

# I

## OBJETO DE ESTUDIO DE LA QUÍMICA

### OBJETIVO GENERAL

Explicar el objeto de estudio de la química y su relación con otras ciencias, mediante el análisis descriptivo y analítico de problemas de la sociedad actual que involucren el uso de las propiedades de la materia, la energía y su interrelación, de manera cooperativa y responsable.



## INDICADORES DE LOGROS

- 1** Explicar de manera clara y adecuada el concepto de química.
- 2** Representar acertadamente la relación de la química con otras ciencias.
- 3** Expresar correctamente los conceptos de materia, masa y energía.
- 4** Explicar de forma clara la interrelación entre la masa y la energía.
- 5** Describir los conceptos, relaciones y diferencias más importantes que se dan entre las propiedades generales, específicas, físicas y químicas.
- 6** Caracterizar los aspectos principales de los estados de agregación de la materia.
- 7** Conocer la descripción y la interrelación entre los diversos tipos de cambio de estado de agregación.
- 8** Diferenciar adecuadamente entre los distintos tipos de energía.
- 9** Manifestar qué se entiende por “energías limpias” y explicar su importancia en relación con la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente.
- 10** Explicar debidamente las características más importantes asociadas con los diversos tipos de cambio: físico, químico y nuclear.

## EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS DECLARATIVOS PREVIOS

¿QUÉ TIPO DE CONOCIMIENTO TIENES SOBRE LOS SIGUIENTES CONTENIDOS? MARCA TU RESPUESTA EN LA COLUMNA CORRESPONDIENTE, POSTERIORMENTE HAZ LA SUMA PARA CADA UNA DE ELLAS. TE RECOMENDAMOS QUE INVESTIGUES LOS TEMAS QUE TE SEAN DESCONOCIDOS ANTES DE COMENZAR LA LECTURA DE ESTE CAPÍTULO. CONSULTA A TU PROFESOR PARA ACLARAR CUALQUIER DUDA QUE TENGAS AL RESPECTO.

| Contenido                   | Dominio del tema |         |       |           |
|-----------------------------|------------------|---------|-------|-----------|
|                             | Poco             | Regular | Bueno | Muy bueno |
| Concepto de química         |                  |         |       |           |
| Masa                        |                  |         |       |           |
| Materia                     |                  |         |       |           |
| Energía                     |                  |         |       |           |
| Estado de agregación        |                  |         |       |           |
| Cambios de estado           |                  |         |       |           |
| Energía cinética            |                  |         |       |           |
| Energía potencial           |                  |         |       |           |
| Propiedades extensivas      |                  |         |       |           |
| Propiedades específicas     |                  |         |       |           |
| <b>Suma de cada columna</b> |                  |         |       |           |



# La química, una ciencia interdisciplinaria

## OBJETIVO

**Describir el objeto de estudio de la química y su relación con otras ciencias, mediante el análisis crítico de su impacto en la resolución de problemas ambientales y sociales**

**E**n el momento, estimado lector, en que estás iniciando la lectura de este libro, se desarrollan alrededor y dentro de ti mismo una cantidad innumerable de reacciones químicas: las plantas verdes transforman el dióxido de carbono, mediante un mecanismo muy complejo, en vapor de agua y oxígeno que, como bien sabemos, es utilizado por gran número de seres vivos para mantenerse con vida. Asimismo, al respirar, estos seres incorporan a su organismo oxígeno y lo devuelven al ambiente como dióxido de carbono, con lo que el ciclo continúa.

Mientras que tus ojos recorren estas líneas se desarrollan en tu retina reacciones químicas que transforman la luz recibida en un impulso nervioso. Éste se genera por intercambio de iones de sodio, potasio y cloro en el axón, es decir, en el cuerpo neuronal. Asociado a este intercambio iónico entre neurona y neurona, se liberan unas sustancias llamadas neurotransmisores, que pasan el mensaje a la siguiente neurona y así sucesivamente, hasta llegar a nuestra corteza cerebral que nos permite identificar, sin ninguna duda, las letras de este texto, la habitación en la que nos encontramos, los rasgos de la cara de la persona que está cerca, etcétera.

Algo similar sucede con los sonidos que percibes, las sensaciones corporales de frío, calor y dolor. El proceso digestivo involucra aspectos físicos, mecánicos y sobre todo químicos. Desde el momento en que ingerimos los alimentos hasta que las sustancias nutritivas se incorporan a nuestro organismo, varios procesos químicos están presentes.

De manera muy clara y directa, puede afirmarse que la mayoría de los objetos que utilizamos en la actualidad han sido elaborados aplicando los conocimientos químicos: las telas de las que están hechas nuestras prendas de vestir, los colorantes para teñirlas, la suela de nuestros zapatos tenis, los perfumes, muchos de los ingredientes que integran la sopa instantánea que disfrutas con tanta delicia, la tinta de la pluma con la que escribes. La misma textura y color que tiene el papel de este libro, el pegamento que sirve para mantener unidas las hojas, las tintas de impresión, la forma en que las imágenes aparecieron en las placas fotográficas con las que se crearon muchas de las ilustraciones de este libro, etcétera.



Es indudable que advertimos también la presencia de la química en los problemas ambientales. Los contaminantes que se vierten al aire, producto del funcionamiento de miles de vehículos automotores llegan a la atmósfera, donde ocurren una serie de reacciones fotoquímicas que dan como resultado la llamada *lluvia ácida*, que está provocando problemas cada vez mayores para todo el ecosistema. Otro fenómeno químico asociado con la contaminación, y sobre el que nos advierten numerosas organizaciones ambientales, es la destrucción paulatina de la capa de ozono. Con el paso de tiempo, afirman los científicos, el fenómeno ocasionará el paso de la peligrosa radiación ultravioleta, generando cánceres de piel y mutaciones genéticas que no podemos todavía ni siquiera imaginar.

**Fig. 1.1** En el nivel macro y microscópico, la química se encuentra muy ligada con la biología.



La pregunta clásica de muchos estudiantes: ¿por qué debo estudiar química?, encuentra clara respuesta si consideramos que el aprendizaje de los conceptos químicos tiene, entre sus objetivos, otorgarte una concepción lo más clara posible de la naturaleza de las cosas, de los procesos que en ellas se dan, de cómo se puede influir en ellos para obtener mejor calidad de vida, y de qué manera puedes colaborar para que la naturaleza esté cada vez menos contaminada; en suma, para que tomes conciencia de la importancia de tu participación en aras de lograr un mundo mejor para quienes habitarán después de nosotros este maravilloso planeta azul.

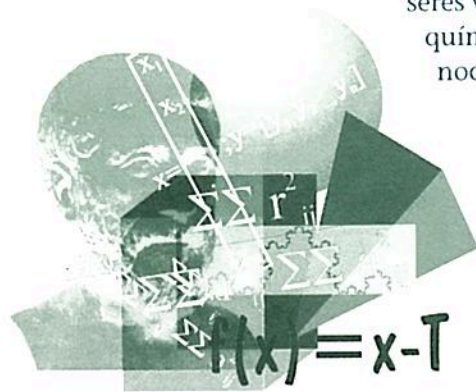
## Relación de la química con otras ciencias

El desarrollo actual de la química exige que ésta tenga relaciones con un gran número de otras ciencias. Mencionemos algunos ejemplos relevantes:

Con la **biología** tiene una muy estrecha relación, porque en los seres vivos se desarrollan una amplísima variedad de reacciones químicas y la materia que estamos estudiando proporciona conocimientos básicos para entenderlas y predecirlas.

Muchos procesos químicos no sólo se describen, también se cuantifican. Para ello las aportaciones de las **matemáticas** son absolutamente necesarias. Desde las simples sumas y restas, hasta modelos matemáticos de altísima complejidad utilizados para describir la estructura atómica y los mecanismos de reacción son ejemplos de cómo se relacionan ambas ciencias.

La química y la **física** tienen una relación estrecha y natural. Ambas se dedican al estudio de los fenómenos naturales, aunque con diferente perspectiva. Los aportes de la física han ayudado a los químicos a comprender la estructura y manifestaciones de la materia, su relación con la energía y la forma en que se



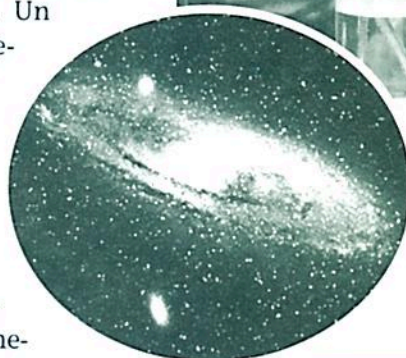
**Fig. 1.2** La química se vuelve cuantitativa a partir de la utilización de las matemáticas.



desarrollan gran número de fenómenos. De hecho, la frontera entre ambas ciencias no resulta muy clara y, en la opinión de algunos científicos, más que ser ciencias distintas, pudieran considerarse como caras diferentes de la misma moneda.

La **astronomía** es una de las ciencias que nos sorprenden con frecuencia, ya que nos proporciona una imagen más profunda de la complejidad del universo. La química y la astronomía tienen múltiples puntos de contacto. Un ejemplo claro lo tenemos cuando el astrónomo requiere conocer la edad y composición de las estrellas que se encuentran a muchos años luz de distancia. Analizando la luz que nos llega de ella, y mediante métodos de espectroscopia ha sido posible calcular la distancia a la que se encuentran de nuestro planeta y su etapa de desarrollo.

Otras muchas disciplinas científicas como la medicina, la geografía, la geología, la bioquímica, la metalurgia, etc., guardan también una relación estrecha y recíproca con la química. En razón de tal reciprocidad la química es, con toda razón, una ciencia interdisciplinaria.



**Fig. 1.3** El universo es la mayor expresión de organización de la materia.

## ACTIVIDAD 1.1

- Elabora un esquema gráfico donde presentes la información más importante de lo que acabas de leer. Reúnete con dos o tres de tus compañeros, comparte cada uno su trabajo, y traten de elaborar un esquema donde conjunten lo mejor del trabajo que hizo cada uno por separado.
- Imagina que de tu mochila han desaparecido todos los productos químicos o aquellos en los que la química tiene alguna participación ¿Cuáles quedarían en ella? ¿Quedaría alguno? Justifica tu respuesta.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Hasta el momento hemos mencionado muchas veces a la química, ¿cómo se define esta ciencia?

La **química** es la ciencia que se dedica al estudio de las propiedades, composición y estructura de la materia, de su relación con la energía, así como de las leyes que regulan y explican tales interacciones.

La química presenta la siguiente división.

- **General:** Estudia las leyes, principios, teorías, métodos, procedimientos, reglas, etc., que rigen a la química como ciencia. Como ejemplos podemos mencionar la ley de la conservación de la materia, el principio de incertidumbre de Heisenberg, la regla de las diagonales, etcétera.
- **Descriptiva:** Estudia las propiedades físicas y químicas de las sustancias, los métodos para producirlas, y las aplicaciones principales que pudieran tener. Se subdivide en **química orgánica** e **inorgánica**. La primera, estudia a los compuestos del carbono, y la segunda se encarga de los compuestos formados por los demás elementos.
- **Analítica:** Se dedica a determinar la composición de las sustancias. La química analítica cualitativa nos sirve para saber qué elementos integran a un compuesto. Por su parte la química analítica cuantitativa tiene por objeto saber qué cantidad precisa de cada uno de los constituyentes, sean elementos o compuestos; se encuentran presentes en una sustancia determinada.
- **Aplicada:** Como su nombre lo indica, es la rama de la química que se encarga del estudio y desarrollo de nuevos materiales.

## ACTIVIDAD 1.2

Lee con atención las actividades descritas en la primera columna y relacionalas con la división de la química a la cual pertenecen.

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1. Uso de las zeolitas dentro de los convertidores catalíticos de los automóviles.                                    | a) Química general     |
| 2. Determinación de la clase de elementos químicos que posee una muestra de mineral.                                  | b) Química analítica   |
| 3. Determinación de los elementos químicos presentes en una estrella que se encuentra a muchos años luz de distancia. | c) Química descriptiva |
| 4. Establecimiento de la ley de la conservación de la energía.  | d) Química aplicada    |
| 5. Precisión de los niveles de alcohol en la sangre de un conductor.  |                        |
| 6. Investigación sobre las propiedades de los halógenos.  |                        |
| 7. Descripción de los usos de los nuevos materiales.  |                        |



# Materia

## OBJETIVO

Explicar las diferencias existentes entre las manifestaciones de la materia y sus propiedades a partir del análisis descriptivo de los estados de agregación y sus cambios.

A través de la historia de la humanidad, filósofos y científicos han invertido buena parte de su vida y capacidad mental para responder a esta pregunta. Las respuestas que se han dado presentan una impresionante variedad. Algunos filósofos griegos consideraron que todos los seres y los objetos estaban constituidos por cuatro elementos fundamentales: **aire, agua, tierra y fuego**. Diversas combinaciones de tales elementos explicaban las características peculiares de las sustancias. Así, por ejemplo, se pensaba que una sustancia podía arder debido a que estaba compuesta tanto de aire como de fuego; aquella otra sustancia podía evaporarse porque se componía, casi exclusivamente, de aire, etcétera.

¿De qué está constituido el universo?

Después de muchas ideas y teorías, que no mencionaremos aquí, se ha llegado al consenso de que el universo entero está formado de materia.

## Características y manifestaciones de la materia

De manera tradicional se acostumbra definir a la **materia** como *todo aquello que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio*. En esta sencilla descripción se destacan dos aspectos importantes: la materia posee *masa* y, además, ocupa un lugar en el *espacio*. Los aspectos mencionados implicaban considerar a la energía como una entidad enteramente distinta y, a la vez, complementaria de la materia.

A la luz de la mecánica cuántica, de la cual hablaremos con más detalle en el capítulo siguiente, la materia se define en la actualidad de una manera muy simple, pero cargada de sentido: la **materia** es *todo cuanto existe en el universo*. ¿Qué implica esta afirmación? Que tanto la masa como la energía son las dos formas en las que puede existir la materia.

La **masa** se concibe, entonces, como la *existencia de materia en forma de partículas* y, la **energía** se define como la *capacidad para realizar un trabajo*. Un poco más adelante en el capítulo volveremos sobre la definición

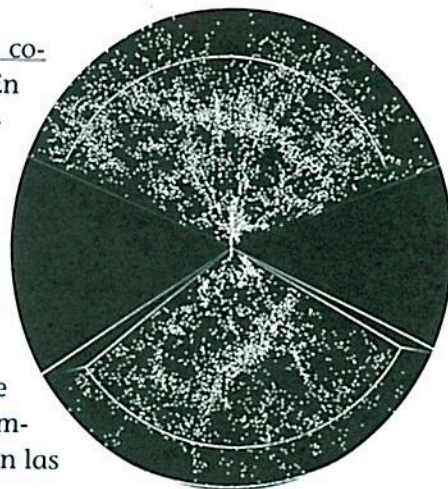


Fig. 1.4 Estructura a gran escala del universo, cada punto representa una galaxia.



y características de la energía. Por el momento recordemos la ecuación de Einstein que relaciona la masa con la energía:

$$E = mc^2$$

Donde:

**E** = energía, medida en Joules

**m** = masa en kilogramos

**c** = velocidad de la luz (aprox. = 300,000, 000 m/s)

La importancia de esta expresión matemática se hace evidente si resolvemos un ejemplo sencillo:

¿Cuánta energía podría obtenerse de la transformación de un objeto metálico con una masa igual a un gramo?

Los datos del problema son:

$$E = ?$$

$$m = 1 \text{ g} = .001 \text{ g o } 1 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$c = 300,000,000 \text{ m/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$E = (1 \times 10^{-3}) (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} \text{ Joules, esto es, ¡90 billones de Joules!}$$

Esta enorme cantidad de energía bastaría para proveer de servicio eléctrico a una población de 10, 000 habitantes ¡por espacio de varios meses!

## Propiedades de la materia

A pesar de que todo está conformado de materia, podemos distinguir con claridad que los objetos de nuestro entorno presentan características que nos permiten distinguirlos unos de otros. A tales características se les otorga comúnmente el nombre de **propiedades**. Su clasificación aparece en el siguiente esquema:





## Propiedades generales o extensivas

Se les llama *generales* porque son comunes a todo cuerpo, y *extensivas*, porque dependen de la cantidad de masa que éste posea. Como ejemplo de características de este tipo tenemos a la masa, el volumen, la inercia y el peso.

- **Masa:** Es la existencia de materia en forma de partículas. En el SI de unidades tiene como unidad el gramo (g).
- **Volumen:** Es la porción de espacio ocupada por un cuerpo. La unidad de volumen en el SI es el  $m^3$ .
- **Inercia:** Es la tendencia de los cuerpos a conservar su estado de reposo o de movimiento. Está relacionada estrechamente con la masa, de tal forma que a mayor masa, mayor inercia y viceversa.
- **Peso:** Es la medida de la atracción que ejerce la fuerza de gravedad sobre un objeto. Las unidades en las que se reporta son Newtons (N) y para calcularla se utiliza la fórmula  $w = mg$ , donde  $w$  es el peso en newtons,  $m$  la masa en kilogramos y  $g$  la aceleración de la gravedad, cuyo valor aproximado es de  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

## Propiedades específicas o intensivas

Se les dice *específicas* porque ayudan a distinguir a una sustancia de otra; además se les llama *intensivas* porque no dependen, en ningún sentido, de la cantidad de masa que posea el cuerpo en cuestión. Ejemplos de este tipo de propiedades son el punto de fusión, el punto de ebullición, la reactividad química, la densidad, etc. De manera general, podemos clasificar las propiedades específicas en dos tipos: propiedades físicas y propiedades químicas.

1. **Propiedades físicas:** pueden ser observadas sin que exista cambio alguno en la composición interna de la sustancia estudiada.

Algunas propiedades físicas se denominan *organolépticas* porque pueden ser percibidas a través de nuestros sentidos corporales como el **color**, el **olor** y el **sabor**.

Otras propiedades físicas requieren, en ocasiones, de instrumentos específicos que permitan determinar su magnitud, por ejemplo: la densidad, la maleabilidad, ductilidad, elasticidad, dureza, solubilidad, calor específico, conductividad térmica y eléctrica, temperaturas de fusión y de ebullición.

- **Densidad:** se define como la cantidad de masa por unidad de volumen. Sus unidades, en consecuencia, involucran tanto la masa como el volumen:  $g/mL$ ,  $g/L$ ,  $g/cm^3$ , etcétera.



**Fig. 1.5** El hielo y el plomo se diferencian por sus propiedades físicas.



- **Maleabilidad:** Es la capacidad de algunas sustancias, como los metales, para ser trabajados hasta extenderse y formar láminas.
- **Ductilidad:** Se dice que un cuerpo es dúctil cuando puede deformarse con cierta facilidad. En el caso de los metales, la ductilidad implica que puede admitir grandes deformaciones físicas en frío sin llegar a romperse, asimismo, indica la capacidad de formar alambres o hilos con ellos.
- **Elasticidad:** Esta propiedad permite que un cuerpo sólido sea deformado hasta cierto grado para recobrar después su extensión y su forma una vez que ha cesado la fuerza deformante.
- **Dureza:** Puede ser caracterizada como la oposición que presenta un cuerpo para ser rayado, comprimido o deformado hasta cierto punto.
- **Solubilidad:** Es la cantidad de una sustancia que puede disolverse en una cantidad previamente especificada de solvente, a una presión y temperatura dadas. Por ejemplo, se ha logrado determinar que a la presión de 1 atmósfera y a una temperatura de 20 °C pueden disolverse, aproximadamente, 30 g de nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ) en 100 g de agua. Si la temperatura aumenta, la solubilidad aumenta, de tal suerte que a una temperatura de 80 °C, es posible disolver hasta cerca de 100 g de  $\text{KNO}_3$  en los mismos 100 g de agua, un aumento en la solubilidad realmente considerable.
- **Calor específico:** Es la cantidad de calor que es necesario agregar a 1 gramo de cualquier sustancia para elevar su temperatura en 1 °C. Las unidades en las que se expresa son calorías/gramo-°C ( $\text{Cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ ).

**Tabla 1 Calores específicos de diversas sustancias**

| Sustancia     | [J/(g°C)] | [cal/g°C] |
|---------------|-----------|-----------|
| Agua          | 4.182     | 1.0       |
| Aire seco     | 1.009     | 0.241     |
| Aluminio      | 0.896     | 0.214     |
| Bronce        | 0.385     | 0.092     |
| Cobre         | 0.385     | 0.092     |
| Concreto      | 0.92      | 0.22      |
| Hielo (a 0°C) | 2.09      | 0.5       |
| Plomo         | 0.13      | 0.031     |
| Vidrio        | 0.779     | 0.186     |
| Zinc          | 0.389     | 0.093     |



- **Conductividad térmica o eléctrica:** Propiedad de algunos cuerpos que los hace capaces de conducir la temperatura o la electricidad, respectivamente.
  - **Temperatura de fusión:** Se define como la temperatura a la cual las presiones de vapor de las fases líquida y sólida están en equilibrio.
  - **Temperatura de ebullición:** Temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a 1 atmósfera (101.325 kPa).
2. **Propiedades químicas:** Son aquellas que solamente pueden observarse cuando se altera íntimamente la naturaleza de la sustancia. Algunos ejemplos son la valencia de un elemento, su reactividad, oxidabilidad, combustibilidad, inflamabilidad, etcétera.
- **Valencia:** Es la capacidad de combinación de un átomo. Se puede determinar, inicialmente, a partir de su configuración electrónica, aunque lo más frecuente es estudiar su comportamiento en la formación de compuestos característicos.
  - **Oxidabilidad:** Se puede caracterizar como aquella propiedad de algunos elementos que los hace capaces de formar óxidos.
  - **Combustibilidad:** Propiedad de las sustancias que las hace capaces de arder. Esta propiedad sólo se puede apreciar cuando se aplica una llama a la sustancia y se nota si arde o no.
  - **Inflamabilidad:** Esta propiedad química nos informa si la sustancia es capaz de encenderse con facilidad y además desprender llamas.

**Tabla 2** Propiedades físicas del cloro, agua azúcar y ácido acético

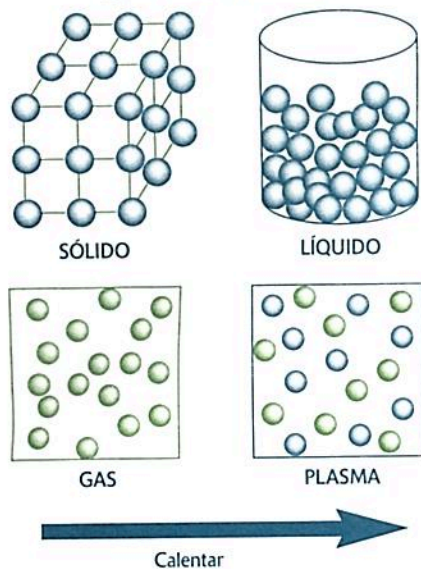
| Sustancia     | Color             | Olor                 | Sabor           | Estado físico | Punto de fusión (°C) | Punto de ebullición (°C) |
|---------------|-------------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------------|--------------------------|
| Cloro         | Verde amarillento | Irritante, sofocante | Definido, agrio | Gas           | 2101.6               | 234.6                    |
| Agua          | Incoloro          | Inodoro              | Sin sabor       | Líquido       | 0.0                  | 100.0                    |
| Azúcar        | Blanco            | Inodoro              | Dulce           | Sólido        | —                    | Se descompone a 170-186  |
| Ácido acético | Incoloro          | Como vinagre         | Ácido           | Líquido       | 16.7                 | 118.0                    |

## Estados de agregación de la materia

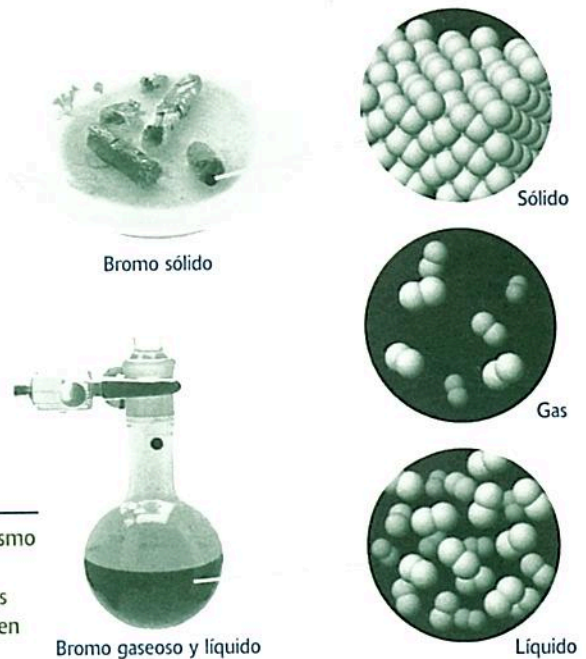
Las diversas sustancias pueden presentarse en forma de sólidos, líquidos o gases. Esta manera de manifestarse se conoce como **estado de agregación**, debido a que las características de cada uno de los estados tiene relación con la forma en la que están dispuestos los átomos o moléculas que componen al cuerpo en estudio.



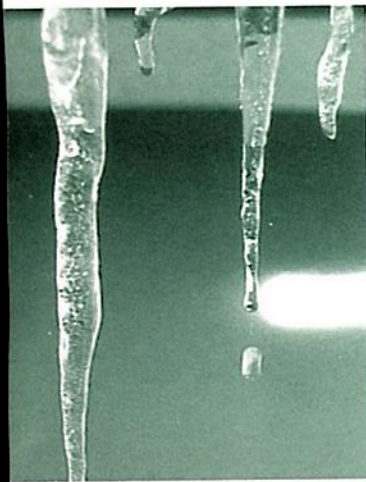
## ESTADOS DE LA MATERIA



**Fig. 1.6** Estados de la materia.



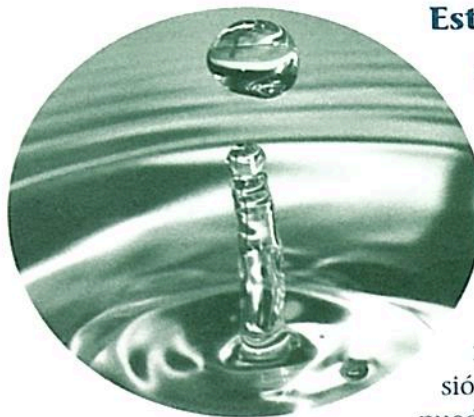
**Fig. 1.7** Un mismo elemento pasa por tres estados de agregación en momentos diferentes.



**Fig. 1.8** El hielo que se funde y produce agua, o la conversión del agua en vapor son cambios físicos de un estado de la materia a otro.

### Estado sólido

Las sustancias en este estado poseen forma y volumen propios. En algunos casos las partículas constituyentes se disponen formando una especie de red cristalina donde las fuerzas de atracción son muy fuertes. La energía cinética de las partículas en los sólidos es pequeña, mientras que la energía potencial posee un valor alto.



**Fig. 1.9** Los líquidos son imprescindibles para la vida del planeta.

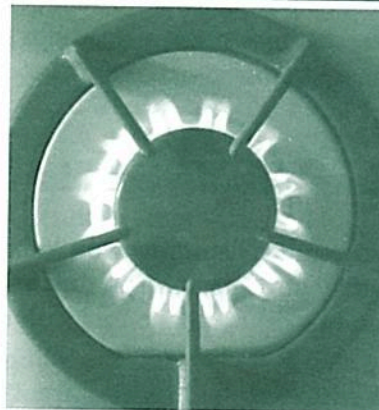
### Estado líquido

Los líquidos, como podemos observar a través de muchos ejemplos de nuestra vida diaria, aunque poseen un volumen propio, adoptan la forma del recipiente que los contiene. Son muy poco compresibles, y las fuerzas que existen entre sus moléculas o átomos explican el fenómeno de cohesión y por qué la mayor parte de ellos pueden formar gotas. La energía cinética de sus partículas es aproximadamente igual a su energía potencial.



## Estado gaseoso

Los gases no tienen forma ni volumen definido, pero pueden llenar con cierta rapidez, por completo, el recipiente que los contiene. Sus partículas, ya sean átomos o moléculas, viajan a gran velocidad, chocando con frecuencia con las otras partículas y con las paredes del recipiente, porque su energía cinética es muy alta comparada con su energía potencial. Los gases pueden comprimirse en un grado relativamente importante, y bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, pueden pasar al estado líquido.



**Fig. 1.10** Los gases se encuentran en la naturaleza en forma de nubes, o bien, los utilizamos para la vida cotidiana.

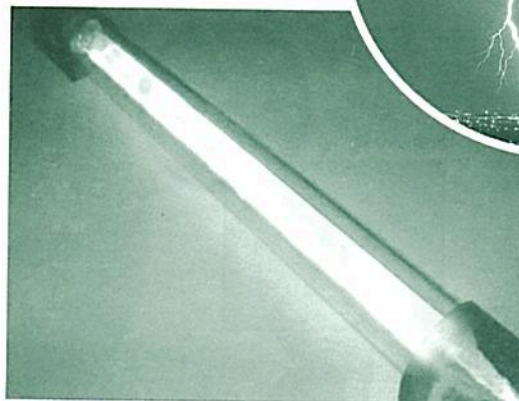
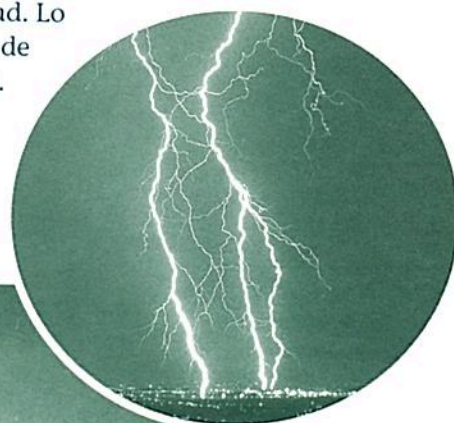
## Plasma

El cuarto estado de la materia, el plasma es, de acuerdo con las investigaciones científicas, el más abundante en el universo, puesto que ocupa aproximadamente el 99% del mismo. Las estrellas, nuestro Sol y el polvo interestelar están formados por plasma.

El plasma se describe como una especie de gas ionizado, en el cual las partículas subatómicas se mueven casi con entera libertad. Lo podemos imaginar como un fluido tremendamente lleno de energía, que puede generar cantidades inimaginables de ella. Las colisiones frecuentes redundan en la creación de elementos a partir de sus partículas básicas.

A diferencia de los gases fríos, como el aire a temperatura ambiente, el plasma es un excelente conductor de la electricidad y también es fuertemente influido por los campos magnéticos. De hecho, como el plasma no puede ser contenido en ningún recipiente sólido, los científicos están experimentando con campos magnéticos muy poderosos para poder confinarlo.

Ellos afirman que existe un plasma frío y un plasma caliente. El plasma frío se presen-



**Fig. 1.11** Los relámpagos son manifestaciones del cuarto estado de la materia, el plasma y también para el confort humano como los tubos de luz fluorescente.



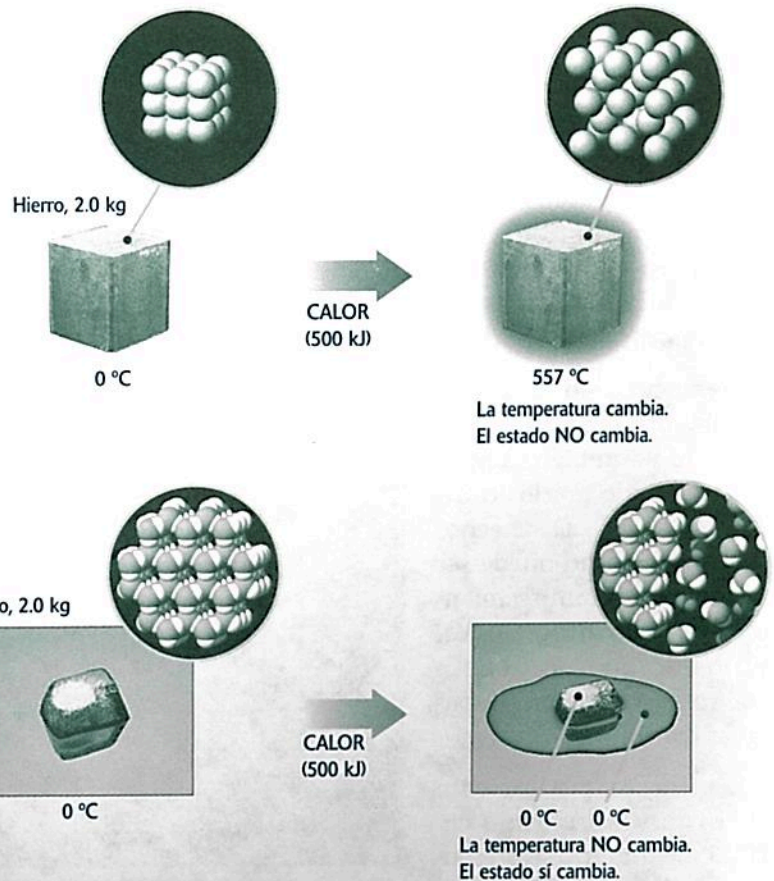
ta a temperaturas del rango de los 10 000K, mientras que el plasma caliente requiere de millones de grados de temperatura.

En nuestro planeta podemos observar algunas manifestaciones del plasma en el relámpago, en algunas secciones de la llama y en los tubos fluorescentes, comúnmente conocidos como "tubos de neón".

El gas contenido en el interior de los tubos fluorescentes es ionizado por la energía eléctrica que circula una vez que se ha accionado el interruptor. Las partículas ionizadas son aceleradas y colisionan con los átomos. En este proceso son arrancados electrones adicionales que ayudan a mantener el plasma así creado.

## Cambios de estado de la materia

Los estados de agregación y los cambios que se pueden dar entre un estado y otro, encuentran una explicación relativamente sencilla en la llamada teoría cinético-molecular.



**Fig. 1.12** Al agregar 500 kJ de calor a 2.0 kg de hierro a 0 °C la temperatura de éste aumentará hasta 557 °C (y el metal se expande levemente). En contraste, al agregar 500 kJ de calor a 2.0 kg de hielo se fundirán 1.5 kg de hielo formando agua a 0 °C (y quedará un remanente de 0.5 kg de hielo). No se produce cambio de temperatura.



De acuerdo con esta teoría, los átomos o moléculas constituyentes de un cuerpo sólido se encuentran ubicadas en cierta posición, dependiendo de la naturaleza propia del sólido. Sin embargo, no están perfectamente quietas, sino que se encuentran vibrando, aunque se mantienen unidas por fuerzas de atracción que superan a las fuerzas de repulsión.

Cuando se proporciona calor al objeto, sus moléculas comienzan a vibrar con mayor fuerza, hasta que en un instante dado, vencen las fuerzas de atracción que las mantienen rígidamente en su lugar, esto se traduce en el cambio del estado sólido al líquido, que se conoce como **fusión**.

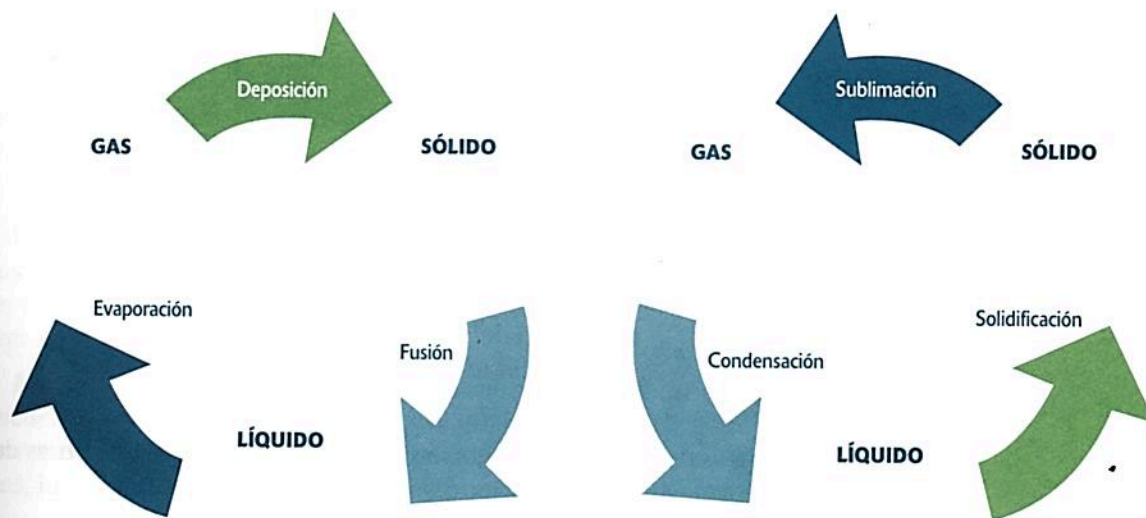
Si se continúa con el calentamiento del líquido, las moléculas adquirirán mayor velocidad hasta que logran pasar al otro estado de agregación: el gas. Nos encontramos entonces con la **evaporación**, que es el paso del estado líquido a gas.

Si invertimos el proceso y procedemos a enfriar un gas suficientemente, las moléculas irán perdiendo velocidad, tenderán a juntarse y a tomar el estado de agregación líquido. Este cambio de estado se conoce como **condensación**.

Una vez que el líquido se ha enfriado a una temperatura adecuada, sucede otro de los cambios de estado llamado **solidificación**. Como su nombre lo indica, el líquido ha adquirido las propiedades y estructura de un sólido.

Existe un caso especial en el que las moléculas requieren muy poca cantidad de energía calorífica para abandonar el estado sólido y pasan directamente al estado gaseoso. Tal cambio se conoce como **sublimación**, y es característico del yodo, del hielo seco ( $\text{CO}_2$ ) y de las pastillas desodorantes para el baño. El cambio en sentido inverso, es decir, el paso directo del estado gaseoso al estado sólido se conoce como **deposición**.

Los diagramas siguientes resumen la información sobre los cambios de estado:





## ACTIVIDAD 1.3

1. ¿Sabes elaborar mapas conceptuales? Consulta con tu profesor sobre la forma correcta de hacerlo y elabora un mapa conceptual del tema que acabas de leer. Compártelo con tus compañeros y tu profesor.



## Energía

### OBJETIVO

Discutir el efecto del consumo energético humano mediante la reflexión crítica acerca del empleo de medios no contaminantes para obtener energía.

En temas anteriores, nos hemos referido a la energía como la capacidad de realizar un trabajo. Expliquemos esto con algunos ejemplos: cuando una persona sube un tramo de escaleras, para lo cual gasta una determinada cantidad de energía, se realiza un trabajo. La mezcla de hidrocarburos que integran a la gasolina posee en sus enlaces una buena cantidad de energía química, que se aprovecha para realizar un trabajo al mover un vehículo, la energía potencial que posee el agua almacenada en una presa desarrolla un trabajo cuando se deja caer sobre los álabes de las turbinas para generar electricidad. El sol envía a todo el sistema solar cantidades muy grandes de energía luminosa y calorífica, que es aprovechada de muchas maneras por los seres vivos, y el ecosistema en general, para producir vida y, en última instancia, trabajo.

### Características y manifestaciones de la energía

Básicamente, existen dos tipos de energía: la cinética y la potencial.

La energía cinética se caracteriza como energía de movimiento y se puede calcular mediante la fórmula:

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Donde:

$E_c$  = energía cinética, en Joules

$m$  = masa del objeto, en kg

$v$  = velocidad del objeto, en m/s

Ejemplo:

Calcula la energía cinética, en Joules, de un objeto cuya masa es de 1600 g y se mueve a una velocidad de 60 km/h.



| Datos del problema   | Sustituimos en la fórmula:                            |
|--|---|
| A (con las transformaciones necesarias):   |   |
| $m = 1600 \text{ g} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1.6 \text{ kg}$ | $E_c = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} (1.6)(16.66)^2$ |
| $v = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$   | $= 222 \text{ Joules}$                                |
| $\times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 16.66 \text{ m/s}$                     |   |

Por su parte, la **energía potencial** es aquella que posee un objeto debido a su posición dentro de un campo de fuerzas. Para un objeto situado en el campo gravitacional terrestre se utiliza la fórmula siguiente para calcular su magnitud:

$$E_p = mgh$$

**Donde:**

$E_p$  = energía potencial, en Joules

$m$  = masa del objeto, en kg

$g$  = aceleración de la gravedad, con un valor aproximado de  $9.8 \text{ m/s}^2$

$h$  = altura, en m

**Ejemplo:**

Determina la energía potencial de un objeto cuya masa es de 1.6 kg que se encuentra situado a una altura de 16 m sobre el nivel del suelo.

| Datos del problema                    | Sustituimos en la fórmula:                          |
|---------------------------------------|---|
| $m = 1.6 \text{ kg}$                  | $E_p = mgh = (1.6)(9.8)(16) = 250.8 \text{ Joules}$ |
| $g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ |   |
| $h = 16 \text{ m}$                    |   |

Para entender cómo se relacionan las diferentes manifestaciones o tipos de energía, **la ley de la conservación de la energía** es un concepto clave: Esta ley enuncia que *“la energía no puede crearse ni destruirse, pero sí cambiar de una forma a otra”*.

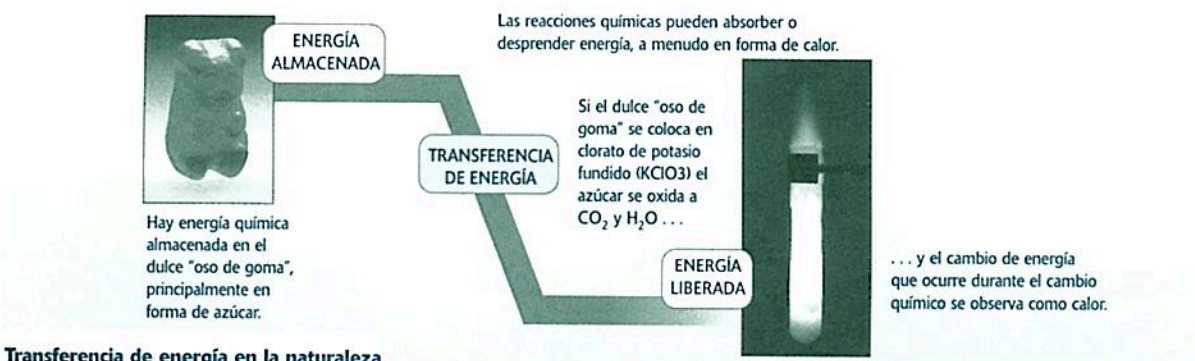
Así, la energía potencial o energía almacenada por un cuerpo que se encuentra a una altura determinada puede —y de hecho así sucede— convertirse en energía cinética. A su vez, creando las condiciones necesarias, la energía cinética puede transformarse en energía potencial.



## Manifestaciones de la energía

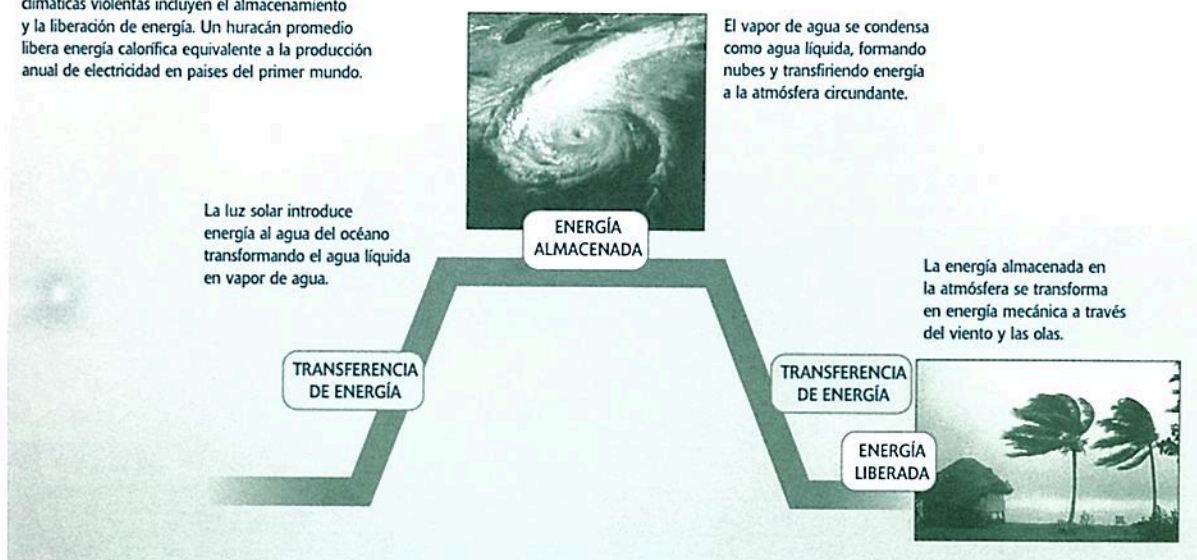
Como ya hemos comentado, las diversas energías tienen múltiples manifestaciones y propiedades que las hacen distinguirse unas de otras. A continuación describiremos brevemente algunos aspectos significativos de varias de ellas:

Fig. 1.13 Transferencia de energía en una reacción química.



### Transferencia de energía en la naturaleza

Los huracanes y otras formas de condiciones climáticas violentas incluyen el almacenamiento y la liberación de energía. Un huracán promedio libera energía calorífica equivalente a la producción anual de electricidad en países del primer mundo.



## Energía química

Es aquella que se encuentra "almacenada" dentro de los enlaces que presentan los átomos al integrar un compuesto determinado. Ejemplo claro lo representan los combustibles fósiles como el petróleo y el car-



bón. Ambos están integrados, en su gran mayoría por hidrocarburos, que poseen la singular propiedad de desarrollar reacciones exotérmicas con cierta facilidad, por lo que son aprovechadas en muchos procesos industriales o caseros.

### **Energía calorífica**

En la actualidad se define como *energía en tránsito*, que fluye de un cuerpo caliente a otro de menor temperatura. Esta manifestación de la energía es una de las que se presentan con mayor frecuencia. En los cambios de estado su participación es ineludible. Cuando se llevan a cabo las reacciones químicas también tiene una importante participación, ya sea que se genere calor o se absorba calor durante su desarrollo.

### **Beneficios y riesgos en el consumo de energía**

Nuestra generación se ha llegado a acostumbrar a hacer uso intensivo de las diferentes formas de energía, con el objeto de hacer su vida más confortable y obtener mayor control sobre su entorno físico. Nuestra vida diaria sería inimaginablemente complicada sin el uso de las distintas formas de energía. Baste pensar en la situación que vive un estudiante promedio de cualquier lugar de nuestro país: por la mañana cuando se prepara para ir a la escuela, casi con seguridad acciona el interruptor para encender el foco e iluminar. En el momento en que se preparan los alimentos, se utilizan diversos aparatos “eléctricos” para multitud de tareas: moler, refrigerar, calentar, batir, etc. Si su escuela se encuentra a una distancia considerable del lugar donde vive, tendrá que abordar un autobús o utilizar otro vehículo para poder llegar a tiempo, etcétera.

A pesar de los múltiples aspectos benéficos, también es necesario considerar que la generación de energía ha traído y seguirá trayendo, de no revertir el proceso, graves riesgos para el ecosistema.

### **Energías limpias**

Como hemos podido apreciar, la producción de energía está dirigida a facilitar las actividades humanas. Sin embargo, es necesario reconocer que los medios por los que se obtiene energía también causan graves inconvenientes: hace algunos años, cuando el carbón vegetal era la fuente principal de calefacción en los hogares se pusieron en peligro los bosques por la tala inmoderada; el uso de combustibles fósiles como los derivados del petróleo han provocado un aumento inmoderado y niveles cada vez más peligrosos de contaminantes ambientales, con el consecuente perjuicio de la salud y el deterioro del ecosistema.



La conciencia ecológica ha dejado de ser una moda, para convertirse en una necesidad apremiante. Si no modificamos las formas de obtener energía, estaremos condenando irremisiblemente nuestro presente y el futuro de la humanidad y del planeta.

Las llamadas “energías limpias” representan la alternativa más prometedora para mejorar las fuentes energéticas sin los riesgos actuales. Haremos una revisión de algunas de ellas de manera general:

- **Energía hidráulica:** Se obtiene principalmente de las caídas de agua. La energía potencial que posee el agua almacenada en presas o en lagos es utilizada para transformarla, mediante los mecanismos apropiados, en energía mecánica y eléctrica.
- **Energía nuclear:** Es aquella que está contenida en el núcleo atómico. Su estudio y desarrollo son relativamente recientes. A pesar de ello, los avances han sido espectaculares y se han utilizado de diferentes maneras, tanto para el beneficio de la humanidad como para la guerra, como nos lo recuerdan las bombas atómicas detonadas sobre Hiroshima y Nagasaki, al final de la Segunda Guerra Mundial.

La energía nuclear es transformada en las centrales nucleares, primero en energía calorífica y posteriormente, en energía mecánica y eléctrica. Para ello se utiliza, principalmente el proceso de **fisión nuclear**, que consiste en bombardear un átomo pesado con neutrones, hasta que se rompe o se fisiona, liberando en el proceso una enorme cantidad de energía. Los neutrones que se emiten como producto de la fisión chocan, a su vez, con otros átomos provocando la reacción en cadena.

Además de la fisión nuclear se está experimentando con el proceso de **fusión nuclear**. Como su nombre lo indica, es un proceso que en lugar de destruir núcleos atómicos, los une. Con ello se logra la producción de cantidades de energía superiores a los que se obtienen con la fisión. Sin embargo, todavía se encuentra en etapa de desarrollo.

- **Energía geotérmica:** Se sabe que el núcleo de la Tierra conserva una temperatura muy alta. En ocasiones se forman los llamados “pozos geotérmicos”, que no son otra cosa que formaciones rocosas que han atrapado agua. Esta agua se calienta y puede presentarse en forma de vapor, en forma de vapor-líquido o, posiblemente, en forma de un líquido caliente. En la actualidad existen plantas generadoras de electricidad que utilizan la energía geotérmica. Los estudios sobre sus aplicaciones presentan un futuro prometedor.
- **Energía solar:** El sol emite a cada instante cantidades importantes de radiación luminosa y calorífica. Desde hace algún tiempo se han estado construyendo “colectores” para aprovechar esta radia-



ción. En su fase piloto se ha demostrado que la energía solar puede aprovecharse para producir energía eléctrica y mecánica. Algunos organismos de investigación, como el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) están desarrollando modelos de paneles solares con buen rendimiento y a un precio moderado para solventar la necesidad de la generación de energía en poblaciones rurales de nuestro país.

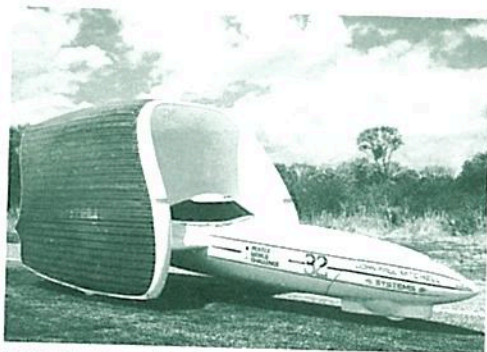
- **Energía eólica:** Desde la antigüedad, los hombres aprendieron a usar la fuerza del viento para mover sus embarcaciones. Hoy, los científicos están aprendiendo nuevas maneras de aprovechar la fuerza del viento para generar energía eléctrica. En algunas ciudades costeras de Europa y Norteamérica se han construido parques "eólicos", donde hélices de un tamaño colosal son movidas por el viento, y mediante la ayuda de generadores apropiados, proveen de electricidad a las poblaciones aledañas.
- **Biomasa:** Se describe frecuentemente como una sustancia orgánica, renovable, de origen animal o vegetal. La radiación solar que llega al planeta es la fuente de energía que contiene la biomasa. Los vegetales, a través del proceso de la fotosíntesis, captan, transforman y almacenan la energía en algunos compuestos. El reino animal incorpora, transforma y utiliza esta energía. De este proceso se obtienen algunos subproductos que, transformados en biomasa, pueden ser utilizados como combustible en diversos aprovechamientos energéticos.

La biomasa puede obtenerse de varias fuentes, por ejemplo, la poda natural de los bosques, los residuos urbanos y agrícolas, los residuos de industrias forestales y agrícolas, y de algunos cultivos, como el del girasol, la colza (una especie de col, de cuyas semillas se obtiene aceite) y, por supuesto, de los desechos orgánicos de la actividad humana.

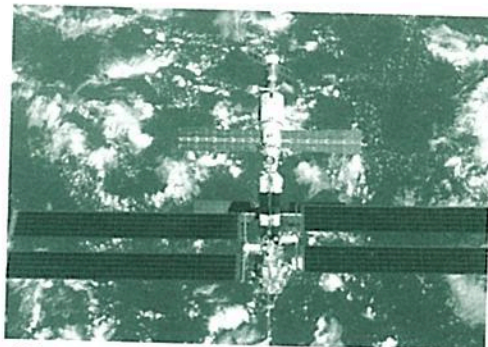
En muchos países europeos, la biomasa comienza a ser una alternativa viable y cada vez más importante para la generación de energía; sin embargo, en nuestro país, todavía se encuentra en etapa experimental, aunque existen avances importantes.



a) Casa con paneles fotovoltaicos en el techo.



b) Un Honda que funciona con energía solar. Participa en una competencia de estudiantes universitarios en Australia.



c) Concepto artístico de la Estación Espacial completa con paneles solares en su sitio.

**Fig. 1.14** Energía solar. Tres aplicaciones de paneles fotovoltaicos. Quizá también tenga otra en su calculadora electrónica. (a, Brian Parker/Tom Stack & Associates; b, Greg Vaughn/Tom Stack & Associates; c, NASA)



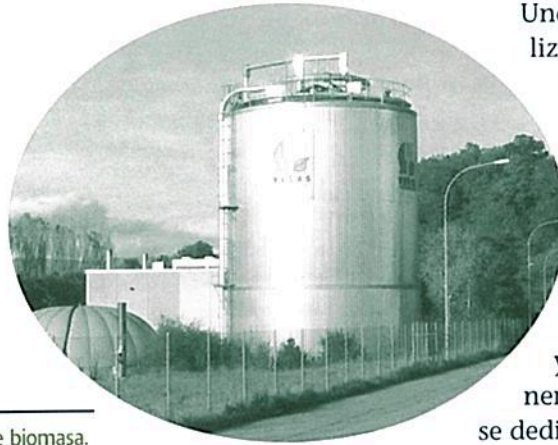


Fig. 1.15 Digestor de biomasa.

Una de las formas más frecuentes de utilizar la biomasa es construir digestores de biomasa, donde se hace fermentar la materia orgánica en ausencia de aire. Conforme el proceso se va desarrollando se generan gases combustibles, como el metano. Una vez que ha terminado la digestión anaerobia, los lodos resultantes son riquísimos en nutrientes y pueden servir para abonar de manera totalmente natural a las tierras que se dedican al cultivo.

## ACTIVIDAD 1.4

Reflexiona sobre las siguientes preguntas y elabora una respuesta breve para cada una.

1. Dentro de tu hogar, ¿cuáles son los tipos de energía que más se utilizan?

---

---

2. En la región donde habitas, ¿existe destrucción de los recursos naturales para producir energía? En caso afirmativo, ¿consideras que es la única forma de obtener energía? ¿Qué alternativas sugerirías?

---

---

3. Investiga la razón por la cual el cambio de horario es de utilidad para el ahorro de energía y anota por lo menos dos de las explicaciones que hayas podido investigar. Comenta con tus compañeros.

---

---

## Cambio de la materia

### OBJETIVO

**Demostrar las modificaciones que sufre la materia y las condiciones en que éstas pueden ocurrir, a través del análisis comparativo entre un cambio físico, químico y nuclear.**



**E**l cambio constante es una situación permanente en todas las formas de vida y en la naturaleza misma. Desde que un organismo nace y hasta que muere, es sujeto de cambios continuos. Desde el punto de vista biológico y químico, la muerte no representa el fin de todo, sino el comienzo de un nuevo ciclo, en el que los componentes que otrora integraban a un organismo, son utilizados por los demás organismos y el ecosistema para seguirse renovando.

De manera esquemática, los cambios de cualquier objeto u organismo pueden clasificarse en tres tipos: cambio físico, cambio químico y cambio nuclear.

## **Cambio físico**

Cualquier cuerpo o sustancia puede sufrir cambios en su forma, en su tamaño, en su color, etc., sin que su naturaleza íntima se vea afectada. Tal es el caso de una hoja de papel que puede ser extendida, arrugada, cortada y vuelta a pegar, sin que la estructura interna del papel cambie en lo absoluto. Otro ejemplo de cambio físico lo representan los cambios en los estados de agregación: una porción de hielo puede cambiar al estado líquido y éste, a su vez, puede pasar al estado gaseoso sin que la estructura íntima del agua se vea afectada. Puede invertirse el proceso, y sin embargo, mantener la consistencia del vital líquido.

El cambio físico también puede observarse en el cambio de posición de los cuerpos, en la agregación o desagregación de masa, en la preparación de suspensiones, coloides y disoluciones, etcétera.

## **Cambio químico**

Otro tipo de cambio en el que sí se afecta la estructura íntima de la sustancia es el cambio químico. Es notable observar cómo un metal blando, brillante y tremendamente reactivo se combina con un gas de color amarillo-verdoso, de olor irritante y sofocante para dar origen a una sustancia de características totalmente diferentes a las que ellos poseían: el cloruro de sodio.

Todas las reacciones químicas son ejemplos de cambios químicos. Básicamente, una reacción química se puede esquematizar como el proceso en el cual se da el rompimiento de unos enlaces químicos para dar lugar a la formación de otros. Las sustancias originales se parecen poco o casi nada a las propiedades de los compuestos obtenidos.

Los químicos han aprovechado esta circunstancia para generar miles y miles de nuevos productos cuyas propiedades se utilizan para facilitar la vida humana, aunque en ocasiones también hayan sido utilizados para todo lo contrario, como en el caso de la guerra y el terrorismo.



**Tabla 3 Cambios físicos o químicos**

| Proceso que tiene lugar        | Tipo de cambio | Observaciones a compañeros  |
|--------------------------------|----------------|---|
| Oxidación del hierro           | Químico        | El metal brillante y lustroso se transforma en óxido café rojizo.                               |
| Ebullición del agua            | Físico         | El líquido se transforma en vapor.  |
| Ignición del azufre en el aire | Químico        | El azufre, sólido y amarillo, se en el aire transforma en dióxido de azufre, gas sofocante.     |
| Cocción de un huevo            | Químico        | La clara y yema líquidas se transforman en sólidos.   |
| Combustión de gasolina         | Químico        | La gasolina líquida se quema y produce monóxido de carbono, dióxido de carbono y agua gaseosos. |
| Digestión de alimentos         | Químico        | Los alimentos se transforman en nutrientes líquidos y parcialmente en desechos sólidos.         |
| Aserrado de madera             | Físico         | De un pedazo grande de madera, quedan partículas más pequeñas de madera y aserrín.              |
| Combustión de madera           | Químico        | La madera se reduce a cenizas, dióxido de carbono y agua gaseosos.                              |
| Calentamiento del vidrio       | Físico         | El sólido se flexibiliza durante el calentamiento, y así se puede moldear la forma del vidrio.  |

## Cambio nuclear

Puede darse el caso y, de hecho son numerosos los ejemplos, de átomos del mismo elemento químico con un diferente número de masa. A tales "variedades" del mismo átomo se les conoce con el nombre de **isótopos**. Casi la totalidad de los elementos químicos conocidos y aceptados tienen isótopos. La mayoría son estables, lo cual equivale a decir que permanecen inalterados durante el transcurrir del tiempo; sin embargo, existen otros elementos que presentan isótopos radiactivos. Los elementos químicos que en su estado natural tienen números atómicos superiores a 83 son radiactivos. Esos elementos decaen lentamente hasta que desaparecen de la Tierra.

Los científicos han logrado producir otros isótopos radiactivos de manera artificial, bombardeándolos con fotones de alta energía o como subproducto de reacciones nucleares. Sin embargo, al igual que sucede con los naturalmente radiactivos, van decayendo hasta desaparecer.

Los isótopos radiactivos están sujetos a un cambio en su núcleo atómico porque de él se desprenden partículas alfa ( $\alpha$ ), partículas beta ( $\beta$ ) y rayos gama ( $\gamma$ ).

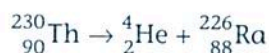
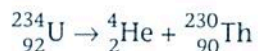
Las partículas alfa son similares al núcleo del átomo de helio, es decir, están constituidas por dos protones y dos neutrones. Tienen una carga de +2 y una masa aproximadamente igual a 4 uma (unidades de masa atómica). Las partículas beta pueden ser de dos tipos: partículas



beta positivas ( $\beta^+$ ) o partículas beta negativas ( $\beta^-$ ). A las partículas beta positivas se les denomina *positrones*, porque tienen exactamente la misma masa de un electrón, pero carga positiva. La masa de las partículas beta es tremendamente pequeña en relación con la masa de las partículas alfa. Baste decir que la proporción aproximada sería de 1:20 000.

Los rayos gama son ondas electromagnéticas similares al calor y a la luz, pero con un altísimo poder de penetración.

El cambio nuclear, como su nombre lo indica y lo hemos estado comentando, afecta al núcleo de los elementos radiactivos. La emisión espontánea de partículas alfa provoca que un átomo de uranio-234 ( $^{234}\text{U}$ ) se transforme en torio-230 ( $^{230}\text{Th}$ ), éste a su vez en radio-226 ( $^{226}\text{Ra}$ ) y así sucesivamente.



El cambio nuclear ha tenido aplicaciones tanto para la paz y el bienestar como para la guerra y la destrucción. Todos esperamos que esta maravillosa fuente de energía que representa el cambio nuclear sea universalmente reconocida como una herramienta para el progreso de la historia humana y no para su extinción.

## ACTIVIDAD 1.5

1. Relaciona el fenómeno con el tipo de cambio que le corresponde:

| Fenómeno  | Tipo de cambio      |
|---|---------------------|
| a) El hielo se funde  | I. Cambio físico    |
| b) Un clavo se oxida  |                     |
| c) La leche hierve  |                     |
| d) El agua hierve y se convierte en vapor   |                     |
| e) La combustión de un cerillo  | II. Cambio químico  |
| f) Se funde un trozo de vidrio  |                     |
| g) Un alimento se descompone  | III. Cambio nuclear |
| h) Un elemento emite dos partículas alfa  |                     |
| i) La explosión de una carga de dinamita  |                     |
| j) Una muestra de $^{234}\text{U}$ se ha reducido a la mitad de manera espontánea |                     |



## Antimateria y motores estelares

Aunque la cantidad de energía producida por una reacción de fusión es inmensa, todavía disponemos de una fuente energética más poderosa: la aniquilación materia-antimateria. Este sistema que permitiría la producción de 20.000 billones de julios por kilogramo de combustible, sería el óptimo desde un punto de vista energético para la propulsión de una nave espacial. Utilizando la aniquilación de protones y antiprotones, se generan como subproducto de la reacción piones que son susceptibles de ser manejados mediante campos magnéticos para producir impulso. Estos piones, además, se mueven prácticamente a la velocidad de la luz, por lo que la velocidad final de estas naves es también altísima.

Sin embargo, este sistema, como siempre, tiene sus propios problemas. El más importante, sin duda, el confinamiento de la antimateria. Teniendo en cuenta que el simple contacto con la materia normal produce la aniquilación de la misma en un fogonazo de radiación y energía, parece evidente que toda precaución es poca en este sentido. Otro problema asociado es la protección de la tripulación frente a las radiaciones derivadas del proceso de aniquilación. Por último, resulta bastante complicado producir antimateria con los medios de los que disponemos hoy en día.

Estos inconvenientes no han desalentado a los escritores de ciencia ficción. En *El mundo al final del tiempo*, de Pohl, aparece un velero solar complementado con un reactor de antimateria alimentado por barras de antihierro almacenadas en un confinamiento magnético. La vela solar se utiliza para salir del sistema de origen y frenar en el de destino, mientras que la antimateria se utiliza como propulsor intermedio. Este exótico combustible se genera a partir de materia normal mediante unos conversores basados en energía solar extraordinariamente eficientes, lo que convierten a esta nave en uno de los mejores ejemplos de aprovechamiento energéticos del género.

Haldeman también utiliza varios modelos de nave de antimateria en *Tricentenario*. En esta novela corta, el autor plantea la existencia de un compañero oscuro del Sol, formado por antimateria. Con esta fuente de antimateria, recogida y confinada también mediante campos magnéticos, la humanidad construye su primera nave interestelar. Primero una sonda en la que se introduce una pequeñísima cantidad de antimateria en un depósito de agua, dejando que la energía derivada de la aniquilación la evapore y produzca impulso y, posteriormente, con un sistema más eficiente que incluye un espejo de rayos gamma que permite tanto proteger a la tripulación de los peores efectos de la aniquilación, como generar una fuente de impulso eficiente para la nave.



Por último, *Antihielo*, de Stephen Baxter, recurre también a una fuente natural de antimateria como propulsor de su nave. Esta espléndida ucronía (especulación histórica) está ambientada en una historia alternativa del siglo XIX, donde se ha descubierto la existencia de un meteorito formado por antihielo: una mezcla de superconductor de alta temperatura que, mediante la existencia de unos campos magnéticos inducidos, se mantienen confinadas pequeñas cantidades de antimateria. Jugando con las propiedades de este maravilloso material, se construye una nave espacial basada, como en el caso de Haldeman, en la evaporación de un propelente como el agua sometida a la enorme cantidad de energía desprendida por la aniquilación.

## **Estatocolectoras: sacando combustible del vacío**

Tanto las naves de fusión como las de antimateria alcanzan plenamente la categoría de naves interestelares. Su alta eficiencia de impulsión les permite ser amplias y confortables, con una capacidad de cargar enormes cantidades de equipos con misiones variadas. Sin embargo, nos encontramos en una situación semejante a la de las naves del vapor del siglo XIX, que eran capaces de recorrer toda la superficie del planeta en unos tiempos aceptables, siempre que dispusieran de bases donde carbonear en el trayecto.

En efecto, la mayor desventaja que presentan estas astronaves es su necesidad de cargar enormes cantidades de combustible como masa de reacción. Su capacidad de aceleración es un arma de doble filo, pues si bien les permite alcanzar velocidades altísimas, luego las penaliza con la necesidad de disminuir dichas velocidades en un proceso de deceleración que también consume combustible. Las misiones deben planificarse cuidadosamente, puesto que el tiempo de tránsito ya no depende de la velocidad máxima teórica sino de la cantidad de combustible que la nave pueda cargar. La relación masa-empuje determina que para alcanzar más velocidad hay que cargar más combustible, pero para acelerar ese combustible adicional hace falta más combustible y así sucesivamente. Hay dos soluciones posibles a este problema: el empleo de contenedores de reavituallamiento, como en el caso del viaje de la III Flota a la Esfera que aparece en *Hijos de la eternidad*, o bien hacer las naves capaces de reabastecerse en los planetas gaseosos, como en el caso de la "Leonov" en *2010*, de Clarke, donde asistíamos a una desesperada carrera espacial para apoderarse del agua de Europa, que la convertía de hecho en la mayor gasolinera del sistema solar.

Pero en un viaje interestelar no hay estaciones de servicio en las que repostar. Así que incluso la más sofisticada de las tecnologías de fusión o aniquilación materia-antimateria tiene un alcance máximo operati-



vo, que lamentablemente tampoco resulta excesivo. Sin embargo, existen una serie de estrategias que nos permiten ir más allá de ese círculo máximo de autonomía

Una forma de evitar el problema es creando el combustible que la nave consume a medida que la misma avanza. Éste es el principio en el que se basa el llamado ramjet o motor Bussard

Una estatocolectora se basa en que el llamado vacío interestelar no está, en realidad, tan vacío. En efecto, la densidad de materia en el espacio entre dos estrellas viene a ser, aproximadamente, de un átomo por metro cúbico, principalmente hidrógeno. El esquema presentado por Robert W. Bussard en 1960 proponía la utilización de ese hidrógeno como combustible y masa de reacción de una nave espacial. Para ello se utilizaría una draga magnética, capaz de recoger los átomos presentes en una vasta zona y conducirlos hasta el reactor de fusión que actúa como impulsor y fuente de energía del vehículo.

Este esquema de funcionamiento determina dos de las características de diseño más importantes del motor Bussard: una gran área de barrido frente a la nave, para acumular el mayor número posible de átomos y una velocidad mínima de funcionamiento que se cifra en torno al 1% de la velocidad de la luz. En efecto, cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la cantidad de materia capturada por la draga y mayor, por tanto, el aporte de combustible que ingresa en el motor: la densidad relativa del hidrógeno se incrementa hasta alcanzar un punto en el que la reacción nuclear es autosostenida. Es necesario por tanto un impulsor adicional que lleve la nave hasta esa velocidad, a partir de la cual estaremos en disposición de encender el motor interestelar propiamente dicho. El problema del frenado resulta bastante más peliagudo. En efecto, otra de las características a tener en cuenta en una estatocolectora es que su motor principal sólo funciona en la dirección de movimiento de la nave. Es decir, son naves que sólo poseen capacidad de aceleración, no de frenado, lo que ciertamente resulta inaceptable. La mejor solución pasa por la utilización de motores separados para la impulsión principal, el sistema de frenado y el sistema de guía.

El combustible básico de la estatocolectora es el hidrógeno interestelar que la nave recoge mediante un campo magnético. Debido a la baja densidad del medio, este campo debe cubrir un área inmensa, del orden de decenas de miles de kilómetros, y ser de considerable intensidad. Además, sólo una pequeña fracción del hidrógeno presente está en forma ionizada, la única susceptible de ser conducida por un campo magnético hasta la boca del colector.

Para resolver este problema, se han propuesto dos soluciones: El empleo de un láser de ionización, generando varios conos anidados de luz coherente por delante de la nave, o la utilización de campos magnéticos