

CAPÍTULO

Metamorfismo y rocas

Esquema

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

LOS AGENTES DEL METAMORFISMO

PERSPECTIVA 8.1: Asbestos

Calor

Presión

Actividad de fluidos

TIPOS DE METAMORFISMO

Metamorfismo de contacto

Metamorfismo dinámico

Metamorfismo regional

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

METAMÓRFICAS

Rocas metamórficas foliadas

Rocas metamórficas no foliadas

ZONAS METAMÓRFICAS

METAMORFISMO Y LA TECTÓNICA

DE PLACAS

METAMORFISMO Y RECURSOS NATURALES

RESUMEN DEL CAPÍTULO



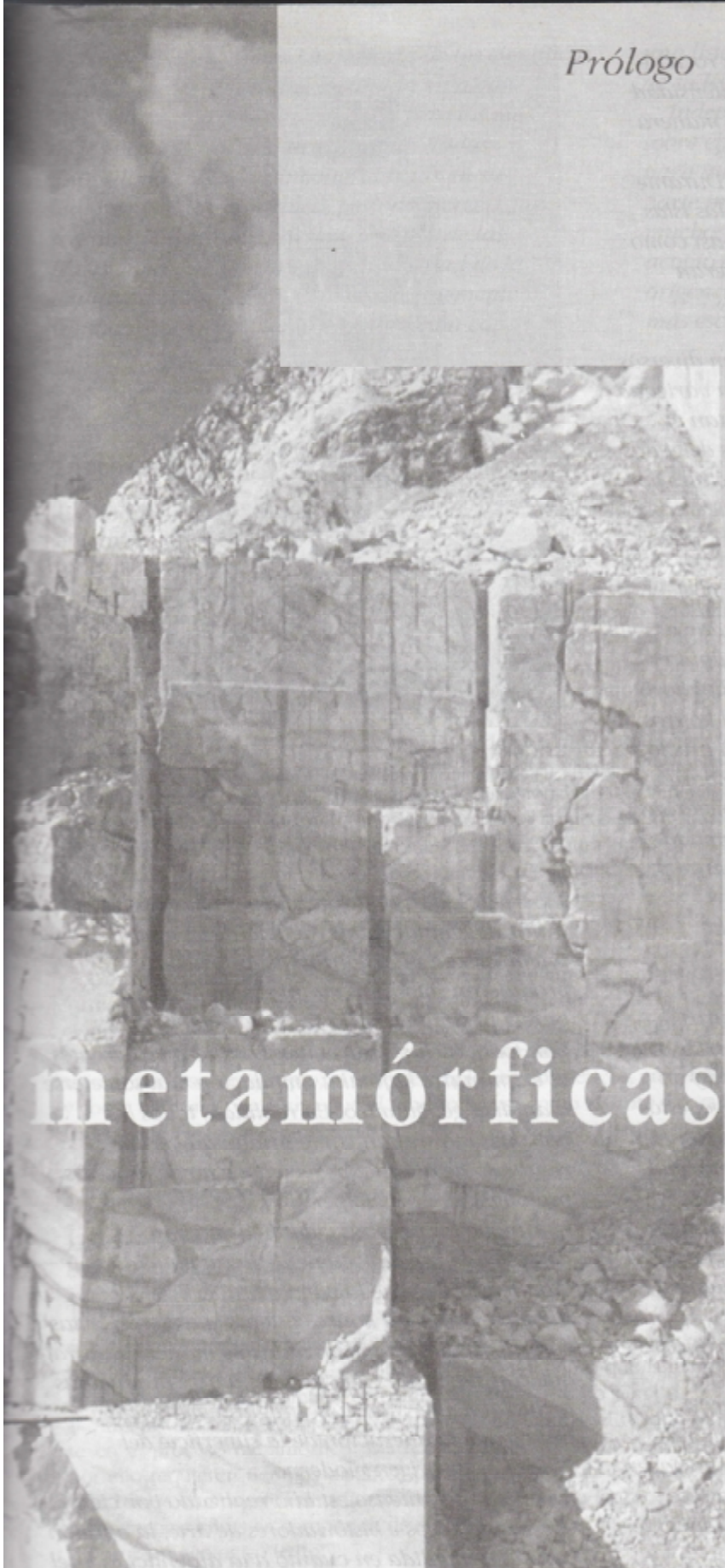
Cantera de pizarra en Gales. La pizarra es resultado del metamorfismo de bajo grado de la lutita bituminosa y tiene diversos usos. Estas pizarras de alta calidad se formaron por un acontecimiento orogénico (de formación de montañas) que ocurrió aproximadamente de 400 a 440 millones de años atrás en los actuales países de Islandia, Escocia, Gales y Noruega.

Prólogo

La homogeneidad, suavidad y texturas diversas del mármol, una roca metamórfica formada de la caliza o de la dolomía, lo han convertido en la roca favorita de los escultores a través de la historia. Como el valor de las esculturas de mármol auténticas ha aumentado a través de los años, el número de falsificaciones ha crecido también. Con el precio de algunas esculturas de mármol rondando el nivel de los millones de dólares, los coleccionistas y los museos necesitan alguna forma de asegurar la autenticidad de la obra que están comprando. Aparte de las consideraciones monetarias, es importante que las falsificaciones no se conviertan en parte del legado histórico y artístico de la empresa humana.

Los expertos han confiado tradicionalmente en el estilo artístico y las características del intemperismo para determinar si una escultura de mármol es genuina o no. Como el mármol no es muy resistente al intemperismo, los falsificadores han recurrido a diversos métodos para producir la apariencia intemperizada de una obra antigua legítima. Sin embargo, con el uso de nuevas técnicas, los geólogos pueden distinguir ahora una superficie de mármol intemperizada de manera natural de una que ha sido alterada artificialmente.

Aunque los mármoles se generan cuando los agentes del metamorfismo (calor, presión y actividad de fluidos) se aplican a las rocas de carbonato, el tipo de mármol formado depende



metamórficas

en parte de la composición original de la roca de carbonato original, así como del tipo e intensidad del metamorfismo. Por consiguiente, una manera de autenticar una escultura de mármol es determinar el origen del propio mármol. Durante los periodos preclásico, griego y romano, las islas de Naxos, Tásos y Paros en el mar Egeo —así como la tierra firme griega, Turquía e Italia—, eran lugares donde había importantes canteras de mármol.

Para identificar el origen del mármol en diversas esculturas, los geólogos emplean una gran variedad de técnicas analíticas. Entre éstas se cuentan el análisis de ejemplares de mano y láminas delgadas del mármol, el examen de elementos indiciales por fluorescencia radiográfica, de búsqueda de carbón y oxígeno de proporción isotópica estable, y otras técnicas más sofisticadas.

El Museo J. Paul Getty de Malibú, California, utilizó algunas de estas técnicas para ayudar a autenticar un antiguo kouros (figura esculpida de un joven) griego que se supone fue realizado alrededor del año 530 a. C. (figura 8.1). El kouros fue ofrecido al museo Getty en 1984, en un precio divulgado de 7 millones de dólares. Sin embargo, algunas de sus características estilísticas hicieron que varios expertos cuestionaran su legitimidad. En consecuencia, el museo hizo que se llevara a cabo una serie de pruebas geoquímicas y mineralógicas para tratar de determinar la autenticidad del kouros.

Los análisis isotópicos de la superficie intemperizada y del interior nuevo del kouros confirmaron que el mármol procedía probablemente de las canteras del cabo Vathy en la isla de Tásos, en el mar Egeo. Sin embargo, estos resultados no demostraron la edad del kouros: aún podría ser una falsificación esculpida en mármol tomado de un lugar arqueológico de la isla.

El kouros fue realizado en mármol dolomítico y su superficie se cubrió de una compleja corteza delgada (0.01 a 0.05 mm de grosor), compuesta principalmente de whewellitita, un mineral monohidrato de oxalato de calcio. Para certificar que la corteza es resultado de un prolongado intemperismo y no de una imitación moderna se sometieron muestras de mármol dolomítico a varias técnicas de falsificación para tratar de hacer réplicas de la superficie del kouros. Los trozos se remojaron o hirvieron en diversas mezclas durante lapsos que abarcaron de horas a meses, y sus

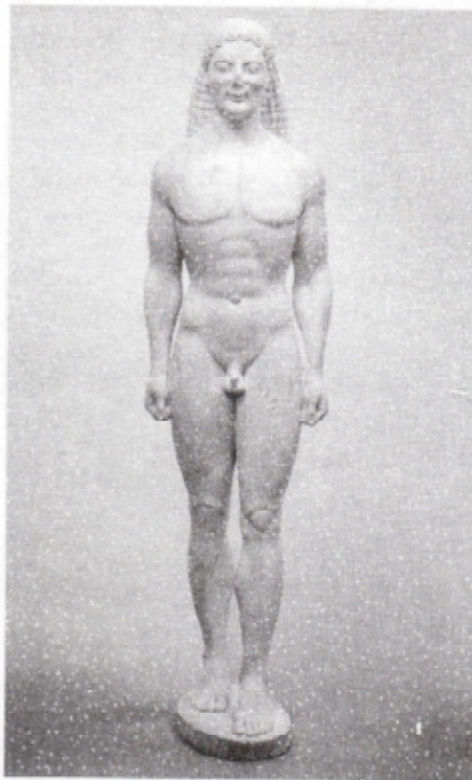


FIGURA 8.1 Este kouros griego, de 2.06 m de altura, es objeto de un estudio intensivo de autenticación por el Museo Getty. Luego de efectuarse varias pruebas geológicas se ha determinado que el kouros fue esculpido en mármol dolomítico, que procede probablemente de las canteras del cabo Vathy, en Tásos.

superficies se trabajaron una y otra vez para tratar de igualar la apariencia de la superficie intemperizada del kouros. Estas pruebas produjeron sólo unos cuantos ejemplos que parecían similares a la superficie del kouros. Con todo, incluso estas muestras fueron diferentes al examinarse bajo alta ampliación o al someterse a análisis geoquímico. En realidad, todos los patrones mostraban con claridad que eran resultado de alteración reciente y no de procesos prolongados de intemperismo.

Aunque las pruebas científicas no han demostrado inequívocamente la autenticidad, han dejado ver que la capa de superficie intemperizada del kouros ostenta más semejanzas con superficies intemperizadas de manera natural que con superficies que se sabe fueron producidas artificialmente. Más aún, ninguna evidencia indicó que la alteración de la superficie del kouros es de origen moderno.

A pesar del intenso estudio realizado por científicos, arqueólogos e historiadores de arte, la opinión continúa dividida en cuanto a la autenticidad del

kouros del museo Getty. La mayoría de los científicos aceptan que la figura fue esculpida en algún lapso alrededor del año 530 a. C., pero los más de los historiadores de arte abrigan dudas. Estos últimos señalan incongruencias en su estilo de escultura para ese periodo y creen que sea una imitación moderna. A causa de las persistentes dudas sobre la autenticidad de la estatua, el J. Paul Getty Center, recientemente inaugurado, lo ha puesto en exhibición con

una lista de las pruebas en pro y en contra de su legitimidad.

Independientemente de la conclusión definitiva sobre el kouros del Getty, las pruebas geológicas para autenticar esculturas de mármol son ahora parte importante de las funciones curadoras de muchos museos. Además, se está haciendo un gran acopio de datos acerca de las características y orígenes del mármol, a medida que se analizan más esculturas y canteras.

Introducción

Las rocas metamórficas (del griego *meta*, que significa "cambio" y *morfos*, "forma") constituyen el tercer grupo más importante de rocas. Resultan de la transformación de otras rocas por procesos metamórficos que suelen tener lugar bajo la superficie de la Tierra (véase la figura 1.12). Durante el metamorfismo, las rocas son sometidas a suficiente calor, presión y actividad de fluidos para cambiar su composición y/o textura minerales, con lo cual se convierten en rocas nuevas. Estas transformaciones tienen lugar en estado sólido y el tipo de roca metamórfica generado depende de la composición y textura originales de la roca original, de los agentes del metamorfismo, así como del tiempo que la roca original estuvo sometida a los efectos del proceso metamórfico.

Una gran porción de la corteza continental de la Tierra se compone de rocas metamórficas e ígneas. Juntas forman las rocas del basamento cristalino, que yacen bajo las rocas sedimentarias de una parte del continente. Esta roca basal se encuentra extensamente expuesta en regiones de los continentes conocidas como *escudos*, que han sido muy estables durante los últimos 600 millones de años (figura 8.2). Las rocas metamórficas constituyen también una porción considerable del núcleo cristalino de grandes cadenas montañosas. Algunas de las rocas más antiguas que se conocen, fechadas en 3960 millones de años del Escudo Canadiense son metamórficas, lo que indica que se formaron a partir de rocas todavía más antiguas.

¿Por qué es tan importante estudiar las rocas metamórficas? Para empezar, proveen información acerca de procesos geológicos que operan dentro de la Tierra y sobre su variación a través del tiempo. Las rocas metamórficas, como el mármol y la pizarra, se utilizan como materiales de construcción y ciertos minerales metamórficos son económicamente importantes. Por ejemplo, el talco se emplea en cosméticos, en la fabricación de pintura y como lubricante, mientras que el asbesto se usa como aislante y para la protección contra el fuego (véase la Perspectiva 8.1).

Los agentes del metamorfismo

Los tres agentes del metamorfismo son el calor, la presión y la actividad de fluidos. Durante el metamorfismo, la roca original sufre cambios para lograr el equilibrio con su nuevo ambiente. Los cambios pueden dar lugar a la formación de nuevos minerales y/o a una transformación en la textura de la roca por la reorientación de los minerales originales. En algunos casos, la modificación es menor y las características de la roca original pueden reconocerse todavía. En otros, la roca varía tanto que la identidad de la roca original sólo puede determinarse con gran dificultad y eso no siempre.

Además del calor, la presión y la actividad de fluidos, el tiempo también es importante en el proceso metamórfico. Las reacciones químicas proceden a ritmos diferentes y por ello requieren tiempos distintos para llevarse a cabo. Las reacciones que tienen que ver con los compuestos de silicato son particularmente lentas y, como la mayoría de las rocas metamórficas se componen de silicatos minerales, se cree que el metamorfismo es un proceso geológico lento.