

Asbesto

El asbesto (voz procedente del latín, que significa "inextinguible") es un término general aplicado a cualquier mineral de silicato que se separa fácilmente en fibras flexibles (figura 1).

La combinación de cualidades como la incombustibilidad y la flexibilidad hace del asbesto un importante material industrial de considerable valor. En realidad, el asbesto tiene más de 3000 usos conocidos, incluidos los forros de frenos, los textiles a prueba de fuego y los aislantes de calor.

El asbesto puede dividirse en dos grandes grupos, el de serpentina y el anfíbol. El *crisotilo*, que es un silicato de magnesio hidratado con la fórmula química $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$, es la forma fibrosa del asbesto serpentina; es el tipo más valioso y constituye el grueso de todos los asbestos comerciales. Las fibras fuertes y sedosas del crisotilo se hilan fácilmente y pueden soportar temperaturas hasta de 2750 °C.

La mayor parte del asbesto crisotilo se presenta en la serpentina, un tipo de roca formado por la transformación de rocas ígneas ultramáficas, como la peridotita, en condiciones metamórficas de grados medio y bajo. Se cree que la serpentina se forma por la transformación del olivino por fluidos residuales calientes, químicamente activos, emanados de un magma que se enfría. El asbesto crisotilo forma vetillas de fibra dentro de la serpentina y puede comprender hasta 20% de la roca.

Se conocen por lo menos cinco variedades del asbesto anfíbol, pero

la *crocidolita*, un anfíbol de sodio-hierro con la fórmula química $Na_2(Fe^{+3})_2(Fe^{+2})_3Si_8O_{22}(OH)_2$, es la más común. La crocidolita, conocida también como asbesto azul, es una fibra hilable larga y áspera, más fuerte, pero más quebradiza que el crisotilo y también menos resistente que éste al calor.

Las otras variedades de asbestos anfíboles tienen menos usos y su principal empleo es para aislamiento.

La crocidolita se encuentra en rocas metamórficas como las pizarras y los esquistos; se cree que se forma por la alteración de estado sólido de otros minerales dentro del ambiente de temperatura y presión altas resultantes del sepultamiento profundo.

A pesar de su amplia utilización, la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA, Environmental Protection Agency) ha instituido una prohibición gradual sobre todos los productos nuevos de asbesto, porque algunas formas de asbesto pueden causar cáncer y otras lesiones pulmonares si se inhalan sus fibras. Toda vez que la EPA, al parecer, prestó poca atención al problema de riesgo contra beneficio cuando logró la aprobación de esta ley, la Corte de Apelaciones del Quinto Circuito de Estados Unidos echó abajo la prohibición de la EPA contra el asbesto en 1991.

La amenaza del cáncer pulmonar ha dado pie también a una legislación que obliga a la eliminación del asbesto que ya estuviera instalado en

todos los edificios públicos, incluidas las escuelas públicas y privadas. Sin embargo, recientemente se han suscitado importantes controversias sobre la amenaza planteada por el asbesto y los peligros potenciales adicionales que pueden surgir de su eliminación en forma inadecuada.

La política actual (1993) de la EPA ordena que todas las formas de asbesto se traten como riesgos idénticos. No obstante, los estudios indican que sólo las formas de anfíbol constituyen peligros conocidos para la salud. El crisotilo, cuyas fibras tienden a formar rizos, no se aloja en los pulmones. Más aún, sus fibras son generalmente solubles y desaparecen en el tejido. En cambio, la crocidolita tiene fibras largas, rectas y delgadas que penetran en los pulmones y se quedan allí. Estas fibras irritan el tejido pulmonar y, al cabo de un largo tiempo, pueden conducir al cáncer de pulmón. De tal suerte, la crocidolita, y no el crisotilo, es la abrumadoramente responsable del cáncer pulmonar relacionado con el asbesto. En virtud de que alrededor del 95% del asbesto ya colocado en Estados Unidos es crisotilo, mucha gente se está preguntando si los peligros que entraña el asbesto no se han exagerado un tanto.

Quitar el asbesto de los edificios donde ya está colocado podría costar hasta 100 000 millones de dólares y algunos estudios recientes han indicado que el aire de los edificios que contiene asbesto tiene esencialmente la misma cantidad de fibras de asbesto acarreadas por el viento que el aire extramuros. De hecho, mientras el material que contiene el asbesto no sea tocado, no desprende fibras, pero la eliminación en forma inadecuada del asbesto puede producir contaminación. En la mayoría de los casos de eliminación en forma inadecuada, la concentración de las fibras de asbesto acarreadas por el aire es mucho más alta que si este material se hubiera dejado intacto.

El problema de la contaminación por el asbesto es un buen ejemplo de cómo la geología afecta a nuestras vidas y de por qué es importante un conocimiento básico de la ciencia.

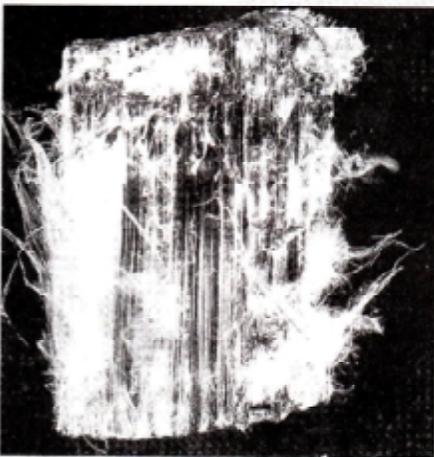


Figura 1 Especimen de mano de crisotilo de Thetford, Quebec, Canadá. El crisotilo es la forma fibrosa del asbesto en la serpentina.

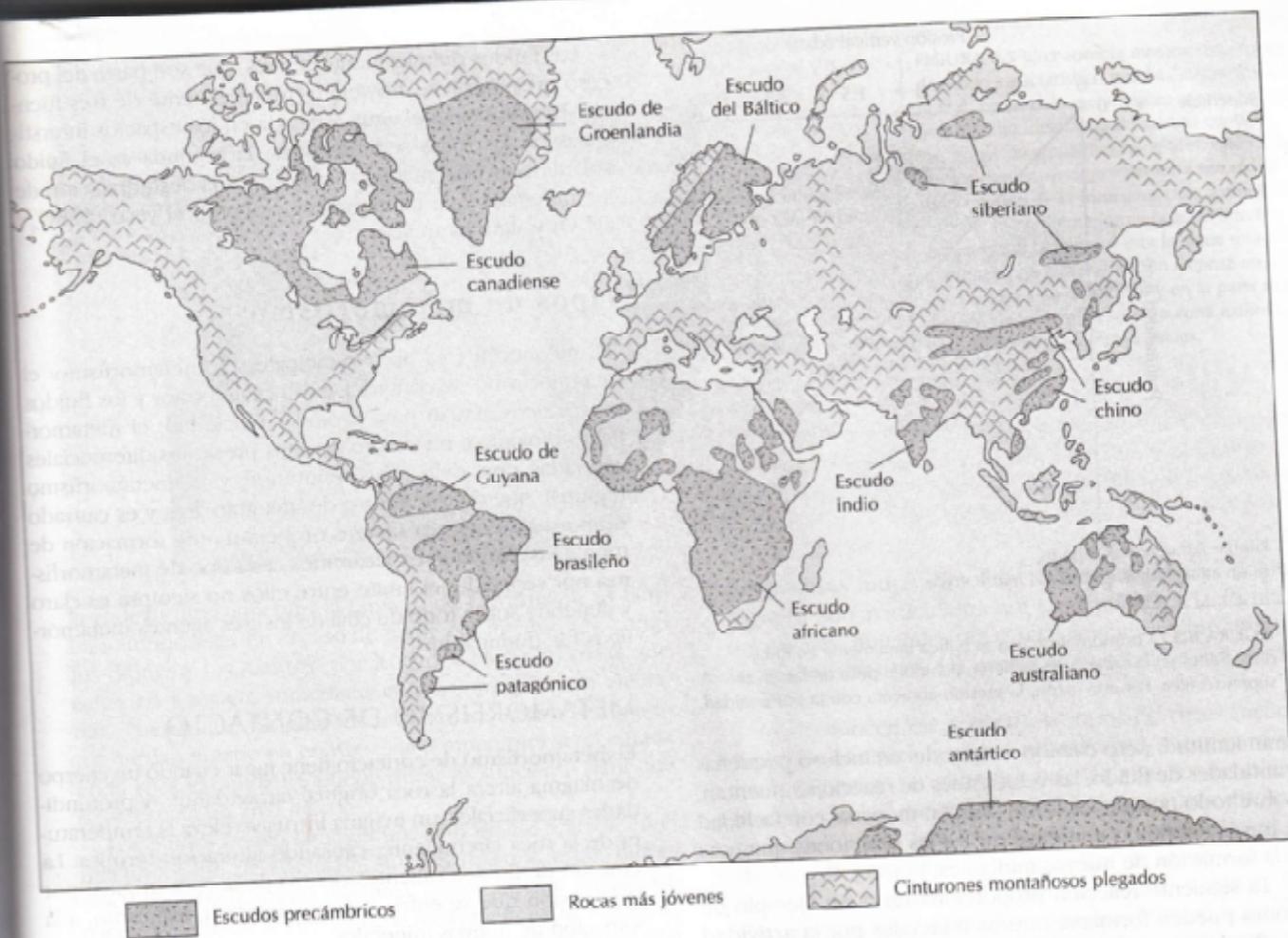


FIGURA 8.2 Escudos del mundo. Los escudos son la porción expuesta de las rocas del basamento cristalino, subyacentes en cada continente; estas áreas han sido muy estables en los últimos 600 millones de años.

CALOR

El calor es un importante agente del metamorfismo, porque aumenta la velocidad de las reacciones químicas capaces de producir minerales diferentes de los de la roca original; puede provenir de magmas intrusivos o resultar del sepultamiento profundo en la corteza, como ocurre durante la subducción a lo largo de un límite de placas convergente.

Cuando penetran cuerpos de magma en las rocas, éstas se ven sometidas a intenso calor que afecta a la roca circundante; el calentamiento más intenso suele producirse en la zona adyacente al cuerpo de magma y disminuye gradualmente con la distancia de la intrusión. La zona de rocas metamorfoseadas que se forma en la roca madre adyacente a un cuerpo ígneo intrusivo suele ser bastante distinguible y fácil de reconocer.

PRESIÓN

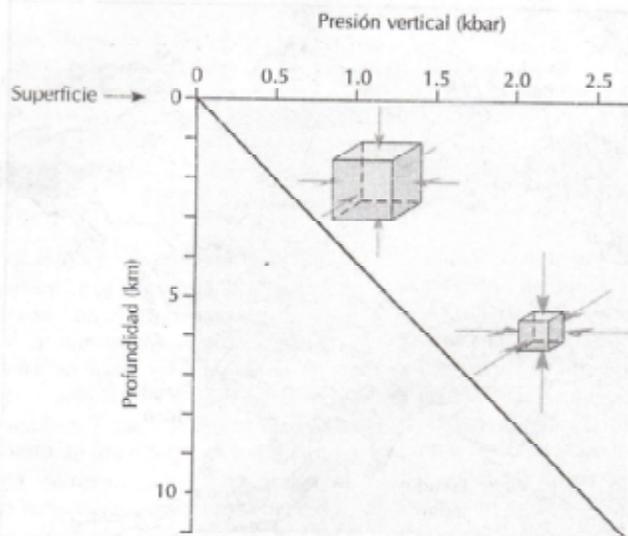
Cuando las rocas se entierran se someten a una presión litostática cada vez mayor; esta presión, que resulta del peso de las rocas suprayacentes, se aplica igualmente en todas direcciones (figura 8.3). A medida que las rocas se

someten a creciente presión con la profundidad, los granos minerales dentro de una roca pueden compactarse más estrechamente. En estas condiciones, es imposible que los minerales se *recristalicen*; esto es, puedan formar minerales más pequeños y más densos.

Junto con la presión litostática resultante del sepultamiento, las rocas pueden experimentar también **diferencias de presión** (figura 8.4). En este caso, las presiones no son iguales en todos lados y la roca se distorsiona consecuentemente. De manera típica, se producen presiones diferenciadas durante la deformación asociada con la formación de montañas y pueden generar tanto texturas como características metamorfoseadas definidas.

ACTIVIDAD DE FLUIDOS

En casi cada región de metamorfismo, el agua y el dióxido de carbono (CO_2) están presentes en cantidades variables a lo largo de los límites del grano mineral o en los espacios intersticiales de las rocas. Estos fluidos, que pueden contener iones en solución, realzan el metamorfismo aumentando la velocidad de las reacciones químicas. En condiciones secas, la mayoría de los minerales reaccionan con



1 kilobar (kbar) = 1 000 bares
 Presión atmosférica al nivel del mar = 1 bar

FIGURA 8.3 La presión litostática se aplica igualmente en todas direcciones en la corteza de la Tierra, debido al peso de las rocas suprayacentes. Por esta razón, la presión aumenta con la profundidad.

gran lentitud, pero cuando se introducen incluso pequeñas cantidades de fluido, las velocidades de reacción aumentan, sobre todo porque los iones pueden moverse con facilidad a través del fluido e intensificar así las reacciones químicas y la formación de nuevos minerales.

La siguiente reacción proporciona un buen ejemplo de cómo pueden formarse nuevos minerales por la actividad de fluidos. En este caso, el agua marina, pasando a través de la roca basáltica caliente de la corteza oceánica, transforma el olivino en la serpentina mineral metamórfica:

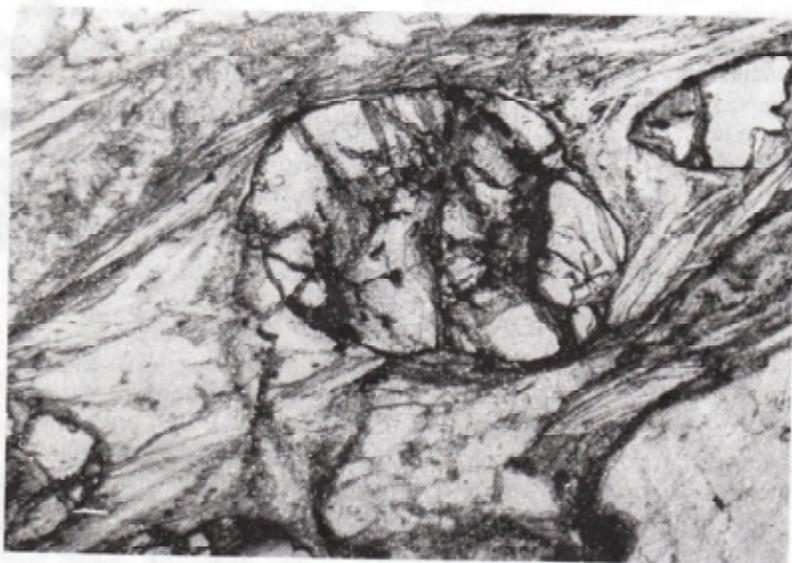
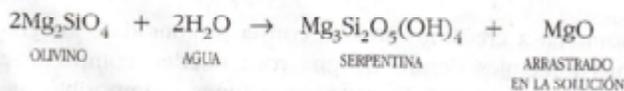


FIGURA 8.4 La presión diferencial es presión aplicada de manera desigual a un objeto. Los granates rotados son un buen ejemplo de los efectos de la presión diferencial aplicada a una roca durante el metamorfismo. Estos granates rotados provienen de una lutita del noreste de Cerdeña. (Foto cortesía de Eric Johnson.)

Los fluidos químicamente activos, que son parte del proceso metamórfico, provienen principalmente de tres fuentes. La primera es el agua atrapada en los espacios intersticiales de las rocas sedimentarias; la segunda es el fluido volátil dentro del magma; la tercera es la deshidratación de los minerales que contienen agua, como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y algunas arcillas.

Tipos de metamorfismo

Se reconocen tres tipos principales de metamorfismo: el metamorfismo de contacto, en el cual el calor y los fluidos magmáticos actúan para producir el cambio; el metamorfismo dinámico, resultante de altas presiones diferenciales asociadas con deformación intensa; y el metamorfismo regional, que ocurre dentro de una gran área y es causado primordialmente por fuerzas orogénicas (de formación de montañas). Aunque explicaremos cada tipo de metamorfismo por separado, el límite entre ellos no siempre es claro y depende sobre todo de cuál de los tres agentes metamórficos fue dominante.

METAMORFISMO DE CONTACTO

El metamorfismo de contacto tiene lugar cuando un cuerpo de magma altera la roca original circundante. A profundidades superficiales, un magma intrusivo eleva la temperatura de la roca circundante, causando alteración térmica. La emisión de fluidos calientes dentro de la roca original por la intrusión que se enfría puede contribuir, asimismo, a la formación de nuevos minerales.

La temperatura inicial y el tamaño de la intrusión, así como el contenido de fluido del magma y/o de la roca original son factores importantes en el metamorfismo de contacto. La temperatura inicial de una intrusión es controlada en parte por su composición; los magmas máficos son más calientes que los magmas félsicos (véase el capítulo 4) y, por ende, tienen mayor efecto térmico sobre las rocas que