

Y sin embargo
se mueven...

36

LA
CIENCIA
PARA
TODOS

FÍSICA

LEOPOLDO
GARCÍA-COLÍN

Teoría cinética
de la materia



Y sin embargo se mueven...

Teoría cinética de la materia

Leopoldo García-Colín

Primera edición (La Ciencia desde México), 1987

Segunda edición, 1995

Tercera edición (La Ciencia para Todos), 1997

Cuarta edición, 2002

Segunda reimpresión, 2011

Primera edición electrónica, 2012

D. R. © 1987, Fondo de Cultura Económica

Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.

Empresa certificada ISO 9001:2008



www.fondodeculturaeconomica.com

Comentarios:

editorial@fondodeculturaeconomica.com

Tel. (55) 5227-4672

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio. Todos los contenidos que se incluyen tales como características tipográficas y de diagramación, textos, gráficos, logotipos, iconos, imágenes, etc. son propiedad exclusiva del Fondo de Cultura Económica y están protegidos por las leyes mexicanas e internacionales del copyright o derecho de autor.

ISBN 978-607-16-0890-1

Hecho en México - *Made in Mexico*

La Ciencia para Todos

Desde el nacimiento de la colección de divulgación científica del Fondo de Cultura Económica en 1986, ésta ha mantenido un ritmo siempre ascendente que ha superado las aspiraciones de las personas e instituciones que la hicieron posible. Los científicos siempre han aportado material, con lo que han sumado a su trabajo la incursión en un campo nuevo: escribir de modo que los temas más complejos y casi inaccesibles puedan ser entendidos por los estudiantes y los lectores sin formación científica.

A los diez años de este fructífero trabajo se dio un paso adelante, que consistió en abrir la colección a los creadores de la ciencia que se piensa y crea en todos los ámbitos de la lengua española —y ahora también del portugués—, razón por la cual tomó el nombre de La Ciencia para Todos.

Del Río Bravo al Cabo de Hornos y, a través de la mar Océano, a la Península Ibérica, está en marcha un ejército integrado por un vasto número de investigadores, científicos y técnicos, que extienden sus actividades por todos los campos de la ciencia moderna, la cual se encuentra en plena revolución y continuamente va cambiando nuestra forma de pensar y observar cuanto nos rodea.

La internacionalización de La Ciencia para Todos no es sólo en extensión sino en profundidad. Es necesario pensar una ciencia en nuestros idiomas que, de acuerdo con nuestra tradición humanista, crezca sin olvidar al hombre, que es, en última instancia, su fin. Y, en consecuencia, su propósito principal es poner el pensamiento científico en manos de nuestros jóvenes, quienes, al llegar su turno, crearán una

ciencia que, sin desdeñar a ninguna otra, lleve la impronta de nuestros pueblos.

Comité de Selección

Dr. Antonio Alonso
Dr. Francisco Bolívar Zapata
Dr. Javier Bracho
Dra. Rosalinda Contreras
Dr. Jorge Flores Valdés
Dr. Juan Ramón de la Fuente
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer
Dr. Adolfo Guzmán Arenas
Dr. Gonzalo Halffter
Dr. Jaime Martuscelli
Dra. Isaura Meza
Dr. Héctor Nava Jaimes
Dr. Manuel Peimbert
Dr. Ruy Pérez Tamayo
Dr. Julio Rubio Oca
Dr. José Sarukhán
Dr. Alfonso Serrano
Dr. Guillermo Soberón
Dr. Elías Trabulse

Coordinadora

María del Carmen Farías R.

Prólogo

En la vida cotidiana, la materia que nos rodea se nos presenta en sus tres diferentes fases: la gaseosa, la líquida y la sólida. También nos es bien conocido el hecho de los cambios que pueden darse entre ellas. En efecto, los gases pueden licuarse, los líquidos solidificarse, y recíprocamente, un sólido puede fundirse para dar un líquido y éste a su vez puede evaporarse para formar un gas. Todos estos cambios parecen sugerir que, de no existir un agente externo que los provoque, la materia se encontraría invariablemente en sólo una de dichas fases. Usualmente, si queremos evaporar un líquido hay que calentarlo: a un gas comprimirlo para licuarlo; a un líquido enfriarlo para solidificarlo. Por lo menos, sabemos que si llevamos a cabo esas operaciones, el proceso correspondiente ocurre con mayor rapidez.

Lo que ya no es accesible en el examen de tales fenómenos a través de nuestros sentidos, es saber por qué ocurren. ¿Cuáles son las propiedades características de cada una de estas fases en términos de las partículas o entes que constituyen a la materia?; ¿somos capaces de explicar y, por consiguiente, de entender cómo y por qué ocurren los fenómenos arriba descritos?; ¿es tan estática, tan reposada la imagen que nos proyecta la superficie de un lago visto a distancia?; ¿o la que proyecta un vaso con agua colocado sobre una mesa?

Como es bien sabido por todos, la vieja hipótesis de los filósofos griegos en la cual se aseveraba que la materia está

formada por pequeñas partículas indivisibles llamadas átomos ha sido plenamente confirmada. Hoy en día tenemos pruebas fehacientes de que la materia que nos rodea está constituida por átomos y familias de ellos llamadas moléculas. Las leyes que gobiernan el comportamiento de los átomos y las moléculas también nos son conocidas. Este conocimiento es uno de los grandes avances de la física y la química del siglo XX. De este avance ha surgido un gran reto: el poder establecer una relación entre las características, llamémoslas macroscópicas, de la materia y las características de las partículas microscópicas de que está formada. ¿Qué hemos logrado hacer y aprender al respecto?

Cuando examinamos el comportamiento de una muestra de la materia, usualmente nos referimos a una cantidad de ella formada o constituida por un número enorme de átomos o moléculas. Basta recordar que a condiciones normales de temperatura y presión, un litro de un gas contiene aproximadamente trillones y trillones de moléculas. El puente a que nos hemos referido antes entre el mundo microscópico y el macroscópico implica pues establecer relaciones entre las propiedades de un sistema, sea gas, líquido o sólido, como lo son la presión, la temperatura, la densidad y otros atributos accesibles a nuestros sentidos, y las propiedades de las moléculas que constituyen al sistema. Una de las ramas de la fisicoquímica contemporánea que se ocupa de este estudio es la llamada teoría cinética de la materia.

En este libro mostraremos al lector cómo, sin hacer uso de ninguna herramienta matemática fuera de la aritmética elemental, la teoría cinética permite interpretar a los fenómenos macroscópicos que hemos mencionado antes y otros más, en términos del comportamiento de las moléculas que constituyen a la materia. Un rasgo fundamental de esta interpretación es la necesidad que se pone de manifiesto, debido a la complejidad del problema, de utilizar modelos moleculares. Dichos modelos se caracterizan por

emplear un cierto número de hipótesis tendientes a simplificar el comportamiento de poblaciones tan desmesuradamente grandes de moléculas a manera de poder extraer de ellas los rasgos generales que puedan ser comparados con los valores de las propiedades macroscópicas capaces de ser obtenidas experimentalmente. La fidelidad de un modelo para describir este comportamiento macroscópico podrá juzgarse en la medida de la precisión con la cual sus predicciones coincidan con las observaciones realizadas en el laboratorio.

El éxito de la teoría cinética radica en que, utilizando hipótesis relativamente simples, ha logrado crear modelos que concuerdan acertadamente con el comportamiento en grueso de la materia. Ello no quiere decir que todas las manifestaciones de ésta se han podido explicar a satisfacción pero, como el lector podrá juzgar por sí mismo, los rasgos generales de la mayoría de los fenómenos que observamos cotidianamente pueden interpretarse de manera simple en términos de modelos moleculares. No obstante, es importante señalar que, aun hoy en día, esta rama de la ciencia es un fecundo campo de investigación en el cual se intenta despejar una variedad no despreciable de incógnitas.

I. ¿Qué vamos a estudiar?

Observe el lector cuidadosamente el contenido de la reproducción del cuadro de Van Gogh intitulado *Naturaleza muerta* con que ejemplificamos, en gran parte, el contenido de esta obra. El título de la obra de arte es muy sugestivo. En efecto, los trozos de pan, el cuchillo, el vino contenido en la garrafa y en las copas, el resto de los objetos que componen el tema de la obra de este gran artista aparentan ser inmutables con el tiempo. Todo el conjunto produce una sensación de reposo, de calma absoluta. Y en efecto, así es para el observador que admira la obra sin pensar en otra cosa más que en la imagen gruesa, macroscópica, como dicen los científicos, que quiso proyectar el pintor. Sin embargo, cada uno de los trozos de materia sólida ahí pintados, el vino de la garrafa, las copas y la atmósfera, imperceptible en el cuadro, pero que evidentemente debió haber constituido el medio ambiente en que se encontraban esos manjares, están constituidos por partículas muy pequeñas, imperceptibles al ojo humano llamadas átomos, o por conglomerados de átomos conocidos por moléculas. ¿Podremos imaginar qué hacen o cómo se comportan los átomos o moléculas que constituyen el pan, el cristal, el vino, etc., motivos de esta pintura? ¿Si pudiésemos penetrar con un ultramicroscopio u otro artefacto a las entrañas de estos trozos de materia nos encontraríamos a estos átomos también quietos, en reposo, proyectando esa imagen

de tranquilidad, de quietud, y de calma que caracterizan a esos pedazos grandes de materia?



Figura 1. *Naturaaleza muerta* de Vincent Van Gogh.

¿Podría un artista de la talla de Van Gogh pintar el mismo cuadro concibiendo a cada uno de sus componentes como un conglomerado de millones y millones de átomos o moléculas y proyectar una imagen tan bella y tranquila como la que estamos contemplando?

Intrigados por este cuestionamiento, dejemos un momento esta magnífica obra de arte y motivados por su imagen pensemos un poco en el mundo que nos rodea, por ejemplo, en algunos de los objetos más comunes en nuestra vida cotidiana. Empecemos por el acto más común a horas tempranas de la mañana, cuando llenamos una olla con agua para hacernos una taza de café. Esa porción de agua que ponemos en la olla, si la dejamos reposar un rato

antes de hervirla, nos dará la misma sensación que el vino contenido en la garrafa del genial Van Gogh. Un líquido inanimado, en reposo, pero sin el atractivo del vino, desde luego. Inconscientemente tomamos esa olla, encendemos la estufa, y de nuevo, al cabo de unos minutos, regresamos para contemplar un fenómeno completamente distinto. Si somos curiosos, el fenómeno empieza cuando se comienza a observar un vapor blanco surgir de la superficie del líquido, al que todos conocemos como vapor de agua, seguido de la formación de unas cuantas burbujas que surgen de las paredes y del fondo de la olla para "brotar" en la superficie. Unos segundos después, el agua empieza a agitarse violentamente, aparecen burbujas chicas y grandes, el agua se agita, e incluso se escuchan ruidos característicos de este fenómeno: en ese momento decimos que el agua hierve. Si apagamos la lumbre, vertemos el café y esperamos otros minutos, recobramos un cuadro muy similar al original: un líquido en reposo, pero ahora de color café oscuro, el cual, excepto por el cambio en su color, los residuos sólidos del café, y quizás algo de espuma en la superficie, aparece tan inanimado como el agua que empleamos para hacerlo, antes de hervirla. ¿Qué ha sucedido en todo este proceso? ¿Cuál es el efecto tan notable del calor suministrado por la lumbre de la estufa que provoca toda esa efervescencia en el líquido, el cual se pierde paulatinamente al dejarlo enfriar? ¿Por qué hay tan pocas obras de arte que capten este fenómeno tumultuoso y otros similares? ¿Es más fácil pensar en la materia como algo inanimado?

Examinemos estas cuestiones un poco más. Al escribir estas líneas uso un líquido, la tinta azul que emana de la pluma, y un sólido, posiblemente un plástico, con el que está fabricada la pluma. La hoja también es un sólido, y sobre su superficie existe inevitablemente una capa de aire, del mismo aire que respiramos todo el tiempo. Convivimos, pues, con la materia misma en sus tres fases: gas, líquido y sólido. Nos es también familiar el hecho de que es factible,

bajo determinadas circunstancias, pasar de una fase a otra. Ya vimos que al hervir el agua la convertimos en vapor, sinónimo de gas. Si ahora la enfriamos en una hielera, la convertimos en hielo, en un sólido. Esta hoja de papel es conceptualmente posible de licuar y ciertamente de gasificar. Lo mismo podríamos hacer con la tinta o con el material plástico de que está fabricada la pluma. Estos cambios, así como las propiedades mismas de la materia en sus tres fases, deben estar relacionadas con el comportamiento de los átomos o las moléculas que los forman. Es además evidente de los ejemplos anteriores que los procesos de calentamiento y enfriamiento tienen una influencia notable, tanto en las propiedades mismas de las tres fases en que nos encontramos a la materia, como en los cambios entre ellas. ¿Es posible establecer una relación entre todas estas facetas tan diferentes y caprichosas que exhiben los gases, los líquidos y los sólidos, concebidos como conglomerados de miles de millones de átomos o moléculas? Sorprendentemente la respuesta es afirmativa, y la rama de la física que se encarga de decirnos cómo y por qué ocurren todos estos fenómenos se conocen como la teoría cinética, ¿de quién?, claro, de la materia. Penetremos pues en ese mundo que nuestro gran artista, aunque quizás conocedor de él, no pudo, o posiblemente no quiso, expresarnos por medio de una obra de arte. Y es que para captar a este fascinante mundo microscópico, para percatarnos de la presencia de estos pequeños constituyentes de toda la materia, los átomos, que, al constituirse en verdaderas sociedades de millones y millones de ellos de alguna forma armónica y sincronizada, nos revelan su presencia justamente a través de las formas caprichosas que exhiben los líquidos, los sólidos y los gases en diferentes circunstancias, tenemos que emplear herramientas mucho más delicadas, finas y sensibles, que las que utilizan normalmente los pintores. Veamos qué podemos aprender acerca de ello.

Para empezar recordemos un poco la historia de la ciencia en la época de la especulación filosófica. Ya desde el año 400 a. C. los filósofos griegos Leucipo y Demócrito habían imaginado el mundo como formado por partículas muy pequeñas que llamaron átomos, partículas indivisibles, de extensión finita pero de número infinito. Estos átomos están además en movimiento constante. En su magnífica obra *De la naturaleza de las cosas*, el gran poeta y filósofo Lucrecio, nacido según fuentes fidedignas en el año 95 a. C., se refería a esta concepción atomística de la materia en forma muy semejante a la descrita al referirnos a la pintura de Van Gogh. En efecto, en el libro II del poema, al referirse a la aparente quietud de las cosas, dice:

Las cosas aparecen quietas aunque los principios (átomos) se muevan sin tregua; sus movimientos no se ven porque ellos son invisibles. Incluso las cosas visibles, si están lejos, ocultan sus movimientos...

Por reales y contemporáneas que nos parezcan estas frases no dejan de ser meras especulaciones que cayeron en el olvido rápidamente al no concordar con descubrimientos posteriores que permanecieron vigentes por casi 16 siglos después de Lucrecio. Es, sin embargo, interesante subrayar que pasaron por la mente de estos grandes hombres a pesar de estar basadas en observaciones muy burdas de algunos fenómenos naturales que esencialmente proporcionaban evidencia acerca de la conservación de la materia.

La teoría cinética de la materia en realidad vio sus primeras luces a principios del siglo XVIII, en un trabajo, todavía con carácter especulativo, escrito por el gran matemático suizo Daniel Bernoulli, bajo el título de *Hydrodynamica*. En esta obra Bernoulli construyó una teoría muy completa y en esencia correcta de la teoría cinética de los gases. Desafortunadamente fue escrita en una época en la que toda-

vía existían grandes polémicas sobre la naturaleza del trabajo y el calor y su relación con el concepto de energía. Como ya hemos expuesto en otra obra de esta serie, *De la máquina de vapor al cero absoluto*,* estos conceptos y sus relaciones no fueron correctamente enunciados y comprendidos sino hasta mediados del siglo XIX con los trabajos de Rumford, Joule, Mayer, Clausius y Von Helmholtz, que culminaron en lo que ahora se conoce como la termostática o termodinámica clásica. Fue realmente en esta época en que adquirió sentido la posibilidad de interpretar todos los fenómenos descriptibles por las leyes de la termostática en términos de los átomos que componen a la materia: la teoría cinética de la materia encuentra entonces su escenario natural. Veamos pues cómo se desarrolla este proceso.

[Notas]

* Ver la referencia (2) de la bibliografía.