

Las excavaciones iniciadas en 1934 en lo que se conoce como la Howe Quarry (Cantera Howe), en Wyoming, revelaron una extraordinaria concentración de fósiles de dinosaurios de edad Jurásica (figura 1). El depósito, que mide apenas unos 18 por 16 m, contenía 4000 huesos de por lo menos 20 grandes dinosaurios. Sin embargo, el aspecto más interesante de este hallazgo fueron las 12 patas preservadas en postura erecta, penetrando en los depósitos sedimentarios lodosos, indicadoras de que los dinosaurios se quedaron atascados en el fango y perecieron. Las partes de los animales que quedaron sobre la superficie se descompusieron y formaron un montón de huesos, mientras las patas se preservaron en la posición en la cual los animales fueron atrapados.

En 1981, en el noroeste de Montana, se descubrió un lecho de huesos de edad Cretácica conteniendo lo que se calcula son 10 000 dinosaurios de pico de pato. Al parecer, una gran manada fue alcanzada por la ceniza y los gases de un volcán cercano y sepultada posteriormente por la ceniza volcánica. Los dinosaurios variaban de tamaño, de los juveniles de 3.6 m a los adultos de 7.6 m de largo, lo que representó la edad predominante de la manada en el momento de su muerte.

Hace diez millones de años, en lo que es ahora el noreste de Nebraska, un extenso pastizal estaba habitado por rinocerontes acuáticos de patas cortas, camellos, caballos tridígitos, ciervos con dientes de sable, tortugas terrestres y muchos otros animales. Miles de estas criaturas murieron cuando

una gran nube de ceniza volcánica cubrió el área. Muchos de los animales sucumbieron durante la caída de cenizas inicial, pero sus restos yacen en la superficie y se descompusieron parcialmente antes de ser sepultados. En cambio, cientos de rinocerontes murieron más tarde, cuando la ceniza fue redistribuida probablemente por el viento y fueron sepultados con gran rapidez, como lo indica el gran número de esqueletos completos (figura 2).

A los científicos conocidos como paleontólogos, que estudian la historia de la vida revelada por los fósiles, no se les conceden oportunidades frecuentes de encontrar y recobrar tantos fósiles bien preservados como en estos ejemplos. Las calamidades antiguas ofrecen a los paleontólogos una vista única a lo que era la vida hace millones de años.

tos microscópicos de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) de plantas unicelulares, se aprovecha para la purificación de gas y para filtrar gran cantidad de fluidos como las melazas, los jugos de fruta, el agua y las aguas negras o cloacales. El líder mundial en producción de diatomita es Estados Unidos, principalmente de las minas de California, Oregon y Washington.

Históricamente, la mayor cantidad del carbón mineral extraído en minas de Estados Unidos ha sido el carbón bituminoso de los campos de la cuenca carbonífera de los Apalaches. Estos depósitos de carbón mineral se formaron en los pantanos costeros durante el periodo Pensilvaniano, entre 286 y 320 millones de años atrás. Enormes depósitos de lignito y de carbón mineral subbituminoso existen también en el oeste de Estados Unidos, y se están convirtiendo en recursos cada vez más importantes.

El carbón mineral antracita es un recurso especialmente deseable, porque arde de viva manera, con flama sin humo. Desafortunadamente, es el tipo menos usual de carbón mineral, ya que el carbón más usado para calentar edificios y para generar energía eléctrica es el bituminoso (figura 7.10). El carbón bituminoso se usa además para hacer *coque*, una sustancia gris, dura, compuesta de la ceniza fundida del carbón bituminoso; el coque se prepara calentando el carbón mineral y quitándole la materia volátil. El coque se usa para alimentar la combustión de los altos hornos en la producción del acero. Del carbón mineral bituminoso y del lignito se obtienen también petróleo sintético y gas, así como otros productos.

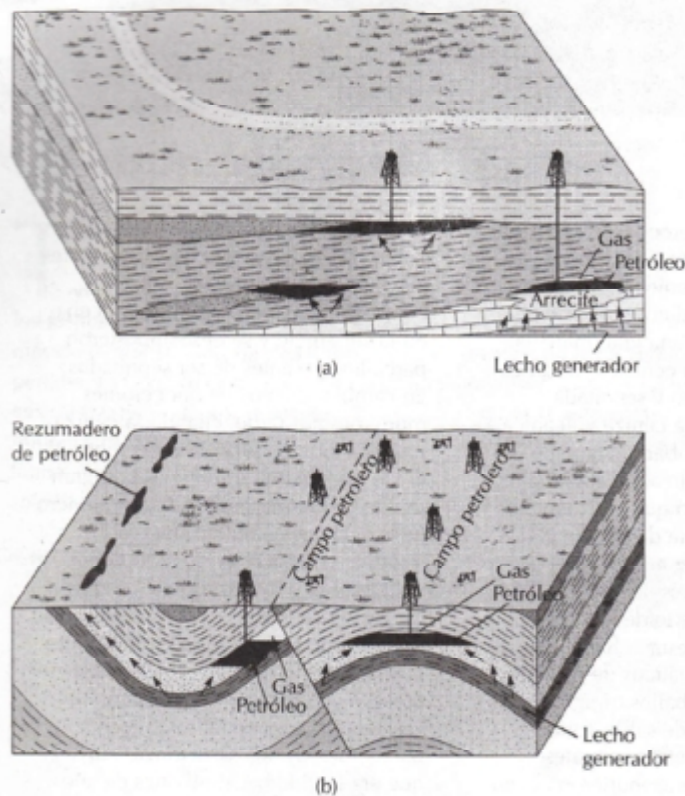
## PETRÓLEO Y GAS NATURAL

El petróleo y el gas natural son *hidrocarburos*, es decir, se componen de hidrógeno y carbón. Los hidrocarburos se

forman de los restos de organismos microscópicos existentes en los mares y en algunos grandes lagos. Cuando estos organismos mueren, sus restos se asientan en el piso marino o lacustre donde hay poco oxígeno para que se descompongan, y entonces quedan sepultados bajo capas de sedimento. A medida que aumenta la profundidad a la cual son enterrados, se calientan y se transforman en petróleo y gas natural. La roca en la que se formaron los hidrocarburos es la *roca generadora*.

Para que el petróleo y el gas natural se acumulen en cantidades económicas deben emigrar de la roca generadora a alguna especie de roca, conocida como la *roca almacenadora* (figura 7.17), en donde puedan quedar contenidos. Las rocas almacenadoras adecuadas tienen considerable espacio intersticial en el que pueden acumularse cantidades apreciables de hidrocarburos. Más aún, las rocas almacenadoras deben tener alta *permeabilidad*, o capacidad para transmitir fluidos; de otra forma, los hidrocarburos no pueden extraerse en cantidades razonables. Además, tiene que haber alguna especie de *roca sello* impermeable sobre la roca almacenadora para impedir la migración de los hidrocarburos hacia arriba (figura 7.17).

Muchos depósitos de hidrocarburos se encuentran en areniscas marinas en las cercanías de rocas generadoras de grano fino, ricas en materia orgánica. A esas trampas de petróleo y gas se las llama *trampas estratigráficas* porque deben su existencia a las variaciones en los estratos (figura 7.17a). Los arrecifes de coral antiguos son también buenas trampas estratigráficas. Es así que parte del petróleo de la región del golfo Pérsico está atrapada en arrecifes antiguos. Cuando las rocas se deforman por pliegues, fallas o ambas cosas, el resultado son las *trampas estructurales* (figura 7.17b).



**FIGURA 7.17** Trampas de petróleo y gas natural. Las flechas en ambos diagramas indican la migración de los hidrocarburos. En ambos ejemplos, la arenisca es la roca almacenadora, sobre la cual se extiende alguna clase de roca impermeable de grano fino. a) Dos ejemplos de trampas estratigráficas. b) Dos ejemplos de trampas estructurales, uno formado por falla y el otro por pliegue.

En la región de la Costa del Golfo, los hidrocarburos se encuentran generalmente en estructuras adyacentes a domos salinos. Una extensa capa de sal de roca se depositó en esta región durante el período Jurásico, al formarse el golfo de México ancestral cuando Norteamérica se separó de África del Norte. La sal de roca es una roca sedimentaria de baja densidad y cuando está enterrada bajo sedimentos más densos, como la arena y el limo, asciende hacia la superficie en forma de columnas conocidas como *domos salinos* (véase la figura 4.20). Al ascender la sal de roca, penetra en las capas de roca suprayacentes y las deforma, creando estructuras a lo largo de sus márgenes capaces de atrapar el petróleo y el gas.

Aunque hay grandes concentraciones de petróleo en muchas áreas, más de 50% de las reservas probadas totales están en la región del golfo Pérsico! Más aún, algunos de los campos petroleros son gigantes; de 20 de ellos, por lo menos, se espera que rindan más de 5 000 millones de barriles de petróleo cada uno y varios ya han sobrepasado esta cifra. Muchos países, incluido Estados Unidos, dependen marcadamente de las importaciones de petróleo del golfo Pérsico, dependencia que aumentará en el futuro.

Otras fuentes de petróleo que probablemente crecerán en importancia en el futuro comprenden a las *lutitas bituminosas* y las *areniscas alquitranosas*. Estados Unidos tiene cerca de dos tercios del total de lutitas bituminosas conocidas, aunque en Sudamérica hay también grandes depósitos y todos los continentes tienen alguna cantidad de lutita bituminosa. Los depósitos más ricos en Estados Unidos están en la Formación Green River de Colorado, Utah y Wyoming (véase el Prólogo).

La arenisca alquitranosa es un tipo de roca arenisca con los espacios intersticiales llenos de hidrocarburos viscosos, del tipo del asfalto. Esta sustancia es el residuo pegajoso de petróleo que alguna vez fue líquido y del cual se han perdido los constituyentes volátiles. Puede recuperarse petróleo líquido de la arenisca alquitranosa, pero para hacerlo es preciso extraer y procesar grandes cantidades de rocas. Como Estados Unidos tiene pocos depósitos de arenisca alquitranosa, no puede contemplar esta fuente como un futuro recurso energético importante. Sin embargo, uno de los mayores depósitos de este tipo lo constituyen las areniscas alquitranosas de Athabasca, en Alberta, Canadá. Estos yacimientos se están minando actualmente y se estima que contienen varios cientos de miles de millones de barriles de petróleo recuperable.

## URANIO

La mayor parte del uranio utilizado en los reactores nucleares en Norteamérica proviene de la compleja carnótit mineral, que contiene potasio, uranio y vanadio y se encuentra en algunas rocas sedimentarias. Algo de uranio se obtiene también de la *uraninita* ( $UO_2$ ), un óxido de uranio que se encuentra en las rocas graníticas y en vetas hidrotermales. La uraninita se oxida fácilmente y se disuelve en el agua subterránea; así, es transportada a cualquier parte y se reduce y precipita químicamente en presencia de materia orgánica.

Los minerales más ricos en uranio, en Estados Unidos, se encuentran esparcidos en el área de la Meseta de Colorado, en Colorado y partes adyacentes de Wyoming, Utah, Arizona

y Nuevo México. Estos minerales, consistentes en masas bastante puras e incrustaciones de carnotita, se asocian con restos vegetales en areniscas que se formaron en antiguos cauces fluviales. Aunque la mayoría de estos minerales se asocian con restos fragmentarios de plantas, algunos árboles petrificados contienen también grandes cantidades de uranio.

Asimismo, en Chatanooga Shale (Lutita de Chatanooga) hay grandes reservas de mineral de uranio de grado bajo. El uranio está finamente diseminado en esta roca negra, rica en contenido orgánico que se encuentra subyacente en grandes partes de varios estados estadounidenses, entre ellos Illinois, Indiana, Ohio, Kentucky y Tennessee. El mayor productor y exportador mundial de uranio es Canadá.

## FORMACIÓN DE HIERRO BANDEADO

La *formación de hierro bandeado* en una roca sedimentaria química es de gran importancia económica. Consta de finas capas alternadas de minerales de pedernal y hierro, principalmente de los óxidos de hierro hematita y magnetita (figura 7.18). Las formaciones de hierro bandeado se encuen-

tran en todos los continentes y dan cuenta de la mayor parte del mineral de hierro extraído en el mundo actual. Extensas formaciones de hierro bandeado se encuentran en la región del lago Superior, de Estados Unidos y Canadá, y en el Labrador, a través del este de Canadá.

El origen de las formaciones de hierro bandeado no se ha entendido del todo y no se sigue formando actualmente. El 92% del total de las formaciones de hierro bandeado se depositó en mar poco profundo durante el Eón Proterozoico, entre 2500 y 2000 millones de años atrás. El hierro es un elemento altamente reactivo que en presencia del oxígeno se combina para formar óxidos del tipo del orin, no fácilmente solubles al agua. Sin embargo, en el principio de la historia de la Tierra había poco oxígeno en la atmósfera y por esto se disolvió poco de este mineral en el agua del mar. No obstante, había hierro soluble reducido ( $Fe^{+2}$ ) y silice en el agua del mar.

La evidencia geológica indica la presencia de abundantes organismos que efectuaban la fotosíntesis hace 2500 millones de años. Estos organismos, como las bacterias, liberan oxígeno como subproducto de su respiración; de esta manera, emitieron oxígeno en el agua de mar y causaron la precipitación en gran escala de óxidos de hierro y silice en formaciones de hierro bandeado.

FIGURA 7.18 Afloramiento de formación de hierro bandeado en el norte de Michigan.



## Resumen del capítulo

1. El sedimento consiste en las partículas sólidas intemperizadas mecánicamente y en los minerales extraídos de la solución por procesos químicos inorgánicos y por la actividad de los organismos.
2. Las partículas sedimentarias se denominan, por orden de tamaño decreciente: grava, arena, limo y arcilla.
3. Las partículas sedimentarias se redondean y clasifican durante el transporte, aunque el grado de redondeo y clasificación depende del tamaño de la partícula, la distancia de transporte y los procesos de depositación.
4. Cualquier área donde el sedimento se deposita es un ambiente de depósito. Los escenarios de depositación importantes son continentales, mixtos y marinos, cada uno de los cuales comprende varios ambientes de depósito específicos.
5. La compactación y la cementación son los procesos de litificación por los cuales el sedimento se convierte en roca sedimentaria. La sílice y el carbonato de calcio son los cementos químicos más comunes, pero los cementos de óxido de hierro e hidróxido de hierro son importantes en algunas rocas.
6. Las rocas sedimentarias se clasifican, por lo general, como detríticas o químicas:
  - a. Las rocas sedimentarias detríticas se componen de partículas sólidas, como la arena o grava, derivadas de rocas preexistentes; comprenden al conglomerado, la brecha sedimentaria, la arenisca y las rocas formadas de lodo.
  - b. Las rocas sedimentarias químicas derivan de los iones en solución por procesos químicos inorgánicos o por actividad bioquímica de los organismos. Se reconoce una subcategoría llamada rocas sedimentarias bioquímicas.
7. Las rocas sedimentarias químicas conocidas como carbonatos contienen minerales con el ion de carbonato ( $\text{CO}_3$ )<sup>-2</sup>, como sucede con la caliza y la dolomía. Probablemente esta última se forma cuando el magnesio reemplaza parcialmente al calcio en la caliza.
8. Las rocas sedimentarias químicas conocidas como evaporitas incluyen a la sal de roca y a la anhidrita; se forman por procesos inorgánicos al ocurrir precipitación de minerales, por la evaporación del agua.
9. El carbón mineral es un tipo de roca sedimentaria bioquímica compuesta de los restos alterados de plantas terrestres.
10. Las estructuras sedimentarias, como la estratificación, la estratificación cruzada y las rizaduras suelen formarse en los sedimentos en el momento o poco después de que se depositan. Estas características preservadas en las rocas sedimentarias ayudan a los geólogos a determinar las antiguas direcciones de las corrientes y los ambientes de depósito.
11. Los sedimentos y las rocas sedimentarias son los materiales huéspedes de la mayoría de los fósiles. Los fósiles proporcionan el único registro de la vida prehistórica y son útiles para la correlación y las interpretaciones ambientales.
12. Los ambientes de depósito de las rocas sedimentarias antiguas se determinan estudiando las texturas y estructuras sedimentarias, examinando fósiles y haciendo comparaciones con los sedimentos del presente depositados por procesos conocidos.
13. Muchos sedimentos y rocas sedimentarias, entre ellos la arena, la grava, las evaporitas, el carbón mineral y las formaciones de hierro bandeado son recursos naturales importantes. La mayor parte del petróleo y el gas natural se encuentra en rocas sedimentarias.

## Términos importantes

ambiente de depósito  
cementación  
clasificación  
compactación  
estratificación cruzada  
estratificación gradada  
estratos  
estructura sedimentaria

evaporita  
fósil  
grieta de desecación  
litificación  
lecho  
plano de estratificación  
redondeamiento  
rizadura

roca carbonatada  
roca sedimentaria  
roca sedimentaria bioquímica  
roca sedimentaria detrítica  
roca sedimentaria química  
sedimento

## Preguntas de repaso

- Una acumulación de arena y grava con partículas de tamaños marcadamente diferentes se caracteriza como:
  - completamente desgastada;
  - mal clasificada;
  - bien redondeada;
  - de estratificación cruzada;
  - intemperizada químicamente.
- La cementación es un proceso durante el cual:
  - materia mineral disuelta se precipita en los espacios intersticiales y pega el sedimento;
  - la caliza se convierte en dolomía por la adición de magnesio;
  - las capas de sedimento se depositan en una superficie en declive, registrando así la dirección de una paleocorriente;
  - partículas de tamaño de arcilla se asientan y acumulan como capas horizontales;
  - el agua de mar se evapora y las sustancias disueltas se precipitan y forman minerales.
- A la acumulación de minerales por densidad, como en un cauce fluvial, se le conoce como:
  - roca sedimentaria bioquímica;
  - rizadura;
  - estructura sedimentaria;
  - ambiente de depósito;
  - depósito de placer.
- ¿Cuál de las siguientes es una roca carbonatada?
  - yeso;
  - dolomía;
  - lutita;
  - conglomerado;
  - pedernal.
- Aunque el flujo que disminuye rápidamente en una corriente fluvial puede dar lugar a una estratificación gradada, ésta se forma principalmente por la depositación de:
  - corrientes de turbiedad;
  - evaporación del agua de mar;
  - alteración química de la caliza;
  - arena arrastrada por el viento;
  - asentamiento del lodo en lagos.
- La mayoría de las calizas tienen un gran componente de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), que fue extraído del agua marina por:
  - litificación;
  - intemperismo químico;
  - evaporación;
  - reacciones químicas inorgánicas;
  - organismos.
- La roca sedimentaria química pedernal se compone de:
  - limo y arcilla;
  - granos de arena bien clasificados y bien redondeados;
  - cristales microscópicos de cuarzo;
  - grava;
  - sulfato de calcio.
- ¿Cuál de los siguientes es un fósil índice?
  - concha de almeja;
  - colmillo de mamut lanudo;
  - huesos de mamífero;
  - huella de dinosaurio;
  - esqueleto de ave.
- Las trampas del petróleo y el gas natural que resultan del plegamiento o falla de las capas de roca son trampas:
  - de roca sello;
  - estructurales;
  - de domo salino;
  - estratigráficas;
  - de depósito.
- El mineral más común en la arenisca es:
  - la muscovita;
  - la calcita;
  - el yeso;
  - la dolomita;
  - el cuarzo.
- ¿Qué es la estratificación gradada y cómo se forma?
- Describa cómo se forma un depósito de placer. Dé algunos ejemplos de recursos valiosos que podrían encontrarse en los depósitos de placer.
- ¿Cómo se forman las rocas evaporíticas? ¿Cuáles son las dos evaporitas más comunes y cuáles son sus composiciones químicas?
- ¿Cuáles son las diferencias y semejanzas entre las rocas sedimentarias detríticas y las rocas sedimentarias químicas?
- Describa el proceso por el que ocurre la litificación de sedimento detrítico como el lodo y la arena.
- ¿En qué difieren los fósiles corporales de los fósiles índice? ¿En qué son útiles los fósiles para determinar el ambiente de depósito?
- Dé una breve explicación de cómo se forma el carbón mineral.
- Nombre tres estructuras sedimentarias y explique cómo se originan.
- Describa las condiciones en las que el petróleo y el gas natural pueden quedar atrapados.
- ¿Cuáles son las dos rocas de carbonato más comunes? ¿Cómo se forman?

## Puntos a ponderar

- Como geólogo de campo, usted encuentra capas de roca que constan de arenisca bien redondeada y bien clasificada, con estratos cruzados de 10 m de alto y huellas de pisadas de reptil. Encima de estas capas hay una capa de carbón mineral y areniscas con rizaduras de corriente con fósiles de plantas terrestres y,

finalmente, una capa superior de caliza con almejas y lirios marinos fósiles. ¿Qué puede usted inferir acerca de los ambientes de depósito y de cómo cambiaron a través del tiempo?

- Se considera que la corteza de la Tierra contiene 51% de feldespatos, 24% de silicatos ferromagnesianos

(biotita, piroxenos, anfíboles), 12% de cuarzo y 13% de otros minerales. Considerando estas proporciones, ¿cómo puede explicar el hecho de que el cuarzo sea, con mucho, el mineral más común en las areniscas?