

01

La investigación científica de nuestro planeta



El caos es un orden por descifrar.

José Saramago

1. Introducción a la geología
2. La investigación científica en geología



1.1 Introducción a la geología

¿Qué es la geología?



La **geología** es la ciencia que estudia la estructura, composición, origen y evolución de la Tierra. Este estudio se ha ampliado, en la actualidad, a otros cuerpos del sistema solar.

La geología estudia cuestiones interesantes, variadas y prácticas: ¿cómo se ha formado una montaña? ¿Dónde podemos encontrar agua en el subsuelo? ¿Qué sucederá si colocamos un vertedero en una vieja cantera? Éstas y muchas más cuestiones las estudia y explica la geología.

La Tierra es un planeta activo y habitado. La actividad del planeta o actividad geológica es tanto interna como externa, y sus manifestaciones son múltiples: sismicidad, volcanismo, deslizamientos de tierras, erosión, etcétera.

La vida se ha desarrollado en nuestro planeta, y ha evolucionado estrechamente ligada a sus condiciones físicoquímicas. La Figura 1.1 muestra las principales características del planeta Tierra.

Geología: del griego *geo*, 'tierra', y *logia*, 'tratado, estudio, ciencia'.
El término **Tierra** proviene de la raíz latina *terra* que significa 'tierra'.

CEO
En el **CD** y en la **CEO (centro de enseñanza on-line)** creados para este proyecto podrás encontrar el siguiente material adicional:
Enlaces, bibliografía, actividades interactivas (el tiempo en geología, nuevas tecnologías, identidad de la Tierra) y animaciones.

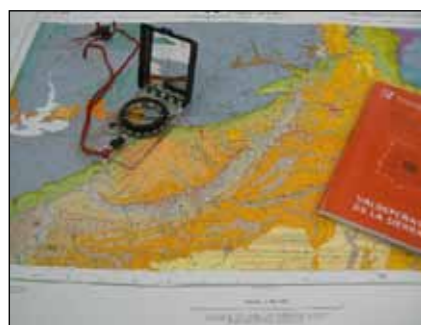


Fig. 1.2. Mapa geológico y brújula.

Nombre: TIERRA	Símbolo	
Edad: 4600 millones de años	⊕	
Localización: SISTEMA SOLAR Tercer planeta de tipo telúrico Recorre una órbita alrededor del Sol en 365, 25 días Distancia al Sol $1,5 \times 10^8$ km		
Forma: Esfera achatada por los polos Radio polar: 6354 km Radio ecuatorial: 6378 km Diámetro medio: 12742 km Circunferencia del Ecuador: 40075 km		
Superficie: 510000000 km^2 repartidos en $149 \times 10^6 \text{ km}^2$ de continentes y $361 \times 10^6 \text{ km}^2$ de hidrosfera		
Temperatura media: 15° C en superficie		
Presión media: $10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$ en superficie		
Masa: 6×10^{24} kg		
Particularidades Color del planeta azul (presencia de agua líquida) Atmósfera (78% N ₂ ; 21% O ₂ ; 0,03 Co ₂ , vapor de agua y gases nobles) Vida en el planeta desde hace 3500 millones de años 1 satélite natural (La Luna) Gira sobre sí misma cada 23 horas y 57 minutos		

Fig. 1.1. Características del planeta Tierra.



Algunas reseñas históricas: del catastrofismo al nacimiento de la geología actual

La naturaleza de nuestro planeta ha sido objeto de estudio durante siglos. Los primeros escritos sobre fósiles, terremotos o volcanes se remontan a tiempos de los griegos, hace más de 2300 años.

A mediados del siglo XVII, James Ussher, arzobispo anglicano, determinó que la Tierra había sido creada en el 4004 a.C. Durante los siglos XVII y XVIII y principios del XIX dominaba el pensamiento geológico llamado *catastrofismo*.

El **catastrofismo** postulaba que el relieve de la Tierra había sido formado por grandes catástrofes. Por ejemplo, las montañas se consideraban el resultado de fenómenos geológicos casi instantáneos, desastres súbitos, y a menudo a escala planetaria, de los cuales el diluvio bíblico era el mejor ejemplo.

El naturalista James Hutton (1726-1797) es considerado el padre de la geología moderna (véase Figura 1.3). Hutton publicó en 1788 su *Theory of the Earth*, donde estableció su teoría del **uniformismo**, según la cual los procesos que han ocurrido en la historia de la Tierra han sido uniformes y semejantes a los actuales. Realizó las primeras estimaciones de la velocidad de los procesos geológicos. Al observar que la mayoría de los procesos geológicos son muy lentos, dedujo que la edad de la Tierra era mucho más antigua de lo que se pensaba en su época. Las ideas de Hutton fueron difundidas, después de su muerte, por Charles Lyell (1797-1875), autor de la obra *Principles of Geology*.

Charles Lyell (véase Figura 1.3) formuló el uniformismo de manera precisa con las siguientes premisas: uniformidad de leyes físicas, de procesos geológicos, del ritmo de desarrollo de los procesos geológicos y de la existencia de pocos cambios en las condiciones de la Tierra.

La uniformidad de los procesos geológicos quiere decir que «siempre que sea posible, debemos interpretar los procesos antiguos como resultado de causas que aún operan en la Tierra»; esto da lugar a la teoría que se denomina **actualismo**. El actualismo se concreta en la cita «el presente es la clave del pasado».

La uniformidad de ritmo de los procesos geológicos quiere decir que «las causas de los procesos geológicos siempre han actuado con el mismo grado de energía que vemos hoy»; esto da lugar a la teoría del **gradualismo**. La teoría del gradualismo y el actualismo constituyen los principios fundamentales en la interpretación de muchos procesos geológicos actuales.

La aceptación del uniformismo significó la aceptación de que la mayoría de los sucesos geológicos se hacen a escala del orden de centenares y millares o incluso muchos millones de años, lo que supone una historia muy larga para la Tierra.

El estudio en profundidad de muchos procesos geológicos ha permitido hallar casos frecuentes de catástrofes geológicas. Esto ha dado lugar al **neocatastrofismo** (1962). Esta teoría intenta aunar el gradualismo con el catastrofismo. Admite que el gradualismo es válido para muchos procesos geológicos, pero otros hay que explicarlos como eventos catastróficos puntuales y discontinuos.

Una de las grandes controversias geológicas ha sido la del **fijismo-movilismo**. Esta controversia surgió en el intento de explicar el origen de las cordilleras y, por extensión, el origen de otros procesos geológicos.



Fig. 1.3. Personajes memorables de la geología: J. Hutton y C. Lyell.



Fig. 1.4. Útiles de trabajo en geología: rotuladores, bolsas, lupa y frasco con HCl.

Las primeras hipótesis sobre el origen de las cordilleras provinieron de la escuela fijista. Para los partidarios de esta escuela, los continentes siempre habrían ocupado su posición actual, y nunca se movieron. Esta teoría fue definida por Eduard Suess en 1883.

El **fijismo** propone que la contracción causada por el enfriamiento de la Tierra daría lugar a la formación de montañas. Éstas serían las arrugas en la superficie de una esfera que se contrae. Las cordilleras se habrían formado en zonas concretas, con mucha sedimentación, que llamaron **geosinclinales**. Estas ideas fijistas no se pudieron verificar por ningún tipo de observación ni experimento. No había evidencias de la disminución del radio de la Tierra.

Casi simultáneamente aparecieron las primeras ideas **movilistas** sobre el origen de las cordilleras. Alfred Wegener, en su libro *El origen de los continentes y océanos*, publicado en 1915, dice que las montañas aparecen como consecuencia de grandes movimientos en la horizontal de los continentes.

Las ideas movilistas se revitalizaron a mediados del siglo xx con nuevas observaciones e hipótesis. Primero, se descubrió la morfología del suelo marino; después surgió la **hipótesis sobre la expansión de los fondos oceánicos**, de Hess y Dietz, en 1962. Esta hipótesis promulgaba que en la zona central de las dorsales tiene lugar el ascenso de material magmático procedentes del manto. Este magma se incorpora al suelo oceánico y produce su expansión. Como consecuencia de este proceso, el fondo oceánico se desplaza en ambas direcciones a partir del eje de las dorsales.

Estudios posteriores dieron como resultado la promulgación de la **teoría de la tectónica de placas** por John Tuzo Wilson en 1967. La teoría de la tectónica de placas representa la síntesis más completa de la geología actual, porque no solamente explica el origen de las cordilleras, por choque de placas litosféricas, sino que, además, los geólogos disponen con esta teoría de un esquema global en el que pueden integrar y explicar diferentes hechos geológicos establecidos previamente de forma aislada.

►► El tiempo en geología

La medida del tiempo es uno de los principales objetivos de la geología. ¿Qué edad tiene la Tierra? ¿Cuándo se formó esta roca? ¿Cada cuánto tiempo se producen erupciones en un determinado volcán?

►► La **geocronología** es la parte de la geología que trata de determinar la edad de los procesos geológicos registrados en la historia de la Tierra.

Un evento geológico o no geológico se puede datar de forma relativa o absoluta.

►►► La datación relativa

La datación relativa sitúa un evento dentro de una secuencia de sucesos según el orden en que han ocurrido: este suceso es anterior a..., es posterior a... En geología la datación relativa se basa en dos principios básicos: el *principio de la superposición* y el *principio de la sucesión faunística*.

- **Principio de la superposición:** en una sucesión de rocas sedimentarias no deformadas, una capa es más antigua que la que tiene encima, y más reciente que la que tiene debajo. En la Figura 1.5, la capa A es más antigua que la B; ésta, que la C; y la más reciente es la D.

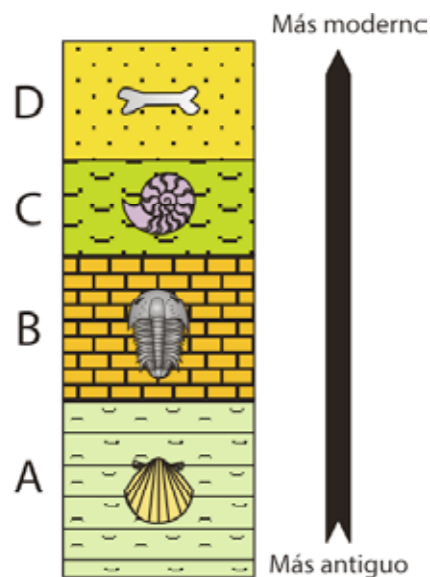


Fig. 1.5. Principio de superposición y principio de sucesión faunística.

- **Principio de la sucesión faunística** (o sucesión biótica): los organismos fósiles se sucedieron unos a otros en un orden definido y determinable, y, por tanto, cualquier periodo geológico puede reconocerse por su contenido en fósiles. Una vez establecido, este principio permitió a los geólogos identificar rocas de la misma edad en lugares alejados, y construir escalas de tiempo geológico (véase Figura 1.5).

►►► La datación absoluta

La datación absoluta de un determinado objeto o suceso es la edad expresada en años, referido al marco de una escala temporal. Existe siempre un margen de error, que dependerá del método de datación que se utilice. Ese margen de error puede ser de millones de años. ¿Cómo se sabe la edad de un evento geológico?

Hay distintos métodos de datación absoluta, pero el más utilizado es el **método radiométrico**. Este método utiliza la radiactividad natural de algunos isótopos radiactivos de elementos químicos. Por este método sabemos que los minerales más antiguos de nuestro planeta tienen 4030 millones de años aproximadamente y que la edad de la Tierra es de unos 4560 millones de años.



Fig. 1.6. Útiles de campo en geología: martillo, brújula, cuaderno de campo, cámara de fotos, metro, cantimplora, lápices y bolsas de muestras.

►► Escala de tiempo geológico

Los geólogos han dividido el total del tiempo de la historia geológica en unidades de magnitud variables. Estas unidades forman la **escala internacional del tiempo geológico**, que es el «calendario» de la historia de la Tierra.

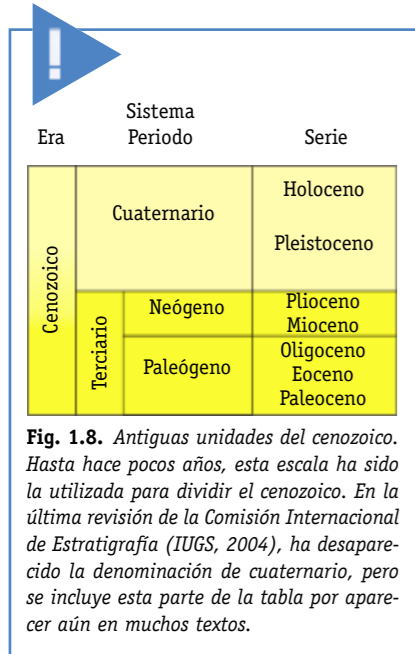
La escala del tiempo geológico (véase Figura 1.7) subdivide los 4560 millones de años y proporciona una estructura temporal significativa dentro de la cual se disponen los acontecimientos del pasado geológico. En la Figura 1.8 se puede ver cómo eran las unidades del Cenozoico hace pocos años, ya que aún aparecen en textos y mapas.

En la escala de tiempo geológico, los **eones** representan las mayores extensiones de tiempo. Los eones se subdividen en **eras**. Cada era está subdividida en unidades temporales conocidas como **periodos** (o sistemas).

Cada uno de esos periodos se divide en unidades aún más pequeñas, denominadas **épocas**. El eón más reciente es el fanerozoico, término griego que significa 'vida visible', empezó hace unos 542 millones de años. Las tres eras que comprenden el eón fanerozoico son la era paleozoica ('vida antigua'), la era mesozoica ('vida intermedia') y la era cenozoica ('vida reciente').

Las eras están limitadas por profundos cambios en las formas de vida. De especial interés es el límite entre el mesozoico y el cenozoico, conocido como **«límite KT»**, hace aproximadamente 66 millones de años. Este límite marca la extinción de los dinosaurios y de casi un 80% de las especies que existían en la Tierra. A partir de aquí, se marca el final de la «era de los reptiles», y empieza la era en la cual los mamíferos comenzaron a ser predominantes.

Se llama límite KT porque ocurre entre el cretácico, abreviado como «K», y el terciario, que era el nombre para el primer periodo del cenozoico, abreviado por «T».



Edad	Eón	Era	Período	Etimología	Eventos significativos en la historia de la Tierra	Fósiles característicos	
Hasta 1950		Cenozoico	Neógeno	Termino que procede del griego neos, 'nuevo' y genos, 'origen o nacimiento', para expresar el periodo más moderno del cenozoico	Aparición del <i>Homo sapiens</i> , 150 000 años Primeros homínidos, 4 m.a.	Hominidos	
			23 M.A.				Mamíferos
		Mesozoico	Paleógeno	Su etimología procede del griego palaios, 'antiguo' y genos 'origen o nacimiento', por ser el periodo más antiguo del cenozoico	Especialización de los mamíferos		
65,5 M.A.			65,5 M.A.				
		Mesozoico	Cretácico	El término proviene de creta, que en latín quiere decir 'tiza'. La creta es un tipo de roca caliza, blanquecina y disgregable, muy abundante a ambos lados del canal de la Mancha	Segunda extinción más importante de la historia de la Tierra. Límite K-T Aparición de las plantas con flores	Plantas con flores Dinosaurios	
			145,5 M.A.				
			Jurásico	El nombre proviene de las montañas del Jura, macizo montañoso que se eleva en el límite entre Francia, Suiza y Alemania	Primeras aves		
		Paleozoico	Triásico	Es la adjectivación del término <i>Trias</i> , que significa tres, para designar las tres formaciones rocosas que caracterizan este periodo en Alemania y otras zonas de Europa	Primeros mamíferos Primeros dinosaurios	Ammonites	
251 M.A.			251 M.A.				
		Paleozoico	Pérmico	Definido en los Urales, Rusia. Debe su nombre al antiguo reino de Permia, al este de Rusia, donde se encuentra la ciudad de Perm	Mayor extinción de la historia de la Tierra		
			299 M.A.				
			Carbonífero	El término fue propuesto para destacar la riqueza en carbón del centro y norte de Gran Bretaña. Su etimología procede del latín carbonium, 'carbón', y fero, 'llevar'	Expansión de los anfibios Grandes pantanos carboníferos. Primeros reptiles		
			359,2 M.A.				
			Devónico	Definido en el condado de Devon, en el sur de Gran Bretaña	Expansión de los peces Primeros anfibios	Helechos	
		Proterozoico	Silúrico	Acuñaado en las montañas del País de Gales donde vivían los silures, antigua tribu galesa	Primeras plantas terrestres		
			443,7 M.A.				
			Ordovícico	Definido al norte del País de Gales, que fue el antiguo territorio de los ordovices, la última tribu de origen céltico que resistió ferocemente durante años la invasión de los romanos	Primeros vertebrados	Trilobites	
		Arcaico	Cámbrico	Definido en Cambria, el País de Gales. Cambria es el nombre latinizado de Cymry o País de Gales	Gran expansión de invertebrados marinos		
542 M.A.			542 M.A.				
		Hádico?	Neo-Proterozoico		Fósiles de Ediacara, Australia primeros fósiles de organismos pluricelulares		
1000 M.A.			700 M.A.				
		Hádico?	Meso-Proterozoico		Primeros fósiles: estromatolitos (cianobacterias) en Australia		
1600 M.A.			3450 M.A.				
		Hádico?	Paleo-Proterozoico		Indicios de actividad biológica (Groenlandia)		
2500 M.A.			3800 M.A.				
4030 M.A.					Minerales más antiguos		
4560 M.A.					Formación de la Tierra	Estromatolitos	

Tabla cronoestratigráfica modificada y reducida. Basada en los datos de la Comisión Internacional de Estratigrafía (IUGS), 2004.

Fig. 1.7. Escala de tiempo geológico.

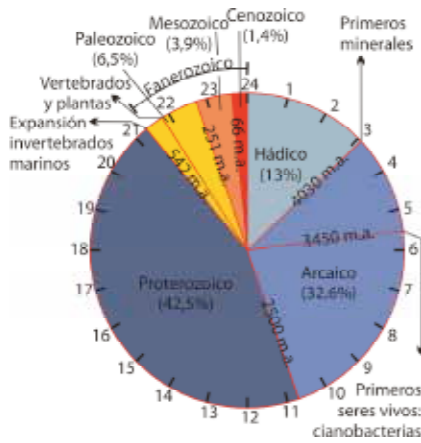


Fig. 1.9. Las 24 horas de la historia de la Tierra.

►► La magnitud del tiempo en geología

En el estudio de la geología es importante la apreciación de la magnitud del tiempo geológico, porque estamos acostumbrados a utilizar unidades de tiempo pequeñas. Sin embargo, los geólogos trabajan con unidades de tiempo del orden de los millones de años ya que muchos procesos graduales geológicos lo necesitan. Un evento geológico que ocurrió hace 100 millones de años puede ser calificado de «reciente», una muestra de 10 millones de años puede denominarse «joven», o un suceso de hace 200 000 años, «actual».

Un modo de comprender la magnitud del tiempo en geología, y darse cuenta de cuándo sucedieron los acontecimientos más importantes, es comprimir los 4 560 millones de años de la historia de la Tierra en un solo día. En la Figura 1.9 aparecen las 24 horas de un día y, como segmentos coloreados, la proporción que los diferentes eones y eras ocuparían a lo largo de ese día. En esa figura también aparecen algunos sucesos importantes en nuestro planeta: los minerales más antiguos que hay en la Tierra aparecerían a las tres y cinco de la madrugada; las primeras evidencias de seres vivos a las cinco y media. Hay que esperar a las nueve y veinte de la noche para encontrar la gran expansión de los invertebrados marinos, y a las diez menos diez para que aparezcan los primeros vertebrados y plantas. Los dinosaurios dominaron los continentes entre las once menos diez y las doce menos veinte de la noche. Finalmente, el hombre aparecería en el último segundo del día.



Fig. 1.10. Estromatolitos.

Actividad resuelta

Datación absoluta y datación relativa.

Observa en la siguiente foto los rastros de huellas de reptiles que aparecen. Las huellas amarillas son de un pequeño dinosaurio carnívoro, las huellas verdes son de un dinosaurio más grande y herbívoro, las rojas son de un gran dinosaurio carnívoro, y los rastros negros son las huellas que ha producido la cola de un gran dinosaurio cuyas pisadas no se han fosilizado. Ordena de más antiguo a más moderno estos rastros. ¿Cómo se denomina esta datación de los hechos? ¿En qué te has basado para realizar este orden?

Del primer dinosaurio que pasó, solamente fosilizó el rastro de la cola. Después vienen las huellas amarillas del pequeño dinosaurio carnívoro. Más tarde apareció en escena el dinosaurio herbívoro y dejó las huellas verdes; y por último, cruzó el dinosaurio carnívoro grande, simbolizado con el color rojo. Esta forma de ordenar los eventos se llama datación relativa.

Para hacer esta datación nos basamos en el orden de superposición de las huellas, cuál pisa a cuál: la que tape a una anterior será lógicamente más reciente.

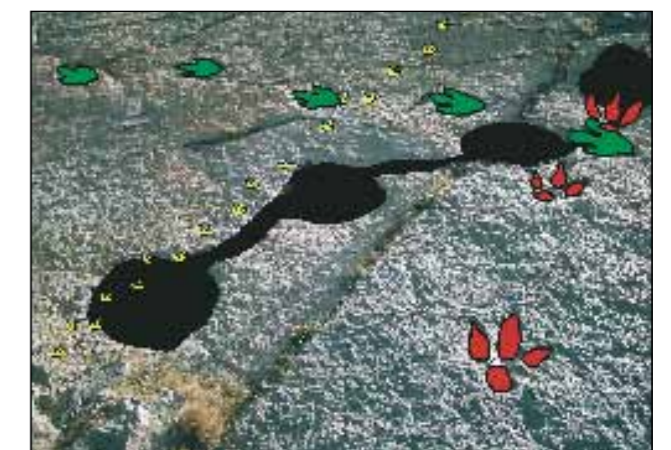




Fig. 1.11. Estudio de la Tierra a distintas escalas: paisaje, afloramiento y detalle.

1.2 La investigación científica en geología

La geología es una ciencia **interdisciplinar**, debe unir en sus estudios metodologías de **ciencias experimentales** como son la física, la química y la biología, y metodologías de **ciencias históricas**.

La forma de trabajar en geología es muy diversa. Por una parte utiliza métodos tradicionales, y en la actualidad está incorporando de forma decisiva la ayuda de las nuevas tecnologías. Es muy importante el estudio y observación de los fenómenos y materiales geológicos a distintas escalas (véase Figura 1.11). Esto implica conocer estos fenómenos tanto en el campo como bajo el microscopio.

►► Métodos tradicionales de trabajo en geología

Los estudios geológicos están basados en asociar los resultados del trabajo de campo con los experimentos y la utilización de técnicas apropiadas para cada una de las investigaciones a realizar.

Un estudio geológico implica una serie de actuaciones ordenadas, que son:

- Documentación previa y planificación del trabajo.** Incluye búsquedas bibliográficas sobre la zona a estudiar, como libros, mapas geológicos, mapas topográficos y fotos aéreas (véanse Figuras 1.2 y 1.15). También debe hacerse una búsqueda sobre las técnicas y materiales que se van a emplear. Es importante saber lo que se quiere hacer y buscar, cuáles son los objetivos, y seguir un orden de actuación.
- El trabajo de campo.** La geología es ante todo una «ciencia del terreno». En primer lugar debemos **situar** el lugar de estudio en el mapa, y después buscar los materiales y ver la distribución espacial de las rocas. Una vez situados, debemos realizar *in situ*, es decir, sobre el terreno, la **adquisición de datos** y la **toma de muestras**. Este primer estudio es una forma de observación geológica de media a gran escala.

La adquisición de datos incluye recoger toda la información necesaria que no se pueda transportar al centro de trabajo. Los datos dependen del objetivo del estudio. Algunos datos importantes incluyen fotografías del entorno, colores de los materiales y todas las mediciones necesarias.

La toma de datos físicos a gran escala se realiza con aparatos específicos para cada **prospección** (véase Figura 1.13).

La toma de muestras consiste en recoger materiales para analizar en el laboratorio. ¿Cómo tomar muestras de forma correcta? Para coger las muestras se utiliza, en general, el martillo de geólogo. Es muy importante coger bien las muestras. Cada muestra debe estar bien etiquetada: hay que señalar en el mapa dónde se ha cogido y la posición en la que estaba en el afloramiento. Y todos estos datos deben registrarse en un cuaderno de campo (véanse Figuras 1.4 y 1.6).

Un tipo especial de toma de muestras se realiza mediante **sondeos**. Los **sondeos** son perforaciones en el terreno para conocer la naturaleza de los materiales a cierta profundidad. De estas perforaciones se obtienen distintas muestras, que pueden ser **testigos continuos** (véase Figura 1.14), si los materiales están consolidados, o fragmentos de materiales, si el terreno es blando o no está unido.



Fig. 1.12. Lupa binocular y microscopio.

- Trabajo de laboratorio.** Este trabajo implica un acercamiento geológico a pequeña escala y a escala microscópica. Las diferentes técnicas de laboratorio permiten utilizar una misma roca para distintos estudios.

Las **observaciones ópticas** se realizan con lupa binocular y microscopios petrográficos. Una roca se puede observar en **lámina delgada** (véase Figura 1.12) con microscopio petrográfico, o en fragmentos pequeños en tres dimensiones (**levigados**) con la lupa binocular.

Las observaciones con microscopio y lupa nos permiten ver qué minerales y fósiles contiene la muestra.

El microscopio petrográfico tiene algunas características distintivas con respecto al microscopio biológico. La diferencia principal es la de utilizar luz polarizada. La luz polarizada se caracteriza por vibrar en un único plano, mientras que la luz no polarizada vibra en todos los planos.

Otros tipos de análisis de laboratorio son los análisis químicos, paleontológicos, ensayos físicos de materiales o las técnicas de dataciones radiométricas para saber la edad de la muestra.

Por último se debe realizar una síntesis con todos los datos que se han estudiado.

- Avances científicos. Divulgación y aplicaciones sociales y económicas.** Una vez concluida la investigación, es el momento de divulgarla. La divulgación puede ser únicamente teórica, por ejemplo en libros y artículos, o bien ser una aplicación práctica, como mapas de recursos minerales.

►► Las nuevas tecnologías en la investigación de la geología

Una de las herramientas principales en geología es el **mapa geológico**. Durante muchos años los mapas geológicos se han realizado de forma manual y artesanal, sin ayuda de aparatos como **ordenadores**, **sistemas de localización por satélite**, **teledetección** y **Sistemas de Información Geográfica**.

La geología de una zona se proyecta en los **mapas geológicos**. La base de los mapas geológicos son los mapas topográficos.

En todos los mapas geológicos los puntos representados deben estar **georreferenciados**, es decir, situados en la Tierra mediante un sistema de coordenadas.

La cartografía de cada país tiene sus mapas con las **coordenadas locales**. Un tipo de coordenadas son las **coordenadas geográficas latitud y longitud**, junto con una tercera coordenada que es la **altitud**. La altitud se da con respecto a un punto de referencia o **datum** altimétrico propio de cada nación. En España, el **datum** altimétrico es el nivel del mar Mediterráneo en Alicante.

Hace unos años, cuando no se disponía de nuevas tecnologías, el cálculo de las coordenadas de los puntos del mapa era un proceso lento. Al pasar de un país a otro, el dato de la altura no tenía referencias comunes en los distintos países. Por otra parte, en algunas ocasiones, como por ejemplo en los desiertos, era difícil orientarse y situarse en el campo, incluso con la ayuda de los mapas topográficos. Esto se soluciona, en la actualidad, con las nuevas tecnologías.



Fig. 1.13. La prospección de agua permite la instalación de pozos. Pozo tradicional eslovaco.



Fig. 1.14. Geólogo examinando unos testigos de sondeos y detalle de uno de ellos.

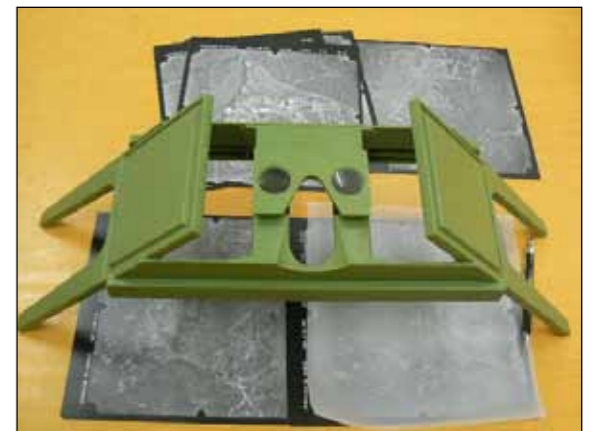


Fig. 1.15. Fotografía aérea y estereoscopio.



Fig.1.16. Fotografía de satélite de la Península Ibérica.

►►► Sistema de localización por satélite

El sistema de localización por satélite es una técnica que calcula de forma absoluta y global la latitud, longitud y altura de cualquier punto de la Tierra. Esta localización se lleva a cabo por un sistema de satélites que funcionan de forma combinada. Estas coordenadas globales se pueden pasar a las coordenadas locales de cada país. Los primeros satélites de localización se utilizaron con fines militares. Actualmente se utilizan también para uso civil. Los sistemas de satélites actuales son: el **GLONASS**, administrado por las Fuerzas Espaciales Rusas, y el **GPS**, desarrollado en los Estados Unidos. El sistema GPS es el más utilizado.

En 2008 estará en funcionamiento el sistema de satélites **GALILEO**, desarrollado por la Unión Europea, en concreto, por la Agencia Espacial Europea (ESA). Será un sistema civil independiente, pero con intención de ser complementario e interoperable con el GPS y el GLONASS.

■ ¿Cómo funciona el sistema GPS?

GPS es la abreviatura de *Global Positioning System*, que en español significa 'sistema de posicionamiento global'.

Los componentes del sistema GPS son: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento del usuario.

El **segmento espacial** consta de 24 satélites que giran en seis órbitas ubicadas aproximadamente a 20000 km de la Tierra, con cuatro satélites por órbita (véase Figura 1.17).

En cada satélite van embarcados relojes muy precisos, aparatos de radio y ordenadores para captar y emitir las señales transmitidas por el satélite.

El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de cuatro satélites detectables desde cualquier punto de la superficie terrestre durante las 24 horas del día.

El **segmento de control** tiene como misión el seguimiento continuo de todos los satélites. Consta de seis estaciones distribuidas en longitud por la superficie de la Tierra (véase Figura 1.18).

Constelación de satélites GPS

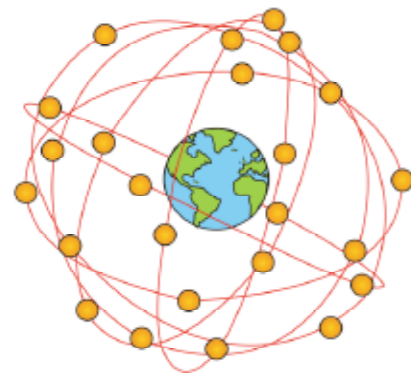


Fig. 1.17. El segmento espacial del GPS.



Fig. 1.18. Segmento de control del GPS.

El **segmento de usuario** está constituido por cualquier receptor en tierra o en el espacio. El aparato receptor es el GPS, que se llama igual que el sistema (véase Figura 1.19).

■ Utilidad del GPS en geología

El uso del GPS en geología se ha vuelto indispensable. Entre los principales usos destacan:

- La actualización de la cartografía y la adquisición de datos para el registro de Sistemas de Información Geográfica.
- La definición de las velocidades de las placas litosféricas y el estudio de las variaciones del nivel medio del mar.
- La vigilancia y seguimiento (monitorización) de la evolución de los volcanes.
- La vigilancia y seguimiento de los glaciares, en estudios de cambios climáticos.
- El estudio de los movimientos de las fallas para la prevención de los terremotos.

►►► La teledetección

La **teledetección** es el conjunto de técnicas que permiten la adquisición de información sobre la Tierra y otros cuerpos celestes, sin entrar en contacto directo con ellos. La teledetección permite obtener imágenes a partir de las longitudes de onda del espectro electromagnético (véase Figura 1.20), que emite la superficie a estudiar.

Las imágenes se adquieren por sensores incorporados a satélites, aviones o aparatos de tierra. Estos **sensores** son instrumentos que miden las variaciones en la intensidad de radiación electromagnética emitidas desde la superficie terrestre. Los sensores pueden ser pasivos o activos.

Los **sensores pasivos** registran las radiaciones reflejadas y emitidas por la superficie, en unas longitudes de onda determinadas. Hay sensores del espectro visible, del espectro infrarrojo y del espectro de microondas.

Cuando el sensor capta las ondas electromagnéticas en un espectro no visible, para observar esas imágenes, se retocan usando colores de la luz visible, para que el ojo humano lo pueda detectar. Esto da una imagen en colores falsos, pero que permiten resaltar características importantes. Por ejemplo, el infrarrojo nos permite observar cambios de temperatura en un medio, y eso no se ve a simple vista. La fotografía aérea es la teledetección tradicional (véase Figura 1.15). Se realiza a partir de aviones con sensores en el espectro visible, y la imagen que toma es una fotografía en el visible. La incorporación de sensores a los satélites artificiales ha permitido la obtención sistemática de imágenes a una escala espacial variable (véase Figura 1.16).

Los **sensores activos** emiten radiaciones de distintas longitudes de ondas del espectro electromagnético dirigidas hacia la superficie a observar, y captan las radiaciones que refleja dicha superficie. Un tipo de sensor activo es el **radar** (*radio detection and ranging*).

El uso de la teledetección está muy extendido en geología (véanse Figuras 1.16 y 1.21). Entre sus principales aplicaciones destacan: realización de cartografía geológica, uso en edafología, localización de yacimientos minerales y paleontológicos, evaluación de recursos hídricos. Muchos de estos datos se utilizan como las distintas capas de las complejas bases de datos que son los SIG.

►►► Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un **SIG** es un Sistema de Información Geográfica (GIS, *Geographic Information System*). Es un sistema informático diseñado para el manejo y análisis de información cartográfica y su integración con otros datos. Algunos datos del GIS son los mapas topográficos, geológicos, de vegetación, etc., que se pueden superponer para dar una información más completa.

La **utilidad principal de un SIG** radica en la gran cantidad de información que se puede interrelacionar y superponer. Esto permite hacer modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos informáticas. Estos modelos se utilizan para hacer simulaciones de procesos naturales o generados por el hombre, y posteriormente evaluar las consecuencias de las decisiones y planificación sobre los recursos existentes en el área de interés.

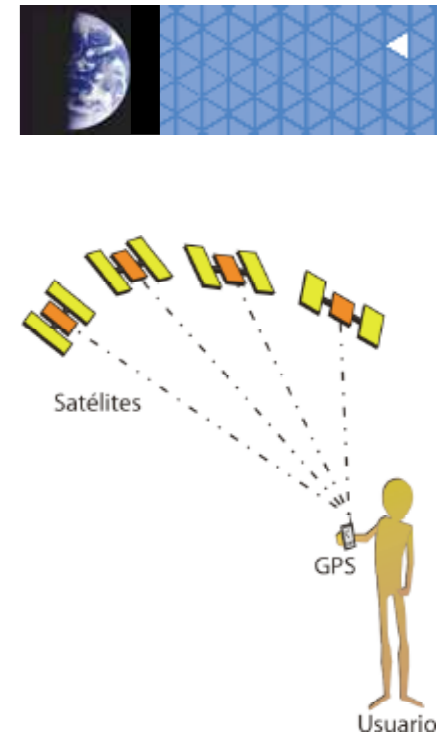


Fig. 1.19. Segmento de usuario del GPS.

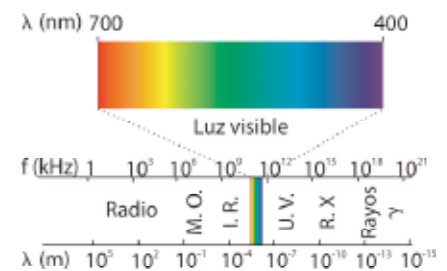


Fig. 1.20. Espectro electromagnético.

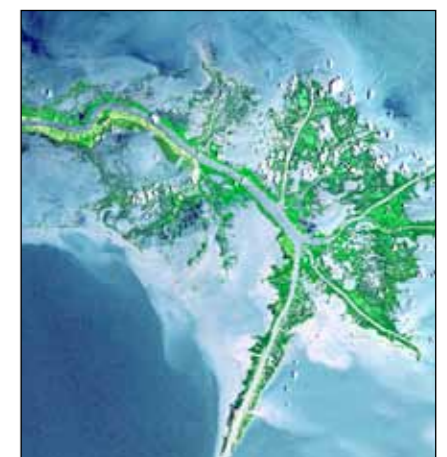


Fig. 1.21. Imagen del delta de Mississippi (EE.UU) tomada por satélite.

►► La geología como disciplina científica

Entender la Tierra no es tarea fácil, ya que nuestro planeta no es una masa de roca inmutable, sino un cuerpo dinámico con una historia larga y compleja. La Figura 1.22 es un mapa conceptual donde se engarzan los conocimientos que debe abordar la geología.

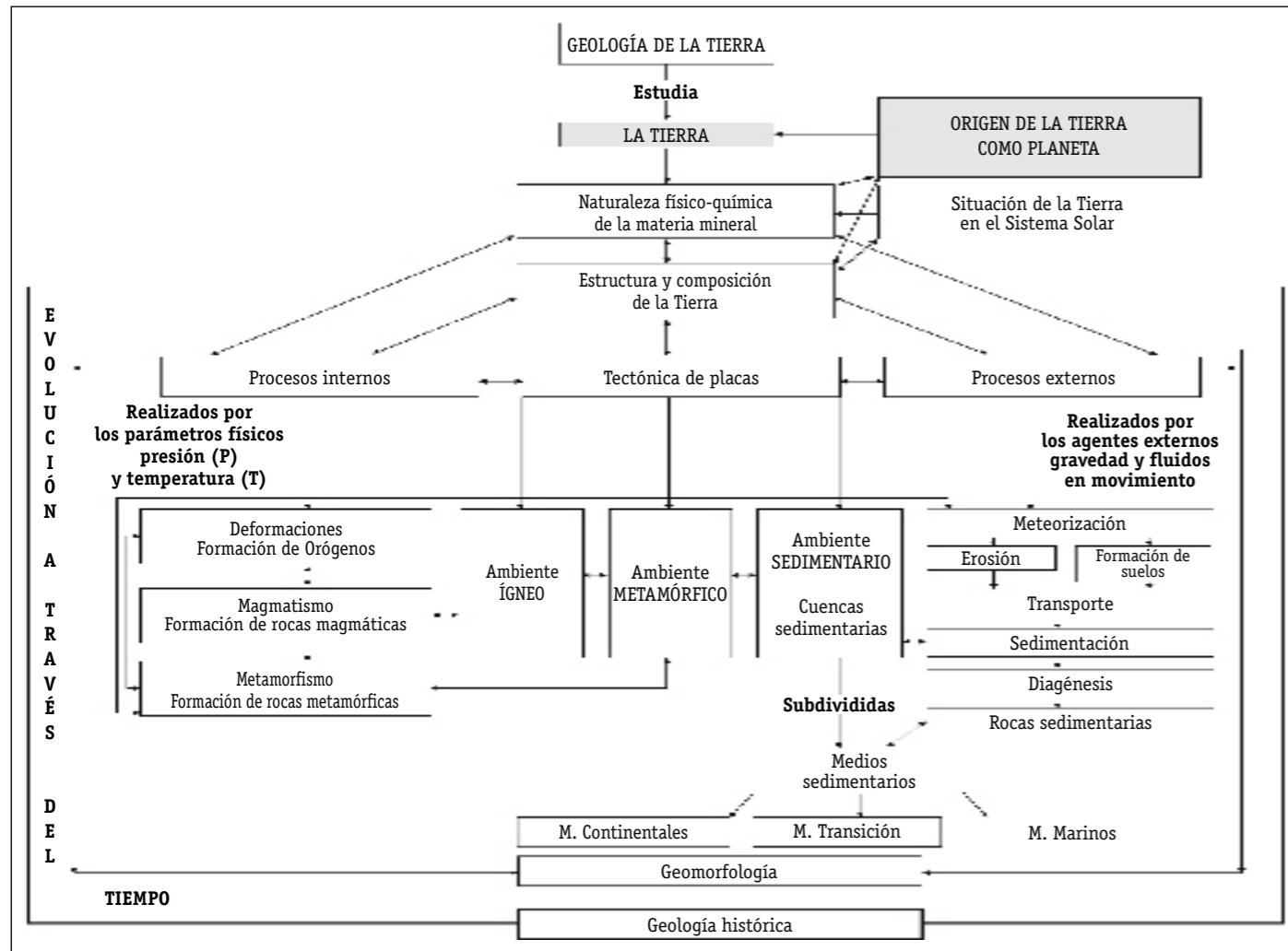


Fig. 1.22. Mapa conceptual del conocimiento geológico.

■ La utilidad de la geología

Aparte de la geología como ciencia académica, hay que destacar la gran importancia que tiene como ciencia aplicada (véanse Figuras 1.23 y 1.24). La geología aporta y ofrece multitud de soluciones prácticas a diversos problemas socioeconómicos actuales.

Muchos de los hechos que estudia la geología tienen una aplicación directa en la vida, en el desarrollo y en la planificación de la sociedad humana. La geología es un punto de partida en la prevención y la resolución de diversos problemas que nuestra sociedad tiene planteados, entre los que destacan la búsqueda de recursos hídricos, minerales o energéticos, la prevención de riesgos geológicos, la planificación del territorio, la realización de estudios de impacto ambiental, el mantenimiento y reforma de monumentos y edificios históricos y la comprensión del funcionamiento del sistema Tierra.

Entre los recursos de primera necesidad están el agua y los suelos. Los estudios relacionados con el agua incluyen la búsqueda de acuíferos, conocimientos del estado de los acuíferos y de las cuencas hidrográficas para así, hacer un uso racional del agua. Los estudios de los suelos permiten una mejor planificación de la agricultura.

Entre los recursos no renovables están los recursos minerales, energéticos y recursos industriales como materiales de construcción. Actualmente la demanda de energía se incrementa día a día en nuestra sociedad, parte de la geología se dedica a la búsqueda de nuevos yacimientos de gas, carbón y petróleo.

La realización de cartografía de riesgos geológicos permite su uso para diseñar modelos sostenibles de planificación del territorio, y para la regulación del patrimonio natural e histórico.

Cualquier obra de ingeniería, presas, autovías, minas, obras urbanas, planificación agrícola, necesita un estudio geológico de tipo ambiental que permita prevenir impactos desastrosos e irreversibles en el medio y en las personas. Por otra parte, los estudios de paleoclimatología permiten entender la evolución del clima. Los estudios paleontológicos son esenciales en la búsqueda y explicación del origen y evolución de la vida en el planeta, así como descubrir la relación de los ecosistemas del pasado con los actuales.



Fig. 1.23. Plataforma petrolífera, rodeada de hielo en Alaska.



Fig. 1.24. Riesgo sísmico. Daños producidos por un terremoto.

Actividad resuelta

Diseña una campaña para recoger arena para la cama de tu gato. Utiliza las nociones que se han explicado en esta unidad, en el apartado de métodos tradicionales de trabajo en geología.

En primer lugar debes informarte de dónde hay arenas en las cercanías de tu casa, y si no las hay, encontrar el lugar más próximo donde obtenerlas. Consulta un mapa de la zona para saber acceder al lugar.

Después debes considerar qué necesitas para recoger las arenas: bolsas, pala y mochila.

Esto sería la documentación previa y la planificación del trabajo.

A continuación debes hacer el trabajo de campo, es decir, encontrar el lugar en el que están las arenas, y tomar las muestras. Visita y explora el yacimiento de arena y selecciona las arenas más apropiadas para tu gato.

Actividades finales

- 1> ¿Qué es la geología? ¿Qué significa la expresión: «La geología es una ciencia interdisciplinaria»?
- 2> ¿Cómo pensaban los catastrofistas que se producían los procesos geológicos? ¿Qué edad se pensaba que tenía la Tierra?
- 3> ¿Qué dice el principio del gradualismo? Busca un proceso geológico que desmienta este principio.
- 4> ¿Qué se entiende cuando se dice: «La geología interpreta los hechos con una metodología actualista»?
- 5> En una de tus excursiones al campo paseas por una zona donde encuentras fósiles de erizos de mar. ¿Cómo puedes explicar este hecho? ¿Qué principio geológico has utilizado para esta interpretación?
- 6> ¿Qué edad se calcula actualmente a la Tierra? Cuando das la edad en millones de años, ¿qué datación estás haciendo: absoluta o relativa?
- 7> La primera escala de tiempo geológico se estableció sin la ayuda de los métodos radiométricos. ¿Qué principios se utilizaron para desarrollar esta primera escala temporal?
- 8> Observa la tabla de la escala de tiempo geológico y la Figura 1.8. Compara los millones de años que tiene cada eón. ¿Por qué crees que los geólogos han hecho esta división tan heterogénea del tiempo?
- 9> ¿Cuándo han sucedido las mayores extinciones de seres vivos en la Tierra? ¿Qué eras limitan estas extinciones? ¿Con qué argumentos explicarías estos eventos, con una mentalidad catastrofista o actualista?
- 10> ¿Qué diferencia hay entre la edad relativa y la edad absoluta de un fenómeno? Data de forma absoluta y relativa los siguientes eventos:
 - a) Formación de la Tierra.
 - b) Rocas de la Tierra datadas como más antiguas.
 - c) Primeros indicios de actividad vital.
 - d) Primeros fósiles de cianobacterias, identificados por las estructuras algales denominadas estromatolitos.
 - e) Primeros fósiles de seres vivos pluricelulares.
- 11> ¿Qué pasos debes realizar para desarrollar una investigación en geología?
- 12> ¿Qué datos debes tomar para tener bien identificada y localizada una muestra recogida en el campo?
- 13> ¿Por qué decimos que la geología estudia la Tierra a diferentes escalas? Pon dos ejemplos del trabajo de un geólogo a gran escala, otros dos a mediana y otros dos a escala microscópica.
- 14> ¿Qué es el sistema GPS? ¿Cuáles son los componentes del sistema GPS?
- 15> Señala las utilidades del GPS en geología. ¿Por qué es tan importante en cartografía el sistema GPS?
- 16> ¿Qué es la teledetección? ¿Cómo se adquieren las imágenes de teledetección?
- 17> ¿Qué diferencia hay entre un sensor activo y otro pasivo?
- 18> ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica (SIG)? Explica su utilidad en geología.

PAU

El espejo de la figura está roto por tres conjuntos de fracturas. Ordena las fracturas de más antiguas a más modernas. ¿Qué tipo de dotación has realizado? Razona tu contestación.



Investigación científica

El oráculo de Delfos

El oráculo de Delfos estaba situado en un gran recinto sagrado llamado *adyton* dedicado principalmente al dios Apolo, en el cual únicamente podía entrar la Pitia. La Pitia era una sacerdotisa que, en nombre de Apolo, interpretaba las respuestas que daba el oráculo. Las preguntas eran llevadas al oráculo escritas en tablillas. Cuando la Pitia revelaba las respuestas, entraba en trance, hablando con voz alterada en nombre de Apolo. Las respuestas eran escritas y selladas por las sacerdotisas y entregadas al encuestador.

De acuerdo a los relatos de autores antiguos como los historiadores Plinio el Viejo y Diodoro, el filósofo Platón, el geógrafo Estrabón o el escritor Plutarco, entre otros, la Pitia atendía en una cámara ubicada en el corazón del templo. Se sentaba en un trípode, entraba en un estado de trance y respondía las preguntas. Era creencia común que el trance lo provocaban los vapores que brotaban de unas grietas en el suelo de la cámara. Plutarco formuló las primeras hipótesis acerca del origen geológico de los vapores que, según su descripción, despedían un aroma dulce.

En épocas más recientes se ha estudiado la posible relación de estos estados de trance y fenómenos geológicos. La historia de las grietas y los vapores fue descartada durante la primera mitad del siglo xx, principalmente porque no se encontraron evidencias de estos vapores. Sin embargo, a fines del siglo xx, los estadounidenses John Hale (arqueólogo), Jelle de Boer (geólogo), Jeff Chanton (químico) y Rick Spiller (toxicólogo), demostraron que, después de todo, los antiguos cronistas no estaban tan equivocados. Se descubrió que la cámara del oráculo estaba erigida exactamente sobre el punto de intersección de dos fracturas de la corteza terrestre (las fallas de Delfos y de Kerna). Debajo del templo se encontraron grietas en la roca, producidas por la tensión entre las fracturas, y un importante depósito de hidrocarburos de origen orgánico, que bien podía ser la fuente de los vapores mencionados por los autores clásicos. Estudios detallados permitieron detectar la presencia de metano, etano y etileno. El etileno se trata de un gas de olor dulce, que produce un estado de trance sin

pérdida del conocimiento. Quienes lo aspiran sienten euforia y la sensación de abandonar el cuerpo, pero pueden permanecer sentados y responder preguntas (como lo hacían las Pitias).

La investigación permitió corroborar todos los detalles mencionados en los textos antiguos. En un artículo publicado en *Scientific American**, se pone de manifiesto la importancia de la ciencia moderna para dilucidar misterios del pasado, así como la mejora que se obtiene al abordar los problemas con la mentalidad abierta y la actitud interdisciplinaria mostradas ya por los antiguos griegos.



* HALE, J.R., DE BOER, J.Z., CHANTON J.P., y SPILLER, H.A.: «Questioning the Delphic Oracle», en *Scientific American*, vol. 298, núm. 2 (agosto, 2003).

- a) ¿Qué impresión te ha producido la lectura de un texto basado en estudios multidisciplinares?
- b) Algunas leyendas o mitos antiguos tienen hoy explicación gracias a la ciencia. Busca en el texto una premisa mitológica y su explicación científica.
- c) ¿Crees que los mitos que se han conseguido explicar de forma científica deben ser divulgados en la sociedad? Razona tu respuesta.

Trabajo de laboratorio

Estudio del mapa geológico I: reconocimiento e interpretación de los elementos representados en un mapa geológico

Objetivos

Saber qué es un mapa geológico
Conocer y entender la leyenda de un mapa geológico

Materiales

Material de dibujo y reglas.

Procedimiento

Para saber interpretar un mapa geológico y poder hacer el salto de la Figura 1 a la 2, en primer lugar debes saber leerlo, y comprender toda la información que contienen su **leyenda** y sus **signos convencionales**; y, en segundo lugar, debes saber hacer **cortes geológicos**.

Introducción teórica

Un mapa geológico es la representación en dos dimensiones y a escala de las características geológicas de una región. En él se representan las rocas que se encuentran en esa zona y que afloran en la superficie, junto con las estructuras geológicas que aparecen, como fallas, pliegues y discordancias.

Observa la Figura 1. Es un mapa geológico simplificado de una zona imaginaria, sus coordenadas están diseñadas para no coincidir con ningún punto real de la Tierra. En él se ha omitido la topografía. Este mapa representa la geología que muestra el bloque diaorama de la Figura 2.

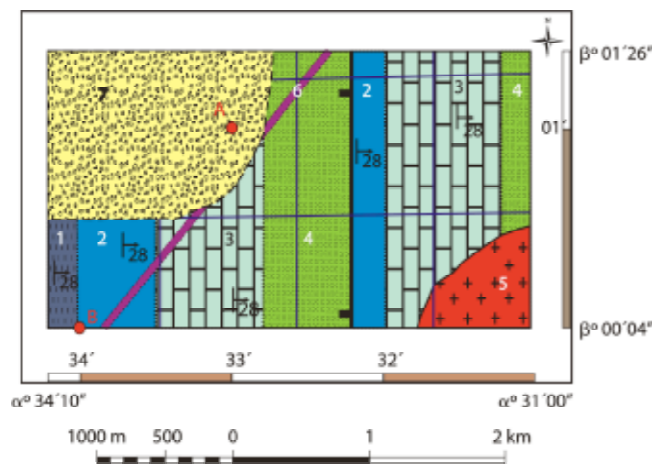


Fig. 1.

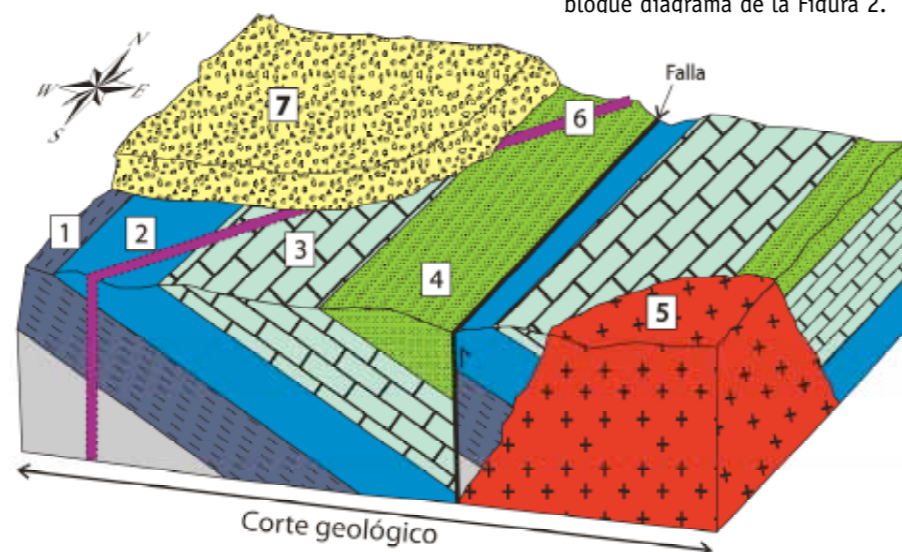


Fig. 2.

Desarrollo y cuestiones

A. Situación geográfica de la zona representada en el mapa

Como un mapa geológico está representado sobre un mapa topográfico, todos los puntos de esa zona están georreferenciados, es decir, podemos saber su latitud y su longitud. En un mapa geológico el norte está en la parte superior, salvo que se señale expresamente en otra dirección. En los bordes de este mapa se pueden leer las coordenadas geográficas en las que está situada la zona. Verticalmente puedes leer la **latitud**, y horizontalmente, la **longitud**.

Además de estas coordenadas geográficas, hay unas cuadrículas en el mapa, representadas de color azul, que también sitúan los puntos del mapa. Son cuadrículas de proyección.

1. Mira el mapa geológico de la Figura 1, localiza los puntos A y B. Determina sus coordenadas geográficas.

B. Representación de la escala

Todos los mapas son representaciones a escala reducida, que se expresa de forma gráfica y numérica.

2. En el mapa puedes ver la escala gráfica, ¿a qué escala numérica corresponde?

3. ¿Qué distancia hay entre los puntos A y B en la realidad?

C. La leyenda

En la leyenda (véase Figura 3) están representadas las rocas que hay en la zona. Cada unidad rocosa lleva un número distintivo, o bien un conjunto de letras de referencia, que están también situadas en el mapa.

Las rocas sedimentarias y metamórficas están ordenadas por edades de forma relativa, de más antiguas a más modernas. También están asociadas a una tabla de los tiempos geológicos, por lo que podemos saber de qué edad son. Cada período tiene un color o colores que le representan por convenio, así, el neógeno es amarillo, el paleógeno, naranja, el cretácico, verde, etcétera.

Las rocas magmáticas se suelen representar en la parte inferior de la leyenda, y se les ordena por su edad absoluta, si se sabe, o relativa, en caso contrario.

Cada tipo de roca tiene un símbolo que la identifica, como puedes ver a continuación.

Leyenda		
Neógeno		7 Conglomerados
Cretácico		4 Areniscas
Jurásico	Superior	3 Calizas
	Medio	2 Grauwacas (areniscas)
	Inferior	1 Lutitas
Paleógeno		5 Granito
		6 Pegmatitas

Fig. 3.

Signos litológicos	
	Calizas
	Lutitas
	Areniscas
	Conglomerados
	Rocas plutónicas



1. La investigación científica de nuestro planeta

Trabajo de laboratorio

4. ¿Qué rocas están representadas en la unidad 2? ¿A qué periodo pertenecen? ¿En qué color están representadas?

Mira la Figura 1.7 del tema y contesta a las siguientes preguntas: ¿A qué era pertenecen estas rocas? ¿Qué edad absoluta pueden tener? Exprésalo en intervalos de millones de años.

5. Observa el mapa y el bloque diagrama. Sin mirar la leyenda, da una datación relativa de las unidades representadas en ellos. Razona tu respuesta. Después, observa la leyenda y data de forma absoluta cada unidad.

D. Signos convencionales

Los signos convencionales (véase Figura 4) son claves para poder interpretar tridimensionalmente la geología de la zona. Entre ellos encontramos los siguientes:

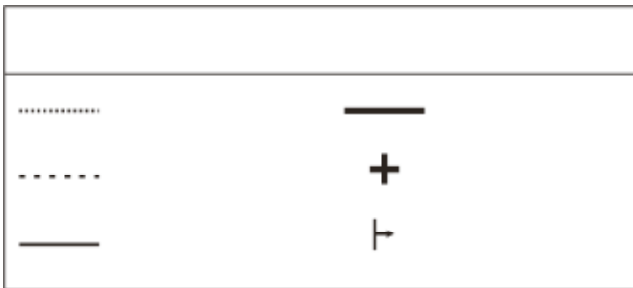


Fig. 4.

Contactos. Indican los límites entre las distintas unidades. Estas unidades tienen siempre distinta edad y, por lo general, distinta litología. Cuando el contacto es **concordante** indica que ambas unidades tienen la misma inclinación: horizontales, inclinadas o verticales, hay continuidad en el tiempo.

Los contactos son **discordantes** cuando representan límites de unidades con distinta inclinación entre sí, o cuando la diferencia de edad es muy grande.

Un contacto **intrusivo** representa el límite entre una unidad formada por rocas magmáticas con otra formada por rocas sedimentarias o metamórficas.

Contacto mecánico o por fallas es un contacto entre unidades debido a las fallas. Las fallas son fracturas en el terreno con desplazamiento de los bloques fracturados.

6. En el mapa, ¿qué contactos son concordantes, discordantes o intrusivos y cuáles son mecánicos o por fallas? Razona tu respuesta.

E. Estratificación. Las rocas sedimentarias se presentan en capas o estratos. Estas capas pueden estar horizontales, inclinadas o verticales.

F. Otros elementos

Los mapas reales tienen otros elementos que nos ayudan a entender todo el conjunto: esquemas estructurales de la zona, columnas estratigráficas, cortes geológicos en distintas direcciones.

La leyenda que te presentamos es la manera más generalizada de simbolizar los distintos elementos del mapa geológico. Pero cuando veas un mapa real, tienes que fijarte en qué tipo de leyenda ha utilizado el autor.