al diámetro de una de ellas, tomado como unidad de medida— por lo cual prácticamente no existen fuerzas de unión entre ellas. Estas moléculas, se ha comprobado experimentalmente, se mueven desordenadamente a grandes velocidades.



Figura 25. Movimiento browniano.

La consideración del movimiento caótico (al azar) de las partículas proviene de la biología y no de la física. El botánico inglés Robert Brown y descubrió, a través del microscopio, que el polen espolvoreado sobre una superficie líquida se movía en zigzag al azar. A pesar de la deficiente explicación que él dio a este fenómeno: "el polen está vivo, es decir es orgánico", posteriormente se comprobó que también las partículas inorgánicas presentan este tipo de movimientos. El primero que encontró una explicación a este fenómeno, denominado "movimiento browniano", fue Einstein, quien comparó dicho movimiento con el de las bolas de billar; con las cuales podemos simular las colisiones de las partículas entre sí y contra las paredes del recipiente.

¿Existe relación entre el movimiento de las partículas y el fenómeno de la dilatación?

El movimiento browniano de las partículas contenidas en un gas o en un líquido, se hace más caótico y más rápido cuando éstos son calentados.

Podemos imaginar un gas como un gran número de moléculas en movimiento caótico constante. Cada partícula viaja en línea recta a gran velocidad; en su trayecto puede chocar con otras partículas o con las paredes del recipiente. A medida que el gas se calienta, las moléculas se mueven más rápidamente y por lo tanto las colisiones son más frecuentes. Debido a lo anterior; las moléculas tienden a ocupar un volumen mayor: *el gas se dilata*.

Llamamos gases ideales a aquellos cuyo comportamiento puede describirse adecuadamente con la siguiente ecuación, llamada por esto ecuación del gas ideal que relaciona los términos de presión, temperatura y volumen de un número n de moles gaseosas:

$$PV = nRT$$

Con esta ecuación podemos calcular que la dilatación es igual para todos los gases ideales: $1/273.15$ de su volumen por cada grado que se eleve su temperatura a presión constante. En el siguiente capítulo explicaremos con más detalle la ecuación del gas ideal.



[Nota 1] 

¹ Véase L. García Colín *De la máquina de vapor al cero absoluto*. La Ciencia desde México, núm. 5, SEP / FCE / CONACYT .

Inicio |

[Nota 2] [←]

² El primero de enero de 1977, en casi todos los Estados del mundo, se aprobó una ley sobre la unificación de las mediciones, en la cual se fijó cuáles unidades tienen vigencia y lo que cada unidad significa.

Inicio |

[Nota] 

NOTA: Estos valores son sólo ilustrativos y aproximados, ya que los coeficientes α y β también dependen del intervalo de temperaturas que se utilicen.

Inicio |

[Nota 3] 

³ Densidad = masa /volumen

Inicio

[Nota 4] 

⁴ Los cristales líquidos son figuras intermedias entre la fase sólida y la fase líquida isotrópica. Fueron descubiertos en 1888 pero han tenido un auge reciente debido a su utilización en despliegues ópticos, como los de algunos relojes digitales con el símbolo LCD (*Liquid Crystal Display*).

Inicio |

III. CALOR Y TRABAJO

LA TIERRA recibe energía del Sol, la cual se aprovecha de muchas maneras. Una gran parte es absorbida por la atmósfera y los mares mientras que una porción relativamente pequeña es utilizada por las plantas para realizar el proceso de fotosíntesis. Nuestro planeta también emite energía al espacio que lo rodea, de tal forma que la energía interna de la Tierra es prácticamente constante y por lo tanto, la temperatura global también se mantiene.

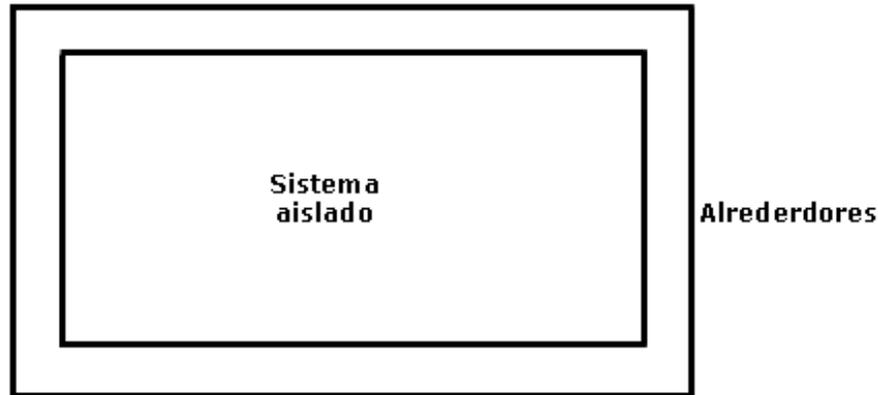


Figura 26. Un sistema aislado no intercambia ni masa ni energía con sus alrededores.

El valor de la temperatura promedio en la Tierra, o en cualquier otro lugar; depende —como vimos en el capítulo anterior— de la escala que se haya elegido. En forma análoga, podemos medir cambios en la energía de un cuerpo u objeto, pero no podemos asignar un valor a la energía, a menos que fijemos una escala arbitraria con un cero arbitrario. Si llamamos U a la energía interna de un cuerpo, lo que podemos medir son cambios en el valor de U , o sea ΔU (delta U). Para simplificar estas mediciones, es muy útil delimitar las fronteras del cuerpo u objeto que queremos estudiar y llamar a esta parte del Universo "el sistema".

Si tomamos un *sistema* y lo aislamos del universo que lo rodea, que llamamos "alrededores", de tal manera que no pueda haber intercambio de energía entre ellos, podemos afirmar que la energía del sistema $U_{sist.}$ permanecerá sin cambio.

De ser posible el intercambio de energía entre el sistema y sus alrededores, de todas maneras podremos afirmar que la energía total del Universo (sistema + alrededores) será la misma, esto es:

$$U_{sist.} + U_{alr.} = U_{total} = \text{Constante}$$



Figura 27. El sistema recibe energía de los alrededores.

$U_{sist.}$ aumenta

$U_{atr.}$ disminuye

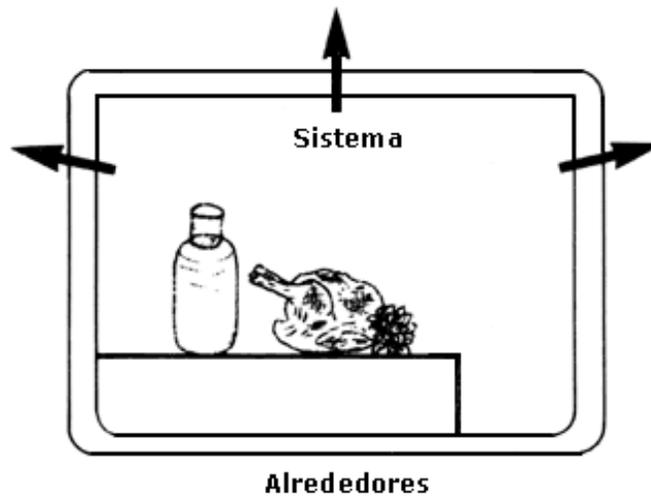


Figura 28. El sistema transmite energía a los alrededores.

$U_{sist.}$ disminuye

$U_{atr.}$ aumenta

ya que si, por ejemplo aumentara U_{sist} esta energía adicional necesariamente provendría de los alrededores y $U_{atr.}$ disminuiría en esta cantidad.

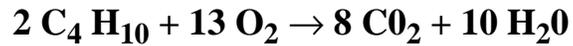
Esta situación es de hecho una regla universal conocida como Ley de la conservación de la energía, y que se expresa como: "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma." ¹ 

¿Cómo se puede transferir energía de los alrededores hacia el sistema o viceversa?

Las formas de transmisión de energía más conocidas, y por lo tanto las más utilizadas, son la transmisión por

medio de *calor* Q o por medio de trabajo mecánico W .

Al calentar nuestros alimentos, comúnmente utilizamos la energía proveniente de una reacción de combustión. Por ejemplo, una hornilla puede utilizar butano (C_4H_{10}) como combustible:



En esta reacción se desprenden unas 11 860 calorías por cada gramo de butano consumido. Podemos considerar que la hornilla son los alrededores que proporcionan energía a nuestros alimentos (el sistema). Como referencia, debemos recordar que una *caloría* es la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura de un gramo de agua, un grado Celsius, de $14.5^\circ C$ a $15.5^\circ C$.

El proceso contrario lo realizamos cuando enfriamos o congelamos algún alimento utilizando un refrigerador. El refrigerador extrae energía de los alimentos que colocamos en su interior y transfiere esa energía, en forma de calor; al aire exterior. Por esta razón si acercamos nuestra mano a la parte trasera de un refrigerador en funcionamiento podremos sentir el calor que se desprende.

En los dos casos mencionados anteriormente, calentamiento o refrigeración, la energía total ($U_{sist.} + U_{alr.}$) permanece constante. La forma de transmisión de energía utilizada es el calor Q . Los sistemas como los mostrados en las figuras 27 y 28, que pueden intercambiar energía con sus alrededores pero no pueden intercambiar masa, se denominan *sistemas cerrados*.

Es importante hacer notar que un cuerpo (o sistema) tiene energía, pero no podemos decir que contiene calor. El calor es un medio por el que la energía se transfiere, y suele decirse que es *energía en tránsito*.

Lo anterior es igualmente válido para el *trabajo* (W) que también es energía en tránsito.

Por convención, asignamos un signo positivo (+) al calor, Q o al trabajo, W cuando el que recibe la energía es el sistema, o sea, cuando $U_{sist.}$ aumenta.

Si, por lo contrario, el sistema pierde energía y U_{sist} disminuye, consideramos que el calor y/o el trabajo son negativos (-).

Esta convención es llamada del "sistema egoísta" ya que sólo considera cantidades positivas cuando el sistema gana energía.

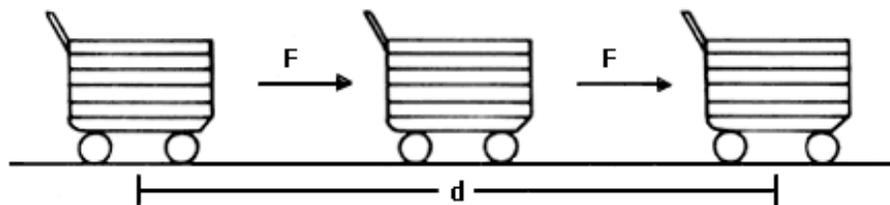


Figura 29a. Al desplazarse el objeto, se realiza trabajo.

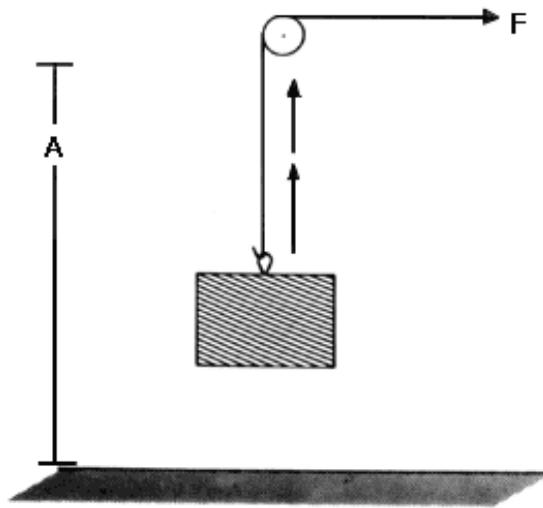


Figura 29b. Al levantar un objeto se realiza trabajo.

Un tipo de trabajo mecánico es el que implica cambiar la posición de un objeto: En este caso, el trabajo, W es igual al producto de la *fuerza aplicada*, E , por la *distancia* recorrida, d :

$$W = F \times d$$

Cuando se mueve el carrito (fig. 29 a) generalmente el trabajo se requiere para vencer la fricción. Si se trata de levantar un objeto a una cierta altura A , (fig. 29b) la energía queda acumulada en el objeto como energía potencial. Si se libera el objeto, éste caerá adquiriendo una cierta velocidad. Durante la caída, la energía potencial se va transformando en energía cinética. En el momento en que el objeto choca con la superficie, nuevamente se produce una transformación de la energía, si bien esta transformación depende de las propiedades mecánicas y elásticas de los cuerpos que chocan. Si se trata de un balón de fútbol, sabemos que rebotará varias veces hasta quedar detenido y haberse liberado de toda la energía cinética que había adquirido durante su caída. Si es un objeto de vidrio, lo más probable es que la energía sea utilizada para romper enlaces atómicos y se produzca la ruptura del material. Un objeto de metal puede deformarse por el impacto, como sucede cuando chocan dos automóviles. Al menos parte de la energía se utiliza para generar esta deformación en el material.

En todos los procesos, una parte de la energía se libera en forma de calor hacia los alrededores. Pero lo importante es notar que en todos estos ejemplos y en todos los que, como lector; pueda usted inventar; la energía total se mantiene. Y también que la posibilidad de acumular energía potencial en un cuerpo por el simple hecho de elevarlo, se debe a que existe un campo gravitatorio y por tanto una fuerza F de gravedad, que generará el trabajo W al caer el cuerpo una distancia d .

¿Cómo podemos, entonces, alterar la cantidad de energía que posee un cuerpo u objeto?

Suministrándole o extrayéndole energía en forma de calor o en forma de trabajo. Una manera de expresar esto utilizando símbolos es:

$$\Delta U = Q + W$$

ya que el cambio en la energía interna del sistema (ΔU) dependerá de la cantidad de calor y de trabajo que se transfiera entre el sistema y los alrededores o viceversa. Aquí nos resulta útil recordar la convención que establecimos unos párrafos atrás: si Q y W son positivos, ΔU es positivo y nos indica que la energía del sistema ha aumentado, ya que, también por convención,

$$\Delta U = U_{final} - U_{inicial}$$

para la cual U_{final} significa la energía interna del sistema al final del proceso, y $U_{inicial}$, la energía que tenía inicialmente el sistema.

La expresión $\Delta U = Q + W$ se puede escribir también de otra forma que resulta más útil desde el punto de vista de análisis matemático. El cambio consiste en considerar que las cantidades de calor y/o trabajo que se transfieren son muy pequeñas (infinitesimales, solemos decir). Obviamente, el cambio de la energía también resulta infinitesimal. En símbolos matemáticos esto se expresa así:

$$dU = dQ + dW$$

la d antepuesta se lee como diferencial de la variable que continúa. Por ejemplo, dU se lee como "diferencial de energía" y representa un cambio muy pequeño en la energía interna del sistema.

La expresión $dU = dQ + dW$ se conoce como *primera ley de la termodinámica*.

ENERGÍA, CALOR Y TRABAJO EN SISTEMAS GASEOSOS

Los gases, por no tener forma ni volumen propios, son muy útiles para estudiar transformaciones de energía. Sabemos que la principal diferencia entre gases y líquidos o entre gases y sólidos, es que, en un gas, las moléculas que lo constituyen se encuentran tan lejanas entre sí que las podemos considerar como partículas independientes.

Para un primer estudio de las transformaciones de energía, nos resulta muy útil un sistema en el que podemos considerar que las energías de interacción entre las partículas son muy pequeñas, como sucede con los gases, al menos en un intervalo normal de presiones y temperaturas.

Por supuesto que si aumentamos la presión de un gas y disminuimos su temperatura, lograremos que las moléculas estén más cerca unas de otras. Esto daría lugar a interacciones moleculares que, de ser tomadas en cuenta, complicarían en gran medida nuestro estudio.

Es una ley natural que todos los sistemas tienen tendencia a adquirir un estado de mínima energía. En un gas, este estado se halla asociado a la menor temperatura posible y a las presiones más bajas, para que sus moléculas estén muy lejanas entre sí de modo que no existan interacciones.

Al comprimir un gas, esto es, disminuir su volumen y por tanto aumentar la presión, estamos obligando a las moléculas a acercarse unas a otras y por lo tanto aumentará la energía del sistema.

Si permitimos que el sistema transfiera esta energía excedente —recibida por el trabajo de compresión— en forma de calor hacia los alrededores, podemos lograr que, finalmente, \mathbf{DU}_{sist} sea cero, lo que equivale a que la temperatura del sistema se hubiera mantenido constante. Por esta razón diríamos que el proceso ha sido *isotérmico* (de *isos*, "igual", en griego).

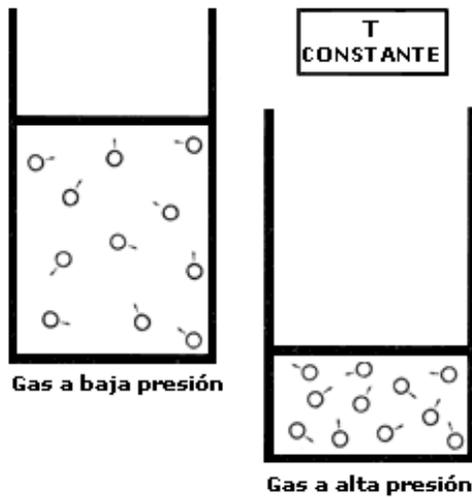


Figura 30. Al disminuir el volumen, las partículas se acercan, las condiciones aumentan y la presión también aumenta.

Tipos de sistemas

Si el sistema no puede transferir energía hacia sus alrededores y realizamos un trabajo de compresión, su temperatura tendría que aumentar como consecuencia de que U_{sist} ha aumentado.

Como ya hemos mencionado, llamamos *sistemas cerrados* a aquellos en los que puede haber transferencia de energía entre el sistema y sus alrededores pero *no* puede haber transferencia de masa.

Por ejemplo, un recipiente metálico perfectamente cerrado como el que se muestra en la figura 31, contiene en su interior el sistema "agua". Si calentamos el recipiente, el calor será transmitido hacia el agua y por tanto hay transferencia de energía entre los alrededores y el sistema.

Pero el agua no puede salir del recipiente. A esto nos referimos al decir que no puede haber transferencia de masa o materia entre los alrededores y el sistema. Por lo tanto, en la figura 31 tenemos un ejemplo de sistema cerrado.

Llamamos *sistema aislado* a aquel cuyas paredes no permiten ni la transferencia de masa ni la transferencia de energía. Si recordamos la primera ley de la termodinámica, nos será fácil reconocer la validez del siguiente postulado: "La energía de un sistema aislado es constante."

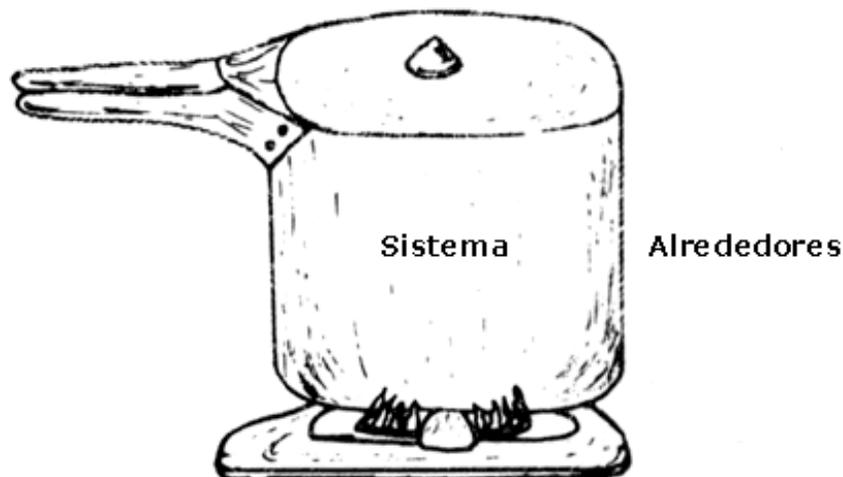


Figura 31. Sistema cerrado.

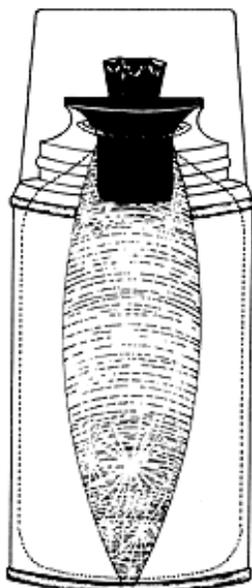


Figura 32. Sistema aislado.

Es difícil tener un sistema perfectamente aislado. Un dispositivo común y conocido que pretende tener paredes aislantes, es el recipiente térmico que utilizamos para mantener nuestros alimentos a una temperatura constante.

Existen sistemas llamados *abiertos*, cuyas paredes permiten el intercambio de masa y de energía entre sistema y alrededores. De estos sistemas hablaremos más adelante.

La termodinámica estudia los sistemas que se encuentran en *equilibrio*. Esto significa que las propiedades del sistema —típicamente la presión, la temperatura, el volumen y la masa— son constantes. En la vida cotidiana, es difícil encontrar un sistema que esté, de manera rigurosa, en equilibrio. Sin embargo, hay sistemas en los que las propiedades están cambiando, pero en una forma tan lenta que, para fines prácticos, podemos considerarlos como sistemas en equilibrio.

Esto sucede en muchos sistemas abiertos, uno de los cuales podemos ser nosotros mismos. ¿Somos un sistema en equilibrio? Es evidente que no, pues podemos observar que vamos envejeciendo con los años. Nuestra piel se va arrugando, nuestro pelo encanece o desaparece. Pero si nos ponemos frente a un espejo durante varias horas, es claro que no podríamos notar este proceso de envejecimiento.

Nuestro organismo está diseñado para mantener una temperatura constante. Ya hemos mencionado que normalmente este valor es de unos 37°C . El cambio en unos cuantos grados puede ser de consecuencias fatales. ¿Cómo logra nuestro cuerpo mantener su temperatura?

Cuando decimos que hace mucho calor, es porque nuestros sentidos detectan que la temperatura de los alrededores es mayor que la de nuestro cuerpo. Generalmente sudamos mediante un proceso llamado *transpiración*. Eliminamos agua, la cual utiliza energía para evaporarse. Esta energía la toma de nuestro cuerpo y

ello nos ayuda a mantenernos a una temperatura constante.

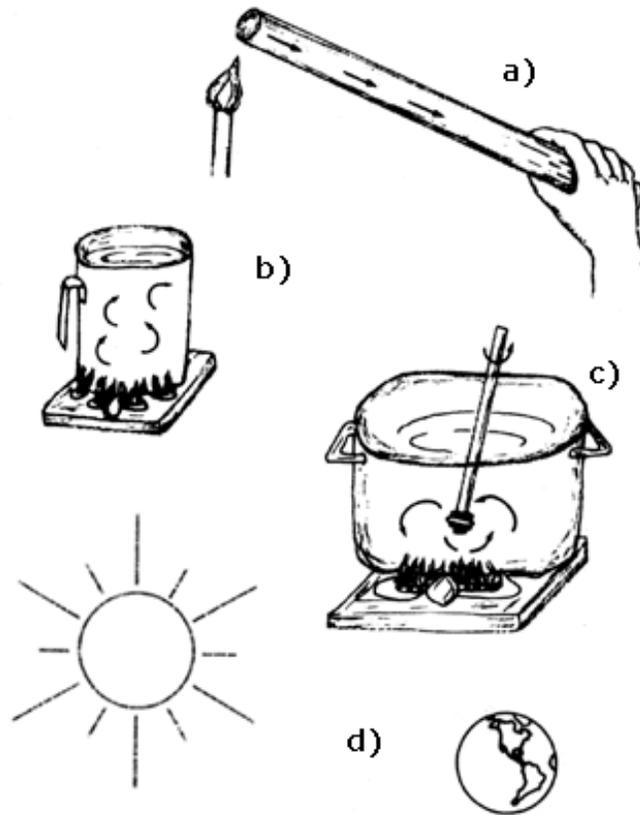


Figura 33. Transmisión de calor: (a) por conducción; (b) por convección libre; (c) por convección forzada, y (d) por radiación.

Este fenómeno lo podemos experimentar fácilmente si ponemos un poco de alcohol en nuestras manos. Si movemos las manos para facilitar la evaporación del alcohol, sentiremos una sensación de frescura. Esto se debe a que el alcohol, para pasar de estado líquido a vapor; requiere de energía y la toma de los alrededores.

En este caso, los alrededores son básicamente nuestra piel. Al perder esta energía de nuestra piel, la temperatura disminuye momentáneamente y sentimos "frío". La sensación desaparece rápidamente, pues nuestra temperatura se equilibra de nuevo.

La transferencia de calor entre una región y otra del sistema o bien entre el sistema y sus alrededores puede llevarse a cabo por tres medios diferentes: convección, conducción y radiación.

Conducción es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra parte del mismo cuerpo, o de un cuerpo a otro cuerpo con el que está en contacto físico, sin que podamos apreciar un desplazamiento de las partículas que forman estos cuerpos. Cuando tomamos una pequeña varilla metálica por un extremo y calentamos el otro extremo, por ejemplo metiéndolo al fuego, muy pronto sentiremos el calor en el extremo que estamos deteniendo con nuestra mano. El calor se ha transmitido por conducción a través de la varilla. Al igual que sucede con los conductores eléctricos, no todos los cuerpos conducen el calor con la misma facilidad. Si repetimos la experiencia de la varilla pero ahora utilizando un cuchillo con mango de madera, este material impedirá en gran medida el paso del calor hacia nuestra mano.

Convección es la transferencia de calor de un punto a otro punto dentro de un fluido, gas o líquido, mediante la mezcla de regiones frías con regiones calientes. En la convección "natural", el movimiento del fluido se debe

exclusivamente a las diferencias locales de densidad ocasionadas por las diferencias en temperaturas en las distintas regiones del sistema. En la convección "forzada" se utilizan medios mecánicos para favorecer el mezclado, por ejemplo, cuando calentamos nuestros alimentos es muy común que utilicemos un cucharón para agitar el fluido y obtener un calentamiento más uniforme.

Radiación es la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro que no se halla en contacto con aquél, mediante ondas que viajan a través del espacio. El ejemplo de transmisión de calor por radiación más conocido por nosotros es el del calor que recibimos desde el Sol.

Ecuación del modelo de gas ideal

De las consideraciones anteriores podemos intuir que debe existir una relación entre el volumen (V), la presión (P) y la temperatura (T) de un cuerpo. Para el caso más simple, que es el de un gas, la ecuación más sencilla que conocemos es la ecuación del gas ideal:

$$PV = nRT$$

donde n representa el número de moles que tenemos en el sistema (moles = peso en gramos/peso molecular) y R es un número conocido como la constante de los gases.

La constante, R , de los gases se utiliza en la resolución de muchos problemas fisicoquímicos y por esta razón suele encontrarse en los libros de texto expresada en diferentes unidades. Los valores más utilizados son:

8.3145J / K mol, 8.3145 Pascal m³ / K mol

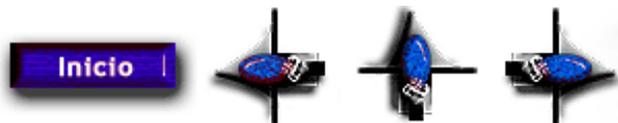
0.08206 litros-atmósfera / K mol

1.9872 calorías / K mol

Esta ecuación proviene de una idealización en la que consideramos, entre otras cosas, que las moléculas no interactúan. Si comparamos los resultados obtenidos con esta ecuación con los obtenidos por experimentación en el laboratorio, encontraremos que la ecuación nos da resultados más confiables cuando las condiciones del gas "real" son de presiones bajas y temperaturas altas, ya que dichas condiciones favorecen que las moléculas no interactúen.

Es común que hablemos de gases "ideales" y gases "reales", considerando que los primeros son aquellos gases cuyo comportamiento es bien descrito por la ecuación $PV = nRT$. Es claro que todos los gases que conocemos *son* reales y que resulta más correcto hablar de gases que se comportan de acuerdo con el modelo ideal y gases cuyo comportamiento no es descrito adecuadamente por el modelo de gas ideal.

Por lo anterior; es más correcto decir "ecuación del modelo de gas ideal" que ecuación del gas ideal.



[Nota 1] [←]

¹ El lector recordará que una ley universal es la ley de la conservación de la materia.

Inicio |

IV. LAS REACCIONES QUÍMICAS Y EL CALOR

REACCIONES QUÍMICAS

EN LA NATURALEZA ocurren continuamente cambios químicos que pueden pasar inadvertidos para los que no son especialistas en la disciplina. Difícilmente se puede estar consciente, por ejemplo, de las innumerables reacciones químicas que ocurren en nuestro cuerpo relacionadas con la respiración, el crecimiento, la alimentación, la reproducción, etcétera.

Las plantas verdes, por ejemplo, absorben dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera y con la energía proveniente del Sol, el agua y la clorofila (pigmento que les da el color verde), son capaces de producir azúcares y oxígeno libre. Este complicado proceso químico de la naturaleza se llama fotosíntesis.



Los animales que se alimentan de plantas verdes, ingieren azúcares ¹  y otros productos químicos elaborados por las plantas, y de esta manera obtienen la energía que requieren para el desarrollo de sus funciones vitales. Este cambio químico, que ocurre en los animales, devuelve al ambiente agua y dióxido de carbono en la expiración.

La investigación química y el desarrollo tecnológico producen continuamente nuevos materiales: detergentes, colorantes, aromatizantes, conservadores, plásticos, etcétera.

Sin la química no habría automóviles, fotografía, televisores, materiales sintéticos, cosméticos, ni muchas otras cosas que utilizamos diariamente.

Las expectativas de vida se han incrementado gracias a la producción de nuevos fármacos (medicamentos). Muchas enfermedades mortales han sido eliminadas debido al desarrollo de métodos químicos y bioquímicos para su control y desaparición. Actualmente, cientos de profesionales se dedican afanosamente a la búsqueda de remedios y/o vacunas para el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA).

También es importante reconocer que existen procesos químicos y tecnológicos que conllevan resultados perjudiciales para la salud de los seres vivos, por ejemplo, la contaminación, la producción de basura, los efectos secundarios de algunos pesticidas, etc., que amenazan a nuestro planeta y pueden causar que se vuelva inhabitable.

El conocimiento de las reacciones químicas es importante, no sólo para los especialistas sino también para la sociedad, ya que ayuda a crear una conciencia sana y responsable en la preservación de nuestro medio ambiente y, en términos generales, de la vida en nuestro planeta.

Para poder conocer un poco de estos procesos es necesario ver de manera sencilla aquello que los químicos llaman *reacción química*.

Ya hemos visto que la materia (sólidos, líquidos y gases) está formada por átomos que a su vez se combinan con otros átomos y moléculas para producir muchas sustancias que conocemos y usamos. En la producción de nuevos compuestos, se absorbe o se desprende *calor*.

Se llama *termoquímica* al estudio de los cambios de calor que ocurren durante una reacción química. Ya hemos visto que la cantidad de calor que se transfiere de un sistema a otro se identifica con la letra Q . Cuando en una reacción química el calor ha entrado al sistema, Q es positivo y a la reacción química se le llama *endotérmica*; si el sistema pierde calor; Q es negativo y la reacción se llama *exotérmica*.

En la introducción de este libro hemos mencionado el fenómeno de la combustión. La combustión es un caso particular de las reacciones de oxidación en las cuales una sustancia (o elemento) reacciona con el oxígeno. Para ilustrarlo veamos la reacción de oxidación de un metal:

Metal + oxígeno = óxido metálico + absorción o desprendimiento de calor

Es bien conocido que si se deja un metal, por tiempo prolongado, expuesto al aire, su superficie se transforma por la formación del óxido. Por ejemplo, los clavos "oxidados" recubiertos de herrumbre. Esta oxidación de la superficie se llama corrosión. ²  En el caso de nuestro ejemplo, la humedad es un factor importante en la aceleración de la formación del óxido de hierro. Por la corrosión, al transcurrir el tiempo, pueden descomponerse o utilizarse maquinarias, transportes, reactores, etc. En nuestro país, la sola corrosión del metal hierro ocasiona pérdidas por millones o billones de pesos.

Los especialistas en corrosión, mediante el estudio de las reacciones químicas, pueden detener y a veces eliminar estos efectos cuando son indeseables.

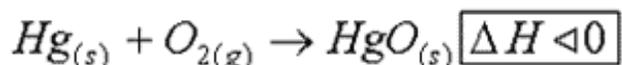
Algunos metales, como el cinc, níquel, aluminio y el cromo, entre otros, no necesitan ser protegidos de manera especial contra la corrosión, bien sea porque no se oxidan con el aire (el aire contiene 1/5 parte de oxígeno) o porque cuando se forma una capa muy delgada del óxido, éste mismo sirve de protección al resto del material para que no se siga oxidando. Por esta razón se usan como metales protectores de otras superficies más vulnerables a los efectos de la corrosión. Actualmente se usan también materiales plásticos para recubrir y proteger superficies contra estos efectos.

El lenguaje simbólico de la química

En párrafos anteriores escribimos una reacción de oxidación de la siguiente manera:

Metal + oxígeno = óxido metálico + absorción o desprendimiento de calor

Para representar esta reacción de manera más económica y hacerla más explícita, se utilizan los símbolos de los elementos y las fórmulas químicas de los compuestos. Tomemos como ejemplo de un metal al mercurio, cuyo símbolo es Hg. La reacción química de oxidación del mercurio se expresaría en el lenguaje de la química:



Traduzcamos ahora, al lenguaje común, toda la información contenida en esta *ecuación química*. Primero veremos el significado de la ecuación y más adelante trataremos la información contenida en el recuadro.

Hg es el símbolo del mercurio y proviene del nombre original que se le dio en latín a este elemento: *hydrargirium* (que en español quiere decir plata líquida). Hg es, por lo tanto, una abreviatura del nombre.

(s) es una abreviatura de la palabra sólido.

(+) este signo, igual al de "suma" en las ecuaciones matemáticas, indica que el mercurio se unirá o combinará con el elemento que sigue a continuación.

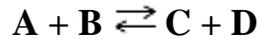
(O₂) O es el símbolo del oxígeno y el número 2 indica que se trata de una molécula de oxígeno formada por 2 átomos.

(g) indica que el oxígeno está en estado gaseoso.

La flecha sustituye al signo = de nuestra ecuación original simplemente porque la flecha puede hacerse del tamaño que se desea y a veces se puede poner información adicional sobre ella. En realidad no necesita mayor justificación: ¡los químicos la prefieren!

A los elementos a la izquierda de la flecha, en nuestro caso el **Hg** y el **O₂**, se les suele llamar *reactivos*, y a los que están en el lado derecho de la flecha, *productos*. Quizá con esto hemos encontrado una justificación al uso de la flecha; los químicos dicen: "El mercurio al reaccionar con el oxígeno *produce* óxido de mercurio." Así pues, la flecha está en lugar de la palabra *produce*, el uso del signo = sería incorrecto, ya que de ninguna manera el mercurio y el oxígeno como elementos son "iguales" al óxido de mercurio, que es un compuesto.

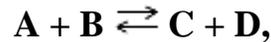
Es importante saber si en una reacción química los productos pueden volver a reaccionar para formar los reactivos originales. Cuando esto sucede, se coloca en la ecuación una segunda flecha en sentido contrario:



En este caso se dice que la reacción es *reversible*: puede ocurrir de derecha a izquierda y viceversa. Un ejemplo de una reacción reversible es la del hierro (Fe) con vapor de agua para producir el óxido de hierro 11-111 (Fe_3O_4) e hidrógeno (H_2):



Si se hace pasar vapor de agua sobre hierro caliente, la reacción procede de izquierda a derecha. Pero si se hace reaccionar hidrógeno con Fe_3O_4 , la reacción procede de derecha a izquierda. Por cierto, al Fe_3O_4 le llamamos magnetita o, más comúnmente, piedra imán. Generalizando, para una reacción del tipo:



cuando ambas reacciones llegan a un estado en el cual se están formando C y D por reacción de A con B, con la misma rapidez que se combinan C y D para formar nuevamente A y B, se dice que se ha alcanzado un estado de *equilibrio dinámico*. Este equilibrio es función de la temperatura, de la presión y de las cantidades en exceso de reactivos o productos que puedan estar presentes.

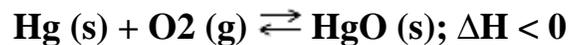
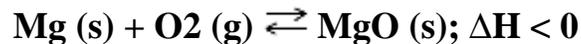
Energía y rapidez de reacción

En todas las reacciones químicas ocurren cambios de energía, es decir; se puede absorber o liberar energía en forma de calor, luz, energía eléctrica, etcétera.

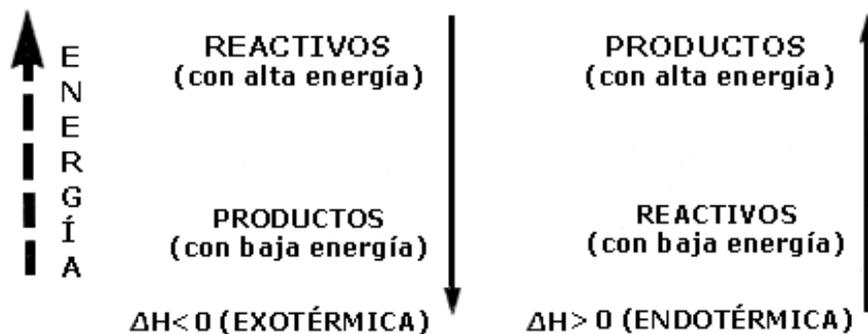
Si en una reacción se libera energía en forma de calor; decimos que la reacción es *exotérmica*; si la energía es absorbida, entonces la reacción es *endotérmica*.

La manera de expresar esto en el lenguaje de las reacciones químicas es mediante el símbolo ΔH (cambio de entalpía), que precedido de un signo negativo ($-\Delta H$) indica que la energía es liberada; otra forma de expresar lo mismo es $\Delta H < 0$, esto es, que ΔH es menor que cero. Si en la reacción se absorbe energía, se antepone un signo + ($+\Delta H$) o bien en su forma equivalente $\Delta H > 0$ (ΔH es mayor que cero).

Ejemplos:



Lo anterior lo podemos resumir en este cuadro:



El símbolo H representa la entalpía del sistema y es una función con propiedades semejantes a la energía interna (U). Cuando los procesos se llevan a cabo a presión constante, es más conveniente utilizar la función entalpía.³



Un ejemplo de una reacción exotérmica común es la combustión del gas natural:



Se obtienen unas 13 300 calorías por cada gramo de metano (CH_4) quemado.

Un ejemplo de reacción endotérmica es la producción del ozono (O_3). Esta reacción ocurre en las capas altas de la atmósfera, donde las radiaciones ultravioleta proveen la energía del Sol. También ocurre cerca de descargas eléctricas (cuando se producen tormentas eléctricas):



El olor del ozono puede usted reconocerlo aun en pequeñas cantidades, por ejemplo: cuando un tren eléctrico de juguete está en operación y saltan chispas. Es un olor irritante.



Figura 34. Foto de un día muy contaminado.

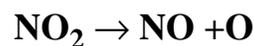


Figura 35. Representación gráfica que muestra las fuentes y las magnitudes relativas de la contaminación del aire en EUA.

Si usted vive en la ciudad de México o conoce el problema de contaminación que en ella existe, seguramente que la palabra ozono le producirá gran preocupación, si está usted pendiente de los informes que la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) presenta al respecto. ¿Qué reacciones químicas están ocurriendo en la atmósfera de esta ciudad que causan una excesiva cantidad de ozono, tan perjudicial para la salud?

Desde luego no es la reacción natural, que hemos descrito y que ocurre en las capas altas de la atmósfera (estratosfera) ya que las radiaciones (fotones) no alcanzan la superficie terrestre. Los científicos no tienen todavía respuestas absolutas con respecto a este proceso de contaminación pero piensan que, al menos de manera parcial, puede ocurrir lo siguiente:

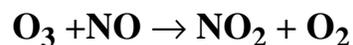
El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un componente normal del aire, y se disocia por la acción del Sol en la siguiente reacción:



El oxígeno atómico (O) formado, reacciona a su vez con el oxígeno molecular (O_2) presente en el aire.



El ozono producido vuelve a reaccionar con el NO de la primera reacción:



en un ciclo natural que evita la producción excesiva de *ozono* en la superficie.

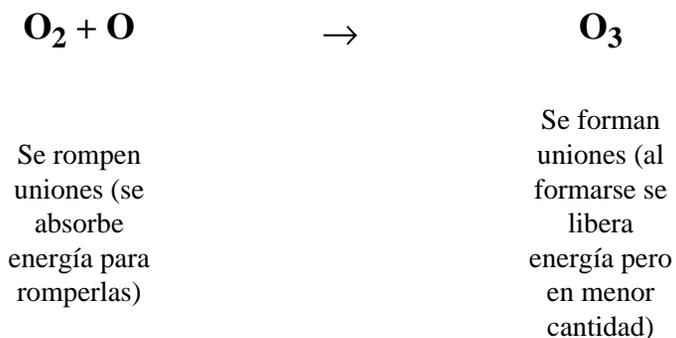
Sin embargo, pruebas realizadas en el laboratorio demuestran que ciertos tipos de hidrocarburos producidos con los gases de combustión de los motores (sobre todo de la gasolina de los autotransportes) parecen alterar este ciclo natural del NO_2 . Estos hidrocarburos reaccionan con el oxígeno y los productos formados reaccionan a su vez con el NO para formar NO_2 . En esta forma, se aumentan las proporciones de O_3 y O_2 al ser eliminado el NO .

Tanto el exceso de O_3 como el de NO_2 son peligrosos para plantas y animales. El NO_2 es un gas picante, de olor dulzón, de color café amarillento (¿usted recuerda el color del llamado *smog*?). Otro efecto peligroso es que

cuando este exceso de NO_2 reacciona con vapor de agua se forma el ácido nítrico (HNO_3), compuesto muy conocido, que forma parte de la llamada *lluvia ácida*, otro de los desastres de las ciudades muy contaminadas. Otro componente de la lluvia ácida, el más importante, es el ácido sulfúrico (H_2SO_4) que se forma debido a un exceso del elemento azufre (S) también presente en el petróleo. El azufre, durante la combustión, forma SO_2 y SO_3 , que se combinan con las moléculas de H_2O :

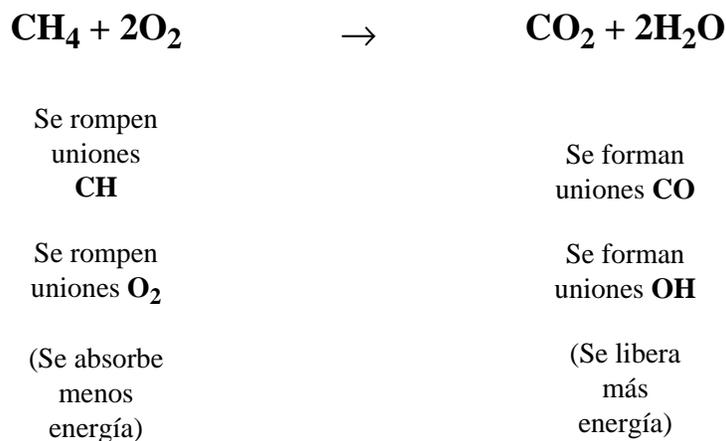


La energía asociada con las reacciones químicas está relacionada con las energías de unión entre los átomos que forman las moléculas. Este proceso es complejo, ya que durante una reacción algunas uniones químicas se rompen y otras se forman. Por ejemplo, en la formación del ozono a partir de oxígeno:



Resultado neto: la energía se *absorbe*.

En el caso de la reacción de combustión del gas natural (metano):



Resultado neto: se *libera* energía.

En los motores de combustión interna de la mayoría de los automóviles, se aprovecha la energía que se desprende de la combustión de la gasolina. Al quemarse el combustible dentro del cilindro, el gas formado genera el

movimiento del pistón y posteriormente este movimiento sirve para mover las ruedas del automóvil. Desafortunadamente sólo 20 % de la energía contenida originalmente en el combustible se transforma efectivamente en trabajo útil, esto es, gran parte de la energía se desperdicia.

Conocer los cambios de energía asociados con una determinada reacción química nos ayudará a determinar las posibilidades de que esta reacción ocurra fácilmente en la naturaleza. En general, es más fácil que se den reacciones exotérmicas, ya que las endotérmicas requieren de un suministro de energía. Sin embargo, conocer el ΔH de una reacción no es suficiente para asegurar que esta reacción ocurrirá o no. También es necesario conocer otras características como, por ejemplo, la necesidad de una cierta energía de activación para que se inicie la reacción. Estos aspectos no son temas del presente libro por lo que sugerimos al lector interesado revisar un libro de termodinámica básica.

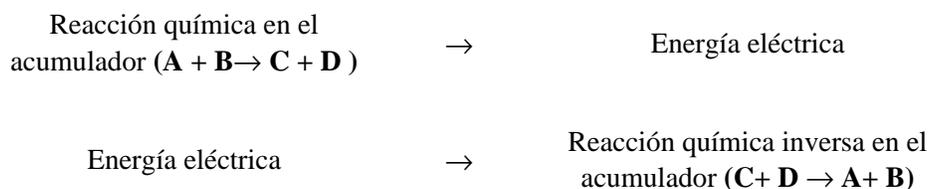
Por otra parte, el conocimiento de las variables termodinámicas tampoco nos será de utilidad para establecer la rapidez con que puede ocurrir una reacción. Recordemos que la termodinámica clásica sólo estudia sistemas en equilibrio. La rapidez de una reacción química se suele expresar en términos de cantidad de productos obtenidos por unidad de tiempo o, alternativamente, cantidad de reactivos que se consumen por unidad de tiempo. El estudio de la rapidez con que puede ocurrir una reacción y los factores que afectan dicha rapidez, corresponde a otra rama de la química: la *cinética química*.

ELECTROQUÍMICA

En la sección anterior hemos visto cómo están asociadas las reacciones químicas con los cambios de energía, principalmente en su forma de calor.

El ingenio del hombre ha permitido construir sistemas en los que se utilizan otras reacciones químicas que liberan energía, pero no en forma de calor sino como una corriente eléctrica. Son las conocidas pilas, una de cuyas versiones utilizamos diario para proveer de energía diversos aparatos portátiles como radios de transistores, grabadoras, linternas, etc. Esta pila común es la "pila seca" o pila de Leclanché.

Así como algunas reacciones químicas nos proporcionan energía eléctrica, en ocasiones podemos utilizar el proceso inverso: si aplicamos corriente eléctrica a un sistema químico, podemos producir reacciones químicas y lograr que la energía quede acumulada como energía interna en los productos de la reacción. Un caso interesante es el acumulador que utilizan los automóviles, ya que en él se presenta la interconversión de energía eléctrica y química. Para que el motor arranque se requiere de energía eléctrica, la cual es proporcionada por una reacción química que se produce en el acumulador. Una vez puesto el motor en marcha, un dispositivo genera corriente eléctrica que es suministrada al acumulador para recargarlo". Si cuidamos el acumulador, el ciclo de carga-descarga se puede llevar a cabo miles de veces.



Debido a los problemas de contaminación, los investigadores de todo el mundo están perfeccionando los automóviles eléctricos. En gran medida, el buen éxito de este tipo de transporte se basa en la invención de acumuladores más eficientes.

Generalmente asociamos la energía eléctrica con un flujo de electrones en el interior de un material conductor. Sin embargo, en los sistemas electroquímicos, el transporte de carga se realiza también gracias a un movimiento de átomos y moléculas con carga, llamados *iones*.

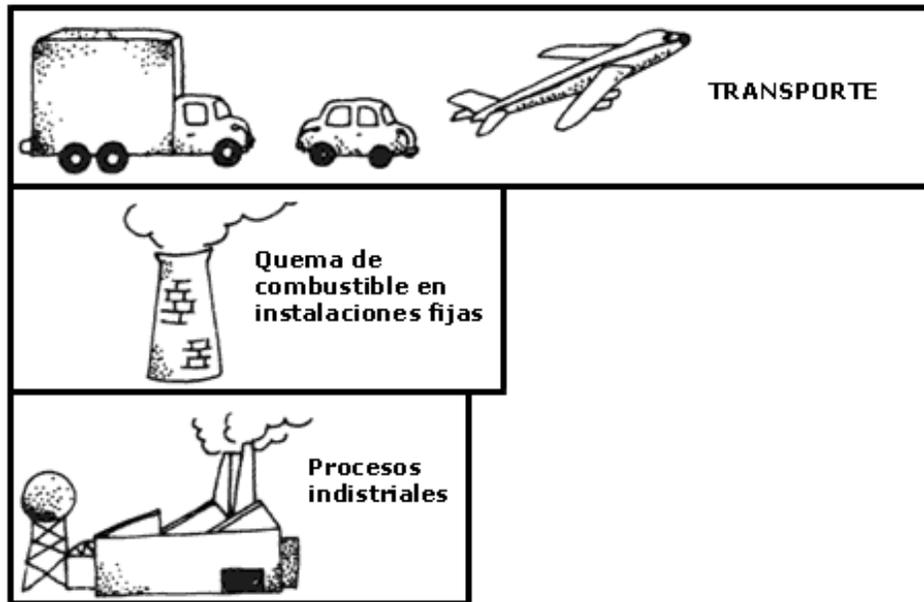


Figura 36. Las principales fuentes de contaminación.

Ya sabemos lo peligroso que resulta el manejar un aparato eléctrico con las manos mojadas, debido a que el agua, que normalmente contiene diversas sales, resulta ser muy buen conductor de la corriente eléctrica y disminuye la resistencia de nuestra piel al paso de una descarga. En realidad, el agua pura es muy mala conductora de la electricidad. Sin embargo, las sustancias químicas disueltas, presentes en forma de iones, son las responsables de la aparente buena conductividad del agua.



[Nota 1] 

¹ En lenguaje químico, es más correcto llamar sacáridos a los compuestos cuya estructura es semejante a la del azúcar común.

Inicio

[Nota 2] 

² consúltese *Más allá de la herrumbre*. Ávila, J. y Genescá, J. La Ciencia desde México, núm. 9. SEP / FCE / CONACyT

Inicio |

[Nota 3] 

³ El lector interesado en profundizar en este tema puede consultar el libro núm. 5 de la colección La Ciencia desde México.

Inicio

V. EL EFECTO DE INVERNADERO

COMO se mencionó en el capítulo III, la Tierra recibe energía del Sol por medio de la radiación. A su vez, emite una parte de esta energía al espacio que la rodea. Del total de la energía que nuestro planeta recibe del Sol, se estima que 30% es reflejado de nuevo hacia el espacio exterior. El 70% restante es absorbido: 20% por la atmósfera y 50% por la corteza terrestre y el agua, principalmente la de los océanos.

Si la Tierra recibe constantemente la energía del Sol, ¿cómo es entonces que su temperatura no aumenta también continuamente? Ya hemos visto que si se suministra energía en forma de calor a un sistema cerrado, se producirá un incremento en la temperatura del sistema como consecuencia de la energía absorbida. Aunque la temperatura de una región varía durante las estaciones del año, el promedio de la temperatura en la superficie terrestre, que es de unos 15°C, se mantiene prácticamente constante. Por lo tanto, debemos concluir que nuestro planeta es un sistema que puede intercambiar energía con sus alrededores. De hecho, nuestro planeta es un sistema abierto; de no ser por la fuerza que ejerce el campo gravitatorio, las moléculas de los gases que constituyen la atmósfera escaparían hacia el espacio exterior. La causa de que en la Luna no haya atmósfera es que su campo gravitatorio es tan débil que no puede retener estas moléculas.

Como ya se mencionó, también los organismos de sangre caliente tenemos la capacidad de mantener nuestra temperatura constante. Por esta razón, muchos científicos consideran que debemos estudiar al planeta Tierra como un ser viviente ¹,  un organismo cuya piel es la corteza terrestre y cuya vida se manifiesta no sólo en los millones de ejemplares vegetales y animales que lo habitamos, sino también en el flujo de los ríos, el movimiento de los vientos, las mareas de los océanos y las erupciones volcánicas.

Así como una infección de nuestras vías respiratorias, aunque sea un simple catarro, ocasiona trastornos en todo nuestro cuerpo, resulta que las "enfermedades" que la Tierra sufre en una región, tarde o temprano se manifiestan en todo el planeta. Por esta razón, aunque a veces parece difícil de creer, el clima de México se ve afectado por las erupciones volcánicas que ocurren en Asia. De igual forma, los bosques de Noruega, Suecia y Finlandia sufren las consecuencias de la actividad industrial de otros países europeos, y la destrucción de los bosques tropicales ocasiona que, a miles de kilómetros de distancia, tierras antes fértiles se conviertan en desiertos.

Los cambios de temperatura y de presión en la atmósfera ocasionan los movimientos que dan lugar a los vientos; a través de ellos y del sistema "sanguíneo" de la Tierra, constituido por las aguas de ríos, lagos y océanos, todas las regiones del planeta están comunicadas. Los materiales tóxicos que se generan en las grandes ciudades y complejos industriales no sólo afectan a los seres vivientes de las regiones cercanas, afectan la vida de todo el planeta.

Uno de los efectos globales que más atención ha recibido es el llamado "efecto de invernadero". En los últimos años, diversos grupos de científicos han reportado que la temperatura media de la Tierra está aumentando. El "organismo terráqueo" aparentemente está perdiendo la capacidad de mantener su temperatura constante. Como un paciente enfermo cuando tiene fiebre, nuestro planeta está enfermo de un mal llamado *contaminación*.

El equilibrio térmico de nuestro planeta se basa, en gran medida, en su capacidad de devolver hacia el espacio exterior una parte de la energía recibida del Sol. El 20% de la energía solar es absorbida por la atmósfera; las sustancias responsables de esta acumulación de energía son, principalmente, el metano (CH_4), el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2) y los hidrocarburos halogenados como el CF_3Cl . Gracias a la energía acumulada por estos compuestos químicos, la temperatura en la superficie terrestre se mantiene, generalmente, dentro de límites adecuados para nuestra supervivencia. Cuando llega la noche a la región en que habitamos, y obviamente dejamos de recibir la energía solar, la atmósfera impide que la temperatura baje drásticamente; la presencia de nubes ayuda a que el clima sea más agradable. Por esta razón, en las zonas desérticas, donde la atmósfera contiene poca humedad y hay poca formación de nubes, los días son muy calurosos y las noches son muy frías. Es fácil imaginar lo que sucede en la Luna, donde la ausencia de atmósfera hace que, entre la zona oscura y la zona iluminada, haya una diferencia de temperaturas de cientos de Kelvin.

Pero ¿qué sucede si la cantidad de dióxido de carbono aumenta considerablemente en la atmósfera? **O** ¿si los

procesos industriales y la combustión de energéticos generan la presencia de otras sustancias químicas capaces de absorber energía? Lógicamente, la temperatura del planeta tenderá a aumentar. Por ejemplo, en el planeta Venus, cuya atmósfera está formada por gruesas nubes de CO_2 , la temperatura media en la superficie es de unos 430°C .

En el interior de un invernadero, los cristales no sólo ayudan a retener el calor que emana del suelo, sino también a evitar las corrientes de aire, lo que hace que la temperatura interior sea varios grados mayor que la temperatura exterior. Pero en el caso de la Tierra, donde los vientos actúan libremente, llamar "efecto de invernadero" al fenómeno del calentamiento de nuestro planeta, no es del todo correcto. Sin embargo, este nombre ya está muy generalizado y, pese a todo, se continúa utilizando. Es importante notar que la retención de energía por parte de nuestra atmósfera, que es la base del efecto de invernadero, es indispensable para la vida en nuestro planeta, ya que ayuda a mantener la temperatura entre límites adecuados. Sin embargo, actualmente se asocia este fenómeno con algo dañino, por el hecho de que el límite superior de temperatura parece estar aumentando.

¿Y qué importancia puede tener que la temperatura de una región o de todo el planeta se incremente en uno o dos grados? Lamentablemente, las consecuencias pueden ser fatales. Como ya vimos en capítulos anteriores, algunos organismos vivos son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura; estos cambios en el clima, aparentemente pequeños, ocasionan modificaciones en las temporadas de lluvia y en la cantidad de agua que normalmente cae en una región, lo que generalmente significa la pérdida de miles de toneladas de alimentos, ya que las cosechas se pierden.

En la zona norte de México, durante 1994 se tuvo una sequía muy importante. Un fenómeno parecido se presentó en el estado de California, en los Estados Unidos de América, y esto ocasionó incendios de grandes proporciones que consumieron miles de árboles. A finales de 1994 y principios de 1995 comenzaron las lluvias y, al caer en zonas donde los suelos han sido erosionados, provocaron graves inundaciones.

Otra consecuencia del aumento de la temperatura media de la Tierra es que empiezan a fundirse las grandes masas de hielo que se encuentran en los polos, lo que ocasiona un aumento en el nivel de los mares. Si este nivel aumenta, aunque sea unos cuantos centímetros, grandes regiones costeras pueden desaparecer al ser cubiertas por las aguas; y muchas grandes ciudades se encuentran ubicadas en estas regiones.

El "calentamiento" que está sufriendo nuestro planeta se debe, en gran parte, a que la cantidad de CO_2 presente en la atmósfera ha ido en aumento durante los últimos años. En 1900, cada metro cúbico de aire contenía unos 290 mililitros de CO_2 ; para 1990 esta cantidad era de unos 355 mililitros y en 1995 se estima en alrededor de 370 mililitros. Este aumento se atribuye al consumo excesivo de energéticos que, al ser quemados, producen CO_2 y agua. Así como en México consumimos grandes cantidades de gas, gasolina y diésel, en otros países se queman diariamente cientos de toneladas de leña y de carbón, y este fenómeno se repite en casi todas las regiones del planeta. Para mantener el equilibrio, el CO_2 producido en las reacciones de combustión y en los procesos de respiración de millones de seres vivos, debería ser absorbido por las plantas verdes mediante la fotosíntesis.

El crecimiento de la población está siempre unido a mayor demanda de energía y de alimentos. La necesidad de contar con más ganado bovino para proveer de carne a los grandes núcleos de población, ha ocasionado que, unas veces por ignorancia y otras por inconciencia, se hayan destruido miles de hectáreas boscosas para convertirlas en pastizales para el ganado. Además, del excremento de las vacas se desprende gas metano (CH_4), que también contribuye a la retención de energía en la atmósfera. Aunque las Naciones Unidas y muchas organizaciones hacen grandes esfuerzos para preservar las reservas de bosques y selvas tropicales, todos los días siguen desapareciendo grandes extensiones de este tipo de regiones.

La única solución para ayudar a la Tierra a recuperarse de sus "enfermedades" es que cada uno de nosotros contribuya con su granito de arena. Todos los días escuchamos recomendaciones para disminuir la contaminación del aire y del agua; sin embargo, es muy poco lo que hacemos en forma individual. Pequeñas acciones pueden, en conjunto, lograr grandes beneficios. Por ejemplo:

Siempre que sea posible, al hacer nuestra tarea y otros trabajos debemos utilizar las hojas de papel por ambos lados. Cada vez que reciclamos el papel, estamos salvando cientos de árboles.

No fumar; no sólo por el bien de nuestra salud sino para evitar ser nosotros mismos otra fuente de contaminación. Además, muchos incendios forestales se atribuyen a fumadores que por descuido dejan caer una colilla de cigarro

aún encendida.

Nunca tirar la basura en la calle: ¿cuánta energía se requiere para recoger los desechos que arrojamos por todas partes?

Cooperar activamente en las campañas de ahorro de agua.

Comprar aquellos productos que vienen en envases que pueden reciclarse, como las latas de aluminio y los recipientes de vidrio.

Estamos seguros de que usted, lector; podrá añadir muchas otras formas de ayudar a la conservación de nuestros recursos naturales. Si nuestro planeta muere, habremos logrado destruir muchas cosas maravillosas. Debemos prepararnos mejor para cuidar lo que todavía nos queda.



[Nota 1] 

¹ James Lovelock propuso el nombre de *Gaia* para darle personalidad a nuestro planeta.

Inicio

VI. EL LENGUAJE EN LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

EL LENGUAJE DE LA ALQUIMIA

EN LOS orígenes de la química, los alquimistas preferían expresarse en un lenguaje —basado en analogías— más apropiado para la poesía y el misticismo que para una ciencia exacta.

El uso frecuente de alegorías en los manuscritos de los alquimistas, dificultaba su asociación con las reacciones químicas. También hacía posible la falsa interpretación de un significado alquímico como alegórico, aunque ello no hubiera sido la intención del autor. Así, se agudizaba la separación entre los iniciados y el hombre común, para el cual la alquimia era esencialmente un misterio.

En el lenguaje de los alquimistas se tenía la tendencia a superponer la terminología de la teología, la astronomía y la mitología, con la de la alquimia. Lo anterior fue el origen de las principales fuentes de confusión en la interpretación de los escritos.

La dificultad para decidir si un texto particular se refería a la astronomía o a la alquimia, se puede ilustrar con un pasaje del texto de alquimia conocido como *Turba Philosophorum*:

Yo afirmo que los envidiosos han dicho que el esplendor de Saturno no aparece a menos que, por casualidad, se oscurezca cuando aparece en el aire, que Mercurio está oculto por los rayos del Sol, y que el *argentum vivum* vivifica el cuerpo por su intensa fuerza... entonces el trabajo se completa. Pero Venus precede al Sol cuando se convierte en oriental.

Es verdad que en ocasiones se confundía la astronomía (o la astrología) con la alquimia en detrimento de ambas, pero las mayores dificultades se presentaron en la superposición de la alquimia con la mitología. Si se considera la diversidad de las alegorías alquímicas, es fácil suponer que la descripción de las reacciones químicas haya tomado la forma de un conflicto cósmico entre las sustancias químicas representadas simbólicamente.

A pesar de que es claro que la teología y la alquimia práctica no tienen conexión, es igualmente claro que la alquimia, en su historia, ha incursionado, a veces, en el campo de la teología. Contribuyeron a unirlas, el sentimiento de que en las transformaciones alquímicas estaba involucrado lo sobrenatural, y la tradición de que la alquimia era un arte divino.

En los textos de alquimia griegos está presente una atmósfera religiosa que también se encuentra entre los árabes y continúa, a la manera cristiana, cuando la alquimia llega a Europa. Además, existieron los místicos que, en forma extrema, usaron los conceptos y operaciones de la alquimia práctica como un ejercicio espiritual: Esteban de Alejandría usaba la transformación de los metales como un símbolo de la fuerza regeneradora de la religión para transformar el alma humana.

El primer capítulo del Génesis era visto, por muchos alquimistas europeos, como una guía para el trabajo químico a desarrollar. Así existieron también las ideas de *purificación* y *contrición*: "... la mortificación del mercurio al abandonar la materia en forma de cenizas". Otros ejemplos del paralelismo entre las ideas cristianas y la alquimia se encuentran en los supuestos de que se requerían tres días (resurrección) y cuarenta días (cuaresma) de preparación para alcanzar la perfección. El siguiente pasaje ilustra lo anterior:

Contemplad... nuestro salvador... quien unirá a él, por la eternidad a todas las almas puras y limpias; y arrojará todas las impurezas y suciedad como inservibles para unirse a su Cuerpo divino.

Así, por comparación ved nuestro elixir blanco, el cual desde ahora unirá inseparablemente a él, toda la naturaleza mecánica pura, cambiándola a su más fina naturaleza plateada y rechazando todo lo impuro y extraño.

Es indudable que el lector contemporáneo puede apreciar el lenguaje alegórico de la alquimia en toda su poesía y misticismo; aunque también hay quien afirma que la literatura alquímica era una conspiración, entre generaciones sucesivas de escritores, para usar el máximo número de palabras y dar el mínimo de información. Otros consideran que el lenguaje de la alquimia era tan solo una máscara que servía para encubrir su ignorancia básica. Cualquiera que sea el caso, es cierto que el lenguaje ha sido el principal escollo en la comprensión y descripción de los procesos alquímicos y que muchos aspectos valiosos de los mismos se han perdido entre las ambigüedades de su terminología.

Actualmente, un texto de química puede ser reconocido de inmediato, no sólo por su título, sino también por el lenguaje usado en su contenido.

EL LENGUAJE DE LA CIENCIA

Los conceptos científicos a menudo se presentan utilizando términos del lenguaje común usado en los asuntos cotidianos. Sin embargo, ambos evolucionan de diferente manera: en el lenguaje de la ciencia, los términos se transforman, pierden la ambigüedad asociada al lenguaje de la vida diaria y se hacen más profundos y rigurosos, de manera que puedan ser aplicados al pensamiento científico moderno.

En ocasiones, por razones históricas, aun en las presentaciones formales de los especialistas, sucede que se arrastran —deliberadamente o de manera inconsciente— las imprecisiones o connotaciones de la terminología original. En el mejor de los casos, el especialista puede estar consciente de la ambigüedad de un término, pero mantiene su uso, ya sea por costumbre o porque no ha encontrado una alternativa mejor.

Cuando el mensaje científico se dirige a un interlocutor que también es especialista, los riesgos y consecuencias del empleo de términos poco precisos se atenuan ya que, en ese caso, el lenguaje forma parte de la comunión esotérica entre ellos: todos saben de qué están hablando.

El científico posee un arma muy poderosa contra las ambigüedades del idioma: el lenguaje matemático, el más preciso y económico de todos los lenguajes. ¿Pero qué sucede cuando el interlocutor no es un experto o el científico es, a su vez, un profesor? Una de las ilustraciones más conocidas de esta cuestión se da en el manejo del lenguaje en la necesaria distinción entre los términos: calor; temperatura y energía térmica. Creo que no existe un profesor de termodinámica que no tenga la ferviente aspiración de que, al terminar su curso, los alumnos por lo menos hayan entendido claramente el significado de la primera ley. Es natural que así sea, ya que sin este requisito mínimo es difícil aceptar que se pueda manejar y aplicar la estructura formal de la termodinámica.

Calor y calórico

Al establecer Black la ciencia de la calorimetría se originó la "teoría del calórico", basada en los siguientes postulados:

- 1) El calórico es un fluido elástico que se expande por todo el espacio, las partículas del cual se repelen fuertemente unas a otras.
- 2) Las partículas del calórico son atraídas por las partículas de la materia.
- 3) El calórico es sensible (se asocia a un cambio de temperatura) o es latente (se almacena).
- 4) El calórico se conserva.
- 5) El calórico tiene peso.

Rumford cuestionó la teoría del calórico, tratando de demostrar que éste se podía crear, y que por lo tanto, no se conservaba. Así, negaba la línea de pensamiento que consideraba al calórico como una sustancia —"las mil o más diferentes clases de materia, que poseían diferentes calores, cuando Black se refería al termómetro".

No puede negarse la valiosa contribución de Thomson a la ciencia, al corregir el rumbo de la teoría del calórico, aunque al hacerlo no se haya preocupado por cambiar, en el desarrollo de su nueva teoría, la terminología, ni de

destacar las diferencias entre el calor y la temperatura.

Las expresiones "calor latente", "capacidad calorífica", "flujo de calor", "transferencia de calor", de la antigua teoría, se mantuvieron, aunque fueron cambiando los conceptos asociados a ella. La terminología ha persistido porque es útil, pero debe reconocerse que conlleva fuertes implicaciones verbales que generan problemas, debido más al lenguaje que a la naturaleza inherente a los conceptos. Es indudable que existe un importante impulso verbal que asocia la transferencia o flujo con una sustancia.

El estudiante identifica, así, al calor con un fluido hipotético, lo cual le crea confusiones conceptuales serias; y también se las crea al mantener expresiones como "capacidad calorífica" y "calor latente", que fueron concebidas como una medida de la capacidad de un cuerpo para "almacenar" calórico. Si Clausius no hubiese sustituido el término "cantidad térmica", debido a Carnot, por el de entropía, el lenguaje termodinámico habría constituido una barrera formidable en la comprensión de los principios de una de las teorías más importantes y autoconsistentes de la física.

De esta manera, el estudiante se ve obligado a aprender nuevas definiciones para palabras familiares cargadas de connotaciones largamente establecidas, que al enfrentarse con nuevos significados, pueden ocasionar dificultades semánticas graves, las cuales no por ser conocidas dejan de seguir causando problemas en el aprendizaje.

Este tipo de problemas puede tener la ventaja de que, al hacer consciente de ellos al alumno, sea más fácil estimularlo a preferir el lenguaje matemático y a entender o aceptar de mejor manera la presentación axiomática de la termodinámica, más libre de connotaciones históricas y del lenguaje común.

Es responsabilidad del profesor recomendar los libros de consulta cuyos autores sean cuidadosos y definidos en su lenguaje, así como dar a conocer lo que al respecto se sigue discutiendo, por ejemplo, algunos autores proponen utilizar; en lugar de las expresiones usuales de capacidad calorífica a volumen y presión constantes, las de capacidades energéticas, más acordes con sus expresiones matemáticas. Otros autores, por su parte, hacen notar lo inadecuado del término "espontáneo" para los cambios químicos. Este término tuvo su origen en el lenguaje termodinámico, y se aplica justificadamente al comportamiento de los gases en las máquinas primitivas, pero no es del todo correcto su empleo en la descripción de reacciones químicas tales como la reacción infinitesimalmente lenta del hidrógeno con el oxígeno, las reacciones catalíticas, las bioquímicas y, en general, los procesos biológicos. Los autores proponen cambiar; para ellas, el término "espontáneo" que se asocia a una acción sin restricciones, independiente de causas externas, por el término "ansioso" o "impaciente" (*eager* en inglés) que implica un interés urgente o un deseo de ser realizadas. La preocupación sobre el término "espontáneo" se observa en muchos autores, cuando eligen la expresión "tendencia natural" en sus textos.

La energía y sus adjetivos

Otra fuente de confusiones debidas al empleo poco cuidadoso del lenguaje, la encontramos en la adjetivación de la energía.

Es muy frecuente encontrar en los libros de ciencias naturales, en particular los de física y los de química, una lista de las posibles manifestaciones de la energía: cinética, radiante, calorífica, eléctrica, potencial, nuclear, química, en ocasiones la humana, la biológica y hasta la energía química fisiológica. De acuerdo con lo anterior; un estudiante, sobre todo de secundaria o preparatoria, podría suponer que existen tantas "clases" de energía como adjetivos encuentre en ella. Para evitar esto es necesario iniciar el estudio de la energía expresando sus contribuciones formales, de preferencia acompañadas de sus expresiones matemáticas (o su significado, en el caso de la energía interna, en términos de la energía potencial y cinética a nivel microscópico):

$$\text{Energía total del sistema} = \text{Energía cinética} + \text{Energía potencial} + \text{Energía interna.}$$

Posteriormente se debe precisar lo que califican algunos adjetivos, como es el de hacer hincapié sobre en qué sistema ocurren los procesos energéticos (humano, biológico, químico), o bien el trabajo que se puede efectuar con la energía adquirida o liberada por el sistema (mecánico, eléctrico). Señalando que éstas son manifestaciones de la combinación de las contribuciones cinética y potencial del sistema.

Es ineludible la eliminación de adjetivos erróneos como *calorífica*, que refuerza la confusión entre energía y calor. El adjetivo "térmica" es adecuado siempre y cuando se tenga en mente que se refiere a la relación de la

energía cinética promedio de las moléculas con la temperatura, dentro de los argumentos que maneja la teoría cinéticomolecular.

En la distinción entre calor; energía y trabajo, y las relaciones entre ellos —primera ley de la termodinámica— debe destacarse que el calor y el trabajo son *la energía en tránsito*, esto es, la forma como se transfiere la energía entre el sistema y su entorno.

Asimismo, cabe señalar que no tiene sentido hablar del calor o el trabajo "que contiene el sistema", ya que tanto el trabajo como el calor *no existen*, ni antes ni después, del proceso de transferencia de energía entre el sistema y los alrededores. Lo indicado sería distinguir; como propone Atkins, el trabajo como una transferencia de energía asociada a un movimiento ordenado de las moléculas, y el calor como una transferencia de energía asociada a un movimiento aleatorio de las moléculas.

EL LENGUAJE DE LA ALQUIMIA FRENTE AL LENGUAJE CIENTÍFICO

El lenguaje de la alquimia permite la transformación poética de la realidad, hace lo que quiere con las palabras; se puede decir que ejerce una libertad irrestricta, sin responsabilidades. El discurso poético goza de este privilegio y por ello puede escapar a todo intento de explicación racional, considerando la sinrazón como una manifestación de su soberanía. En la metáfora, el lenguaje y las imágenes no tienen limitaciones, la ambigüedad de significados es válida, como también lo es la subjetividad. El lenguaje científico procura destruir los mitos e inhibir lo subjetivo, intenta describir la realidad, que es lo que la ciencia busca. La ciencia rompe el orden establecido por los mitos y al hacerlo debe romper también el lenguaje, buscando la precisión y el rigor; con el fin de redefinir los significados de los términos.

La ciencia busca delimitar las fronteras entre lo falso y lo verdadero; fronteras que no existen en el lenguaje poético de la mitología. Se ve obligada a *amarrar* los términos para así establecer en el significado único de cada uno de ellos, su veracidad, aunque no puede evitar el riesgo de crear ambigüedades y falsas interpretaciones, asociadas con sus significados originales. Otro riesgo que se corre al "amarrar" el lenguaje, es el hacerlo nuevamente esotérico, sólo comprensible para un grupo de especialistas, y así volver a cerrar el círculo que obstaculiza la comunicación.

De acuerdo con el lingüista Weinrich:¹  "el saber algo y saberlo científicamente, no tiene valor si no se da a conocer. El compromiso de comunicar va acompañado de la demanda de recibir y analizar el mensaje. De esa manera, se asegura la validez de los resultados obtenidos y de las teorías propuestas." 1:1 mismo autor afirma que el mundo tiene poco que esperar y mucho que temer del especialista que sólo se ocupa de difundir sus resultados dentro de los límites de su especialidad particular. Para estimular el trabajo interdisciplinario, propone una máxima:

"Cuando escribas para tus colegas especialistas, asegúrate de tener un receptor de otras especialidades, afines o no, con el objeto de evitar los *ghettos* científicos."

Al seguir esta máxima, el autor se obliga a modificar su lenguaje habitual, para que sea comprensible a otros interlocutores. Sin embargo, el camino directo para la comunicación entre científicos de diferentes especialidades no puede ser siempre el técnico, sino que, en la mayoría de los casos, es necesario hacer un rodeo a través del lenguaje común.

Por ello, el científico no puede ni debe soslayar el papel esencial del lenguaje en la comunicación, ni restarle importancia a las difíciles relaciones entre el lenguaje común y el técnico. El dominio del lenguaje formal y el común, la selección oportuna de ellos en el tipo de comunicación que se requiere proporcionar a los que la reciben, destacará al buen profesor y al divulgador.





[Nota 1] 

¹ H. Weinrich, "Sprache und Wissenschaft", Revista *Merkur* 6, 496 (1985)

[Inicio](#)

APÉNDICE

- a) Médico romano de origen griego 129(?)-199(?), tan importante como Hipócrates. Las partes conservadas de sus escritos fueron el fundamento de la medicina científica y práctica por más de 1500 años.
- b) Matemático y físico griego de la segunda parte del primer siglo después de Cristo. Sus escritos *Métrica*, *Mecánica* y *Neumática* se cuentan entre los pocos trabajos científicos de esa época que se conservan.
- c) Nace el 15 de febrero de 1564 en Pisa, Italia, y muere el 8 de enero de 1642 en Arcitrecera de Florencia, Italia. Matemático, físico y filósofo, descubrió las leyes del péndulo y de la caída libre de los cuerpos. Observó, en su actitud como astrónomo, las fases de Venus, cuatro de las lunas de Júpiter y los anillos de Saturno. Propuso una estructura de la Vía Láctea, sosteniendo que en realidad estaba compuesta por una infinidad de estrellas. En su obra *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo* —el ptolomeico y el copernicano— defiende la idea del heliocentrismo en contra de la doctrina prevaleciente, que consideraba a la Tierra el centro del Universo, sostenida por la iglesia católica. En el año 1633, ante la Inquisición, no pudo convencer a sus contrarios de la verdad de su opinión y finalmente tuvo que abjurar de sus convicciones, para salvarse de morir en la hoguera y así sólo ser condenado a cadena perpetua.
- d) Físico francés (1582 o 1583-1654).
- e) Astrónomo danés (1644-1710), que determinó la velocidad de la luz observando los satélites de Júpiter.
- f) Nace el 24 de mayo de 1686 en Dansk, Polonia, y muere el 16 de septiembre de 1736 en Haag, Holanda; físico alemán y constructor de instrumentos. Fundador de la termometría científica.
- g) Nace el 24 de mayo de 1701 en Upsala, Suecia, y muere el 25 de abril de 1744 en el mismo lugar. Astrónomo. La escala termométrica que lleva su nombre, lo hizo famoso en todo el mundo. Sin embargo, la importancia de sus descubrimientos científicos se presenta, sobre todo, en la idea primera de usar una red de coordenadas para fijar puntos sobre la superficie de la Tierra y la demostración del achatamiento de sus polos.
- h) Nace el 28 de febrero de 1683 en La Rochelle, Francia, y muere el 18 de octubre de 1757 en Bermordière chez Saint-Julieu-du-Terroux, Francia. Estudioso de distintas ramas de la ciencia, desde la investigación científica de los fundamentos del hierro y la generación del acero, hasta la taxonomía de los insectos, que aún hoy día se utiliza.
- i) Nace el 26 de junio de 1824 en Belfast, Irlanda, y muere el 18 de octubre de 1907 en Nethegall cerca de Largs (Ayr), Escocia. Antes, su nombre era sir William Thomson. Físico británico, trabajaba sobre todo en el campo de la termodinámica y la electricidad. Desarrolló simultáneamente con R. Clausius el segundo principio de la termodinámica. Investigó con J.P. Joule la ley de las colisiones, el efecto Thomson y la conducción de electrones. Desarrolló muchos métodos y aparatos de medición (entre otros, el galvanómetro de espejo y el puente de Thomson).
- j) Mucho más precisa es la determinación del punto triple del agua (± 0.00005 K), que está 0.0098 K por encima del punto de congelación. La ventaja del punto triple es que, para una temperatura y una presión determinadas, existen tres fases de agua (sólido, líquido y vapor). En la X Conferencia General de Medidas, en junio de 1954, se estableció fijar todas las escalas de temperatura a partir de este punto (273.16K).
- k) Filósofo griego (460-370 a. C.), de gran importancia en el desarrollo de la teoría atómica.
- l) Filósofo y científico griego (384-322 a.C.) que más influyó en la orientación y contenido de la civilización occidental.
- m) Filósofo, astrónomo, matemático y ocultista (1548- 1600). Nació en Nola, cerca de Nápoles, y murió en Roma. Acusado de herejía fue quemado por la Inquisición.
- n) Físico y matemático inglés (1643-1727), figura culminante de la revolución científica del siglo XVII y autor de

grandes obras como *Optica* en 1704 y *Principia* en 1687.

o) Matemático, astrónomo y físico holandés (1629-1695), fundador de la teoría ondulatoria de la luz.

p) Científico inglés; su campo principal de trabajo es la química, en la cual establece los conceptos de "elemento" y "unión"; desarrolla la teoría molecular y establece los fundamentos de la farmacología. Dentro de la física, descubre las leyes de las relaciones entre la presión y el volumen de un gas (Ley de Boyle-Mariotte). También tiene trabajos en los campos de la biología y la medicina.

q) (1700-1782) Miembro de una familia culta, en la cual el padre, Johann B., y sus hermanos Daniel y Jacobo colaboran mutuamente de manera fructífera. Realiza descubrimientos y trabajos en el campo de la teoría cinética de los gases, de la estadística y del cálculo de probabilidad.

r) Físico británico (1635-1703) que ejecutó los trabajos experimentales previos a la teoría cinética molecular de los gases; inventó la bomba de aire en su forma actual, desarrolló una nueva teoría de la combustión y encontró una relación matemática entre la fuerza y la dilatación de un cuerpo (Ley de Hook).

s) (1822-1888) Fundador de la teoría mecánica del calor, reconoció que el calor no puede convertirse totalmente en trabajo, que no es una sustancia y que su transformación, de manera universal, está determinada por la temperatura. Formuló la segunda ley de la termodinámica e introdujo la entropía como una variable de estado termodinámica. Construyó la teoría cinéticomolecular de los gases. Cofundador de la mecánica estadística.

t) Físico escocés (1881-1879), creador de la electrodinámica moderna y de la teoría electromagnética de la luz. Realizó importantes trabajos en el campo de la teoría cinético-molecular de los gases; con Clausius y Boltzmann establece sus fundamentos matemáticos y experimentales.

u) (1844-1906) Cofundador de la teoría cinético molecular de los gases, en la cual establece las ecuaciones de Boltzmann —que describen el espacio de muchas partículas— y que inducen a las funciones de partición para la energía y la velocidad de las moléculas del gas. Desarrolló una estadística física para las partículas, las cuales se comportan de acuerdo con las leyes de la mecánica clásica y fundamentó, con J. Stefan, una ley sobre la radiación del cuerpo negro.

v) Físico alemán (1879-1955), ganador del premio Nobel por el descubrimiento del efecto fotoeléctrico. Creador de la teoría de la relatividad, la equivalencia entre la masa y la energía. Uno de los intelectos más creativos en la historia de la humanidad.

w) Físico italiano (1776-1856), autor de una hipótesis sobre las moléculas de los gases.

x) Químico nacido en la región de Bohemia (1821-1895), que reconoció que la mayoría de las sustancias tienen fórmulas que pueden derivarse del benceno.

y) Botánico escocés (177-1858), descubridor del movimiento oscilatorio (browniano) de las partículas de suspensión de un líquido (consultar *Un movimiento en zigzag*. La Ciencia desde México, núm. 13, SEP/FCE/CONACYT).



BIBLIOGRAFÍA

Atkins, P.W., *Fisicoquímica*, Addison-Wesley Iberoamericana, EUA, 3a. ed., 1991.

Chamizo A. y A. Garritz, *Química Terrestre* La Ciencia desde México, núm. 97, Fondo de Cultura Económica, México, 1991.

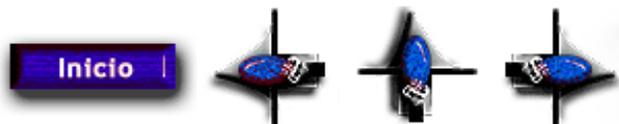
Chang, R., *Química*, trad. de Silvia Bello, Alberto Rojas y Gloria Acosta, McGraw Hill 4a. ed., México, 1992.

Garduño, R., *El veleidoso clima*, La Ciencia desde México, núm. 127, Fondo de Cultura Económica, México, 1994.

Heikkinen, H. (comp.), *Chem Com.*, Kendal / Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa, 2a. ed., 1993.

Pearce, D.W., *Economía Ambiental*, trad. de E. L. Suárez, Fondo de Cultura Económica, México, 1985.

Rius de Riepen, M y C.M. Castro-Acuña, *La Química hacia la conquista del Sol*, La Ciencia desde México, núm. 10, Fondo de Cultura Económica, México, 1986.



COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir en diciembre de 1995 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C. V. (IEPSA), calzada de San Lorenzo, 244, 09830 México, D.F. La formación estuvo a cargo de *Fernando Berrón*, en el taller de composición electrónica del FCE.

Se tiraron 4 000 ejemplares.

La Ciencia desde México es una coedición del Fondo de Cultura Económica, la Secretaría de Educación Pública y el CONACYT. La coordinan editorialmente MARCO ANTONIO PULIDO y MARÍA DEL CARMEN FARÍAS.



Numerosos científicos consideran que la civilización se inició con la llamada "conquista del fuego" por el hombre: al ser capaz de reproducirlo y controlarlo, alcanzó la capacidad de mejorar sus condiciones de vida, cambiar sus hábitos alimenticios y asegurar su sobrevivencia. El fuego, se sabe, es un proceso químico, y cuando se emplea, por ejemplo, para cocer los alimentos se opera cambio en las propiedades físicas y químicas de éstos, lo cual se traduce en un cambio dietético que ayudará a mejorar sustancialmente la condición humana.

La "conquista del fuego" es el primer paso de una larga marcha que se inicia en la prehistoria del hombre y que lo conduce actualmente a adueñarse de la energía en todas sus manifestaciones.

¿Cuál es la naturaleza del fuego, la del calor, la de la energía...? Aunque es mucho lo que se ha avanzado en el estudio de estas cuestiones, una explicación definitiva dista mucho de estar al alcance de los físicos. En la investigación, los científicos recurren a la formulación de teorías y o la elaboración de modelos científicos. La consecuencia, aparte de sus logros, es que se crean lenguajes específicos, plagados de fórmulas matemáticas y químicas, que resultan inteligibles casi exclusivamente a los especialistas. Sin embargo, el presente libro constituye una demostración de que los científicos se preocupan también por hacer más accesibles sus conocimientos. Así, en *Calor y movimiento* se tratan temas como los fenómenos naturales y el hombre, la temperatura y el termómetro, la dilatación, el calor y el trabajo (base de la revolución industrial), las reacciones químicas y la electroquímica, entre otros, en forma sencilla. La intención, de acuerdo con los autores, es "convertir la divulgación de la ciencia en una disciplina que extienda a la sociedad los beneficios de la cultura científica".

Magdalena Rius de Riepen y Carlos Mauricio Castro Acuña han publicado ya, en *La Ciencia desde México*, *La química hacia la conquista del Sol*. La primera, tras doctorarse en físico-química en la UNAM, ha cursado estudios de especialización en el Instituto de Físico-Química de Gotinga, Alemania. El doctor Castro-Acuña considera, por su parte, que todo profesor universitario debe enseñar algo más que su asignatura: un espíritu universitario de ética profesional.

