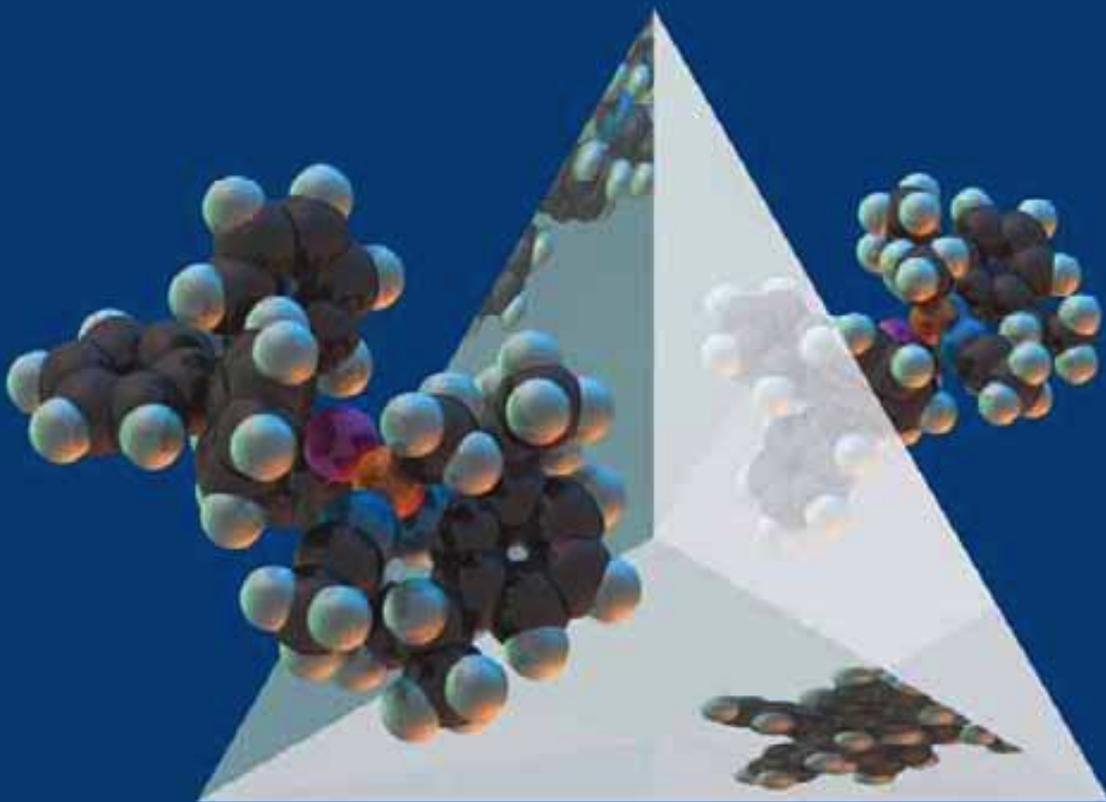


QUÍMICA

LA CIENCIA CENTRAL

Novena edición



Brown LeMay Bursten

PEARSON
Prentice
Hall

®



Química

La ciencia central

Novena edición

Theodore L. Brown

University of Illinois at Urbana-Champaign

H. Eugene LeMay, Jr.

University of Nevada, Reno

Bruce E. Bursten

The Ohio State University

Julia R. Burdge

Florida Atlantic University

TRADUCCIÓN

M. en C. Héctor Escalona y García

Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma
de México

M. en C. Roberto Escalona García

Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma
de México

REVISIÓN TÉCNICA

Rosa Ma. González Muradás

Myrna Carrillo Chávez

Elizabeth Nieto Calleja

Pilar Montagut Bosque

María del Carmen Sansón Ortega

Facultad de Química,
Sección de Química General
Universidad Nacional Autónoma
de México

Irma Lía Botto

Facultad de Ciencias Exactas,
Universidad Nacional de La Plata
Argentina

José Clemente Reza García

Departamento de Ciencias Básicas
Escuela Superior de Ingeniería
Química e Industrias Extractivas
Instituto Politécnico Nacional

José Salvador Pantoja Magaña

Departamento de Ciencias Básicas
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Estado de México

Niko Hilje Quirós

Escuela de Química
Universidad de Costa Rica

Eduardo Minero Torres

Escuela de Química
Universidad de Costa Rica

Silvia Ponce López

Departamento de Química
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Monterrey

Enrique Solís García

Departamento de Ciencias Básicas
Instituto Tecnológico y de Estudios
Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México

Marisol Tejos Rebolledo

Pontificia Universidad Católica
de Valparaíso, Chile



Datos de catalogación bibliográfica

BROWN THEODORE L., y cols.

Química. La ciencia central

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2004

ISBN: 970-26-0468-0

Área: Universitarios

Formato: 21 × 27 cm

Páginas: 1152

Authorized translation from the English language edition, entitled *Chemistry The Central Science, Ninth Edition*, by Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr., Bruce E. Bursten and Julia R. Burdge, published by Pearson Education, Inc., publishing as PRENTICE HALL, INC., Copyright © 2003. All rights reserved.
ISBN 0-13-066997-0

Traducción autorizada de la edición en idioma inglés, titulada *Chemistry The Central Science, Ninth Edition*, por Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay, Jr., Bruce E. Bursten y Julia R. Burdge, publicada por Pearson Education, Inc., publicada como PRENTICE-HALL INC., Copyright © 2003. Todos los derechos reservados.

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor: Guillermo Trujano Mendoza

e-mail: guillermo.trujano@pearsoned.com

Editor de desarrollo: Jorge Bonilla Talavera

Supervisor de producción: José D. Hernández Garduño

Edición en inglés

Senior Editor: Nicole Folchetti

Media Editor: Paul Draper

Art Director: Heather Scott

Assistant Art Director: John Christiana

Executive Managing Editor: Kathleen Schiaparelli

Assistant Managing Editor, Science Media: Nicole Bush

Assistant Managing Editor, Science Supplements: Dinah Thong

Development Editor, Text: John Murdzek

Development Editor, Media: Anne Madura

Project Manager: Kristen Kaiser

Media Production Editor: Richard Barnes

Supplements Production Editor: Natasha Wolfe

Art Editor: Thomas Benfatti

Editorial Assistants: Nancy Bauer/Eliana Ortiz

Photo Editor: Debbie Hewitson

Senior Marketing Manager: Steve Sartori

Creative Director: Carole Anson

Director, Creative Services: Paul Belfanti

Manufacturing Manager: Trudy Pisciotto

Assistant Manufacturing Manager: Michael Bell

Editor in Chief, Physical Science: John Challice

Editor in Chief, Development: Ray Mullaney

Vice President, Production and Manufacturing: David W. Riccardi

Interior Design: Judith A. Matz-Coniglio

Photo Researcher: Truitt & Marshall

Art Studio: Artworks: Senior Manager: Patty Burns/Production Manager: Ronda Whitson

Manager, Production Technologies: Matthew Haas/Project Coordinator: Connie Long

Illustrators: Royce Copenheaver, Jay McElroy, Daniel

Knopsnyder, Mark Landis, Jonathan Derk

Quality Assurance: Stacy Smith, Pamela Taylor, Timothy Nguyen

Contributing Art Studio: Precision Graphics

Cover Art: Ken Eward, Biografx

Cover Designer: Joseph Sengotta

Production Services/Composition: Preparé, Inc.

NOVENA EDICIÓN, 2004

D.R. © 2004 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Atacomulco 500-5to. piso

Industrial Atoto

53519 Naucalpan de Juárez, Edo. de México

E-mail: editorial.universidades@pearsoned.com

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.



ISBN 970-26-0468-0

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 07 06 05 04

Capítulo 1

Introducción: materia y medición

Imagen, tomada por el telescopio espacial Hubble, de una galaxia que está a 13 millones de años luz de la Tierra en la constelación meridional Circinus. Esta galaxia contiene grandes cantidades de gas y polvo. El hidrógeno, el gas más abundante, se encuentra como moléculas en las regiones frías, como átomos en las zonas calientes y como iones en las más calientes. Los procesos que se efectúan dentro de las estrellas crean otros elementos químicos a partir del hidrógeno, que es el elemento más simple.



- 1.1 El estudio de la química
- 1.2 Clasificaciones de la materia
- 1.3 Propiedades de la materia
- 1.4 Unidades de medición
- 1.5 Incertidumbre en las mediciones
- 1.6 Análisis dimensional

¿**ALGUNA VEZ** se ha preguntado por qué el hielo se derrite y el agua se evapora? ¿Por qué las hojas cambian de color en el otoño y cómo una batería genera electricidad? ¿Por qué si mantenemos fríos los alimentos se retarda su descomposición y cómo nuestros cuerpos usan los alimentos para mantener la vida? La química proporciona respuestas a estas preguntas y a un sinnúmero de otras similares. La **química**

es el estudio de las propiedades de los materiales y de los cambios que sufren éstos. Uno de los atractivos de aprender química es ver cómo los principios químicos operan en todos los aspectos de nuestra vida, desde las actividades cotidianas como encender un fósforo hasta cuestiones más trascendentes como el desarrollo de medicamentos para curar el cáncer y otras enfermedades.

El lector apenas se inicia en la aventura de estudiar química. En cierto sentido, este libro es su guía para el viaje. Esperamos que, a lo largo de sus estudios, este texto no sea sólo una fuente de información, sino también de disfrute. Tenga siempre presente que los conceptos y datos de la química que le pedirán aprender no son un fin en sí mismos, sino herramientas para entender mejor el mundo que nos rodea. Este primer capítulo sienta los cimientos para nuestro estudio presentando un panorama general de lo que trata la química, así como algunos aspectos fundamentales de la materia y de las mediciones científicas. La lista de la derecha, intitulada "Lo que veremos", resume las ideas que consideraremos en el capítulo.

► Lo que veremos ◀

- Iniciaremos nuestro estudio con una perspectiva muy breve de qué es la química y por qué es útil estudiarla.
- Luego examinaremos las formas fundamentales de clasificar los materiales, distinguiendo entre *sustancias puras* y *mezclas*, y observando que hay dos tipos de sustancias puras básicamente distintas: *elementos* y *compuestos*.
- Luego consideraremos algunas de las *propiedades* que usamos para caracterizar, identificar y separar sustancias.
- Muchas propiedades se basan en mediciones cuantitativas, que tienen tanto números como unidades.
- Las unidades de medición empleadas en ciencias son las del *sistema métrico*, un sistema decimal de medidas.
- La incertidumbre inherente a todas las cantidades medidas y a las obtenidas de cálculos en los que intervienen cantidades medidas se expresa con el número de dígitos significativos o *cifras significativas* con que se informa un número.
- En los cálculos se utilizan números y unidades; utilizar las unidades correctas en un cálculo es una forma importante de comprobar que el resultado sea correcto.

1.1 El estudio de la química

Antes de viajar a una ciudad desconocida, es recomendable estudiar un mapa para tener una idea de cómo llegar ahí. Dado que el lector tal vez no está familiarizado con la química, le conviene formarse una idea general de lo que le espera antes de iniciar el viaje. De hecho, podríamos incluso preguntarnos por qué vamos a realizarlo.

La perspectiva molecular de la química

La química implica estudiar las propiedades y el comportamiento de la materia. La **materia** es el material físico del universo; es cualquier cosa que tiene masa y ocupa espacio. Este libro, nuestro organismo, la ropa que usamos y el aire que respiramos son ejemplos de materia. No todas las formas de la materia son tan comunes o tan conocidas, pero incontables experimentos han demostrado que la enorme variedad de la materia en nuestro mundo se debe a combinaciones de apenas poco más de un ciento de sustancias muy básicas o elementales, llamadas **elementos**. Al avanzar en este texto, trataremos de relacionar las propiedades de la materia con su composición; esto es, con los elementos específicos que contiene.

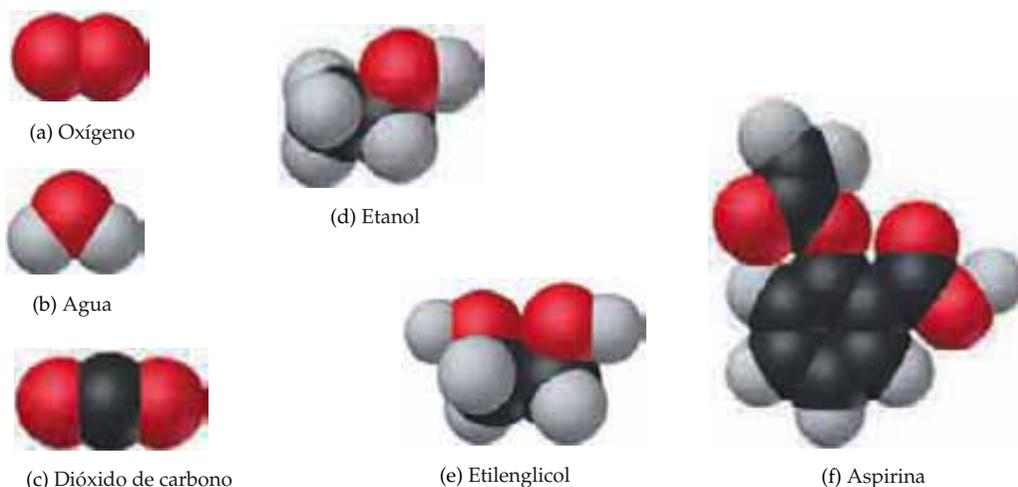
La química también proporciona antecedentes para entender las propiedades de la materia en términos de **átomos**, los bloques de construcción casi infinitesimalmente pequeños de la materia. Cada elemento se compone de una sola clase de átomos. Veremos que las propiedades de la materia se relacionan no sólo con las clases de átomos que contiene (*composición*), sino también con la organización de dichos átomos (*estructura*).

Los átomos se pueden combinar para formar **moléculas**, en las que dos o más átomos se unen en estructuras específicas. En todo este texto representaremos las moléculas con esferas coloreadas para mostrar cómo se enlazan sus átomos constituyentes (Figura 1.1 ▼). El color sólo es una forma conveniente de distinguir los átomos de diferentes elementos. Las moléculas de etanol y etilenglicol, representadas en la figura 1.1, difieren en su composición. El etanol contiene una esfera, que representa un átomo de oxígeno, mientras que el etilenglicol contiene dos.

Incluso diferencias, que pueden parecer triviales en la composición y estructura de las moléculas, pueden dar pie a diferencias profundas en sus propiedades. El etanol, también llamado alcohol de grano, es el alcohol de las bebidas como cerveza y vino. El etilenglicol, en cambio, es un líquido viscoso que se emplea en los anticongelantes.



Ejercicios con el CD-ROM
Oxígeno, agua, dióxido de carbono, etanol, etilenglicol, aspirina
(Oxygen, Water, Carbon Dioxide, Ethanol, Ethylene Glycol, Aspirin)



▲ **Figura 1.1** Modelos moleculares. Las esferas blancas, gris oscuro y rojo representan átomos de hidrógeno, carbono y oxígeno, respectivamente.

gelantes para automóviles. Las propiedades de estas dos sustancias difieren en muchos aspectos, incluidas las temperaturas a las que se congelan y hierven. Uno de los retos que enfrentan los químicos es el de producir moléculas de forma controlada, creando nuevas sustancias con diferentes propiedades.

Todo cambio en el mundo observable —desde el agua en ebullición hasta los cambios que ocurren cuando nuestro organismo combate a los virus invasores— se basa en el mundo no observable de los átomos y las moléculas. Por tanto, conforme nos adentremos en el estudio de la química, comenzaremos a pensar dentro de dos reinos, el reino *macroscópico* de los objetos de tamaño ordinario (*macro* = grande) y el reino *submicroscópico* de los átomos. Efectuamos nuestras observaciones en el mundo macroscópico de nuestros sentidos ordinarios; en el laboratorio y en nuestro entorno. Sin embargo, para entender ese mundo debemos visualizar el comportamiento de los átomos.

¿Por qué estudiar química?

La química permite obtener un entendimiento importante de nuestro mundo y su funcionamiento. Se trata de una ciencia eminentemente práctica que tiene una influencia enorme sobre nuestra vida diaria. De hecho, la química está en el centro de muchas cuestiones que preocupan a casi todo mundo: el mejoramiento de la atención médica, la conservación de los recursos naturales, la protección del entorno, la satisfacción de nuestras necesidades diarias en cuanto a alimento, vestido y albergue. Con la ayuda de la química, hemos descubierto sustancias farmacéuticas que fortalecen nuestra salud y prolongan nuestra vida. Hemos aumentado la producción de alimentos mediante el desarrollo de fertilizantes y plaguicidas. Hemos creado plásticos y otros materiales que se usan en casi todas las facetas de nuestra vida. Desafortunadamente, algunos productos químicos también pueden dañar nuestra salud o el entorno. Nos conviene, como ciudadanos educados y consumidores, entender los profundos efectos, tanto positivos como negativos, que las sustancias químicas tienen sobre nuestra vida, y encontrar un equilibrio sobre su uso.

No obstante, casi todos los lectores de esta obra estarán estudiando química no sólo para satisfacer su curiosidad o para convertirse en consumidores o ciudadanos más informados, sino porque es un componente obligatorio de su plan de estudios. La carrera que están estudiando podría ser biología, ingeniería, agronomía, geología o algún otro campo. ¿Por qué tantos temas diversos tienen un vínculo esencial con la química? La respuesta es que la química, por su misma naturaleza, es la *ciencia central*. Nuestras interacciones con el mundo material hacen surgir preguntas fundamentales acerca de los materiales que nos rodean. ¿Qué composición y propiedades tienen? ¿Cómo interactúan con nosotros y con el entorno? ¿Cómo, por qué y cuándo cambian? Estas preguntas son importantes sea que el material forme parte de un *chip* de computadora de alta tecnología, un pigmento empleado por un pintor del Renacimiento o el ADN (o DNA, siglas usadas internacionalmente) que transmite información genética en nuestro cuerpo (Figura 1.2 ▼). La química proporciona respuestas a éstas y a innumerables preguntas más.



◀ **Figura 1.2** (a) Vista microscópica de un *chip* de computadora. (b) Pintura del Renacimiento, *Muchacha que lee*, por Vittore Carpaccio (1472-1526). (c) Hebra larga de ADN que se salió de una bacteria cuya pared celular sufrió daños.

Al estudiar química, aprenderemos a usar el potente lenguaje y las ideas que han surgido para describir y entender la materia. El lenguaje de la química es un lenguaje científico universal que se emplea ampliamente en otras disciplinas. Además, entender el comportamiento de los átomos y las moléculas nos permite comprender mejor otras áreas de la ciencia, la tecnología y la ingeniería modernas. Por esta razón, es probable que la química desempeñe un papel importante en su futuro. El lector estará mejor preparado para el futuro si amplía su entendimiento de los principios químicos, y el objetivo de este libro es ayudarlo a alcanzar esa meta.



La química en acción La química y la industria química

Muchos conocemos productos químicos caseros comunes como los que se muestran en la figura 1.3 ▶, pero pocos nos damos cuenta de lo enorme e importante que es la industria química. Las ventas mundiales de productos químicos y relacionados con la química fabricados en Estados Unidos ascienden a más de 400,000 millones de dólares anuales. La industria química da empleo a más del 10% de todos los científicos e ingenieros y contribuye de manera importante a la economía estadounidense.

Se producen enormes cantidades de productos químicos cada año que sirven como materia prima en diversas aplicaciones, incluidas la fabricación de metales, plásticos, fertilizantes, medicamentos, combustibles, pinturas, adhesivos, plaguicidas, fibras sintéticas, *chips* microprocesadores y muchos otros productos. En la tabla 1.1 ▼ se enumeran los principales 10 productos químicos fabricados en Estados Unidos. Estudiaremos muchas de estas sustancias y sus usos conforme el curso avance.

Quienes tienen estudios de química cubren diversos puestos en la industria, el gobierno y las universidades. Los que trabajan en la industria química encuentran acomodo como químicos de laboratorio, realizando experimentos para desarrollar nuevos productos (investigación y desarrollo), analizando materiales (control de calidad) o ayudando a los clientes a usar los productos (ventas y servicio). Aquellos con más experiencia o capacitación pueden trabajar como gerentes o directores de empresas. También hay carreras alternas para las que la química puede servir como preparación: docencia, medicina, investigaciones biomédicas, informática, ecología, ventas técnicas, trabajo con organismos gubernamentales reguladores y leyes de patentes.



▲ Figura 1.3 Muchos productos de supermercado comunes tienen composiciones químicas muy sencillas.

TABLA 1.1 Los 10 principales productos químicos elaborados por la industria química en el 2000^a

Lugar	Sustancia	Fórmula	Producción en el 2000 (miles de millones de libras)	Usos finales principales
1	Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	87	Fertilizantes, plantas químicas
2	Nitrógeno	N ₂	81	Fertilizantes
3	Oxígeno	O ₂	55	Acero, soldadura
4	Etileno	C ₂ H ₄	55	Plásticos, anticongelante
5	Cal viva	CaO	44	Papel, cemento, acero
6	Amoniaco	NH ₃	36	Fertilizantes
7	Propileno	C ₃ H ₆	32	Plásticos
8	Ácido fosfórico	H ₃ PO ₄	26	Fertilizantes
9	Cloro	Cl ₂	26	Blanqueadores, plásticos, purificación de agua
10	Hidróxido de sodio	NaOH	24	Producción de aluminio, jabón

^aCasi todos los datos se tomaron de *Chemical and Engineering News*, 25 de junio de 2001, pp. 45 y 46.

1.2 Clasificaciones de la materia

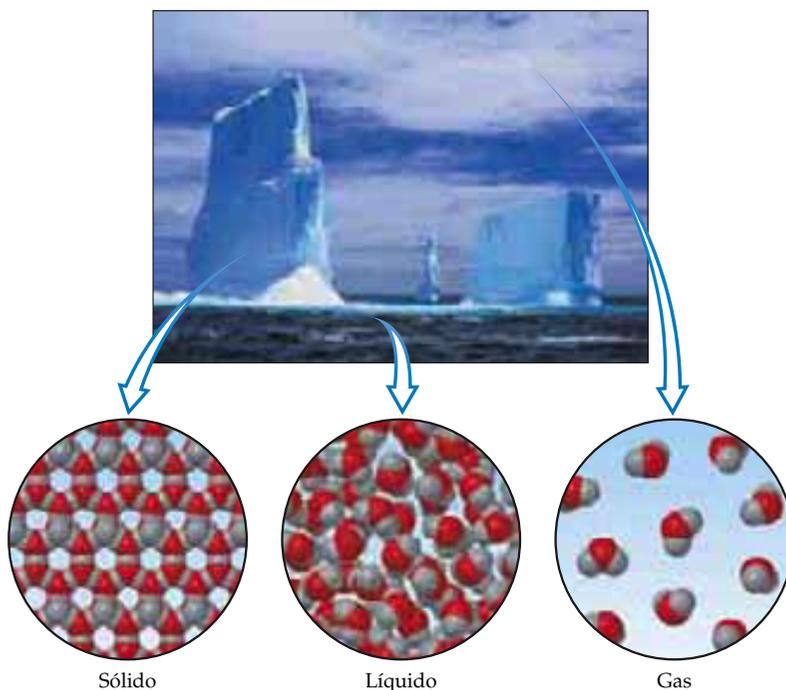
Iniciemos nuestro estudio de la química examinando algunas formas fundamentales de clasificar y describir la materia. Dos de los principales métodos de clasificación de la materia se basan en su estado físico (como gas, líquido o sólido) y en su composición (como elemento, compuesto o mezcla).

Estados de la materia

Una muestra de materia puede ser gaseosa, líquida o sólida. Estas tres formas de materia se denominan **estados de la materia**. Los estados de la materia difieren en algunas de sus propiedades observables. Un **gas** (también llamado *vapor*) no tiene volumen ni forma fijos; más bien, se ajusta al volumen y la forma del recipiente que lo contiene. Podemos comprimir un gas de modo que ocupe un volumen más pequeño, o expandirlo para ocupar uno mayor. Un **líquido** tiene un volumen definido independiente del recipiente pero no tiene forma específica; asume la forma de la porción del recipiente que ocupa. Un **sólido** tiene forma y volumen definidos; es rígido. Ni los líquidos ni los sólidos pueden comprimirse de forma apreciable.

Las propiedades de los estados pueden entenderse en el nivel molecular (Figura 1.4 ▼). En un gas, las moléculas están muy separadas y se mueven a alta velocidad, chocando repetidamente entre sí y con las paredes del recipiente. En un líquido, las moléculas están más cercanas, pero aún se mueven rápidamente, y pueden deslizarse unas sobre otras; por ello los líquidos fluyen fácilmente. En un sólido, las moléculas están firmemente unidas entre sí, por lo regular en patrones definidos dentro de los cuales las moléculas apenas pueden moverse un poco de esas posiciones fijas. Por ello, los sólidos tienen forma rígida.

 Ejercicios con el CD-ROM
Fases de la materia
(Phases of Matter)



◀ **Figura 1.4** Los tres estados físicos del agua son vapor de agua, agua líquida y hielo. En esta fotografía vemos los estados sólido y líquido del agua. No podemos ver el vapor de agua. Lo que vemos cuando miramos vapor o nubes son pequeñas gotitas de agua líquida dispersas en la atmósfera. Las vistas moleculares muestran que las moléculas en el sólido están dispuestas en una forma más ordenada que en el líquido. Las moléculas del gas están mucho más separadas que en el líquido o en el sólido.