

Alfabetización en Ciencias de la Tierra

Earth Science Literacy

EMILIO PEDRINACI¹, SANTIAGO ALCALDE², PEDRO ALFARO³, GABRIEL R. ALMODÓVAR⁴, JOSÉ LUIS BARRERA⁵, ÁNHEL BELMONTE⁶, DAVID BRUSI⁷, AMELIA CALONGE⁸, VICENTE CARDONA⁹, ANA CRESPO-BLANC¹⁰, JOSÉ CARLOS FEIXAS¹¹, ESPERANZA M. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ¹², ALBERTO GONZÁLEZ-DÍEZ¹³, JUAN JIMÉNEZ-MILLÁN¹⁴, JOSÉ LÓPEZ-RUIZ¹⁵, JOSEP M^a MATA-PERELLÓ¹⁶, JOSÉ ANTONIO PASCUAL¹⁷, LUISA QUINTANILLA¹⁸, ISABEL RÁBANO¹⁹, LUIS REBOLLO²⁰, ANA RODRIGO¹⁹ Y ELVIRA ROQUERO²¹

¹ Departamento de Biología y Geología. IES "El Majuelo", Gines (Sevilla). pedrinaci@telefonica.net

² Geólogos del Mundo. carrascachinata@hotmail.com

³ Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Alicante, 03080 Alicante. pedro.alfaro@ua.es

⁴ Departamento de Geología, Universidad de Huelva. Avda. Tres de Marzo, s/n, Campus de El Carmen, 21071 – Huelva. almodovar@uhu.es

⁵ Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. biotita@arrakis.es

⁶ Geoparque de Sobrarbe. Avda. de Ordesa 79. 22340 Boltaña (Huesca). anhelbr@unizar.es

⁷ U. de Geodinámica. Dep. de Ciències Ambientals, Universitat de Girona. david.brusi@udg.edu

⁸ Dpto. Geología. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid). a.calonge@uah.es

⁹ Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDPGYM). cardonagavalda@yahoo.es

¹⁰ Departamento de Geodinámica-Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Fuentenueva s/n. 18071 Granada. acrespo@ugr.es

¹¹ Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de Andalucía (ICOGA). Balbino Marrón, 3, 41018 Sevilla. jcfeixas.geomina@gmail.com

¹² Área de Paleontología. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Campus de Vegazana s/n. Universidad de León. 24071 León. e.fernandez@unileon.es

¹³ Departamento Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria. Avd. de Los Castros s/n, 39005, Santander, Cantabria. alberto.gonzalez@unican.es

¹⁴ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Jaén, Campus Universitario, 23071, Jaén. jmillan@ujaen.es

¹⁵ Departamento de Dinámica Terrestre y Observación de la Tierra. Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). José Gutierrez Abascal, 2. 28006 Madrid. j.lopez.ruiz@csic.es

¹⁶ Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. Universitat Politècnica de Catalunya. Campus de Manresa. mata@emrn.upc.edu

¹⁷ Departamento de Biología y Geología. IES El Escorial. El Escorial (Madrid). jose.antonio.pascual.trillo@gmail.com

¹⁸ Departamento de Biología y geología. IES Ramiro de Maeztu (Madrid). mluisaquintanilla@gmail.com

¹⁹ Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. i.rabano@igme.es a.rodrigo@igme.es

²⁰ Departamento de Geología. Universidad de Alcalá. C.N. II, km. 33,600. 28871-Alcalá de Henares (Madrid). luis.rebollo@uah.es

²¹ ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Edafología, Madrid. elvira.roquero@upm.es

Resumen Este trabajo describe qué se entiende por una persona alfabetizada en ciencias de la Tierra y selecciona los conocimientos básicos que debería poseer todo estudiante al finalizar la educación obligatoria, de forma que pueda disponer de una idea global sobre cómo funciona el planeta en que vive. Formula las diez ideas clave que sintetizan esos conocimientos básicos y los conceptos, principios y teorías que las sustentan, así como los procedimientos utilizados para construir estos conocimientos, para refutarlos o validarlos. La propuesta está pensada desde una perspectiva holística, que entiende la Tierra como un sistema en el que se producen interacciones entre sus componentes. Entre ellas se destacan las que tienen lugar entre la humanidad y el planeta.

Palabras clave: Alfabetización en ciencias de la Tierra, Geología, Curriculum, Educación secundaria.

Abstract This article defines what is meant by Earth Science Literacy, and describes the basic knowledge every student should have about it when finishing his/her secondary education, so that he/she can have an overall idea of how our planet works. This basic knowledge, as well as the concepts, principles and theories they are based on are synthesized in ten Big Ideas. The procedures that are used in order to build up, refute or validate this knowledge are put forward. The proposal stems from a holistic perspective in which the Earth is understood as a system where interaction takes places between its components, the stress being on the interaction between mankind and the planet.

Key words: Earth Science Literacy, Geology, Curriculum, Secondary Education.

INTRODUCCIÓN

Vivimos en un planeta en continuo cambio que, a escala de tiempo geológico, ha sufrido uniones y divisiones continentales, variaciones del nivel del mar, cambios climáticos, apariciones y extinciones de especies, un planeta en el que ocurren infinidad de fenómenos naturales como terremotos, erupciones volcánicas o inundaciones. Esta Tierra dinámica es nuestro hogar, de ella extraemos los recursos que necesitamos y de ella depende nuestra existencia así como la del resto de organismos que la pueblan. Las ciencias de la Tierra constituyen un campo de investigación en plena ebullición. Hace tiempo que dejaron de ser unas ciencias eminentemente descriptivas para ir enriqueciéndose con teorías explicativas y, en las últimas décadas, han experimentado un desarrollo vertiginoso incorporando sólidos componentes cuantitativos que han incrementado su capacidad predictiva. Todo ello ha hecho que las ciencias de la Tierra resulten imprescindibles para dar respuesta a muchas de las preguntas y demandas que se plantea la sociedad del siglo XXI.

Entender cómo funciona nuestro planeta debe ser un objetivo básico de la educación obligatoria. Sin embargo, el sistema educativo español propone unos conocimientos de ciencias de la Tierra escasos y desestructurados, incapaces de procurar en quien los posee una alfabetización en estas ciencias. El término “alfabetización” tiene aquí un significado análogo al que se le da desde la perspectiva lingüística, que no considera alfabetizada a una persona solo porque identifique y reproduzca las letras del abecedario sino que se espera de ella que sea capaz de comprender un texto o expresar por escrito una idea.

Una persona alfabetizada en ciencias de la Tierra debe alcanzar los siguientes objetivos:

- Tener una visión de conjunto acerca de cómo funciona la Tierra y saber utilizar ese conocimiento básico para explicar, por ejemplo, la distribución de volcanes y terremotos, o los rasgos más generales del relieve, o para entender algunas de las causas que pueden generar cambios globales en el planeta.
- Disponer de cierta perspectiva temporal sobre los profundos cambios que han afectado a nuestro planeta en el pasado y a los organismos que lo han poblado, de manera que le proporcione una mejor interpretación del presente.
- Entender algunas de las principales interacciones entre la humanidad y el planeta, los riesgos naturales que pueden afectarle, su dependencia para la obtención de los recursos o la necesidad de favorecer un uso sostenible de ellos.
- Ser capaz de buscar y seleccionar información relevante sobre algunos de los procesos que afectan a la Tierra, formular preguntas pertinentes sobre ellos, valorar si determinadas evidencias apoyan o no una conclusión, etc.
- Saber utilizar los principios geológicos básicos y los procedimientos más elementales y usuales de la geología, y valorar su importancia para la construcción del conocimiento científico sobre la Tierra.

La presente propuesta participa de esa perspectiva alfabetizadora y sintetiza el conocimiento fundamental que todo ciudadano debería tener sobre la Tierra y su funcionamiento, concretándolo en 10 ideas clave y en los conceptos y principios que sustentan cada una de ellas. Puesto que se trata de un conocimiento básico y fundamental, coincide con aquello que debería saber todo estudiante al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

Se han querido expresar estas ideas clave con el nivel de formulación que se considera adecuado para la etapa educativa obligatoria y, sobre todo, se han subrayado las relaciones entre dichas ideas, porque son esas relaciones las que pueden proporcionar una perspectiva global sobre la dinámica terrestre. Tanto el enfoque general que tiene esta propuesta como los criterios de selección de las ideas clave conectan con las iniciativas internacionales de mayor prestigio llevadas a cabo en los últimos años y son deudores del proyecto *Earth Science Literacy Principles* (<http://www.earthscienceliteracy.org>), auspiciado por la *National Science Foundation* y la *American Association for the Advancement of Science*, en el que participan las más importantes sociedades científicas americanas relacionadas con las ciencias de la Tierra y su enseñanza.

Esta propuesta para la *alfabetización en ciencias de la Tierra* ha sido posible gracias al esfuerzo conjunto de la práctica totalidad de las sociedades científicas españolas relacionadas con la geología y su enseñanza. Con ella se quiere ofrecer a las administraciones educativas una guía para la elaboración de los currículos de ciencias de la Tierra en la ESO, y al profesorado, una referencia para su tratamiento en el aula.

IDEA CLAVE 1

La Tierra es un sistema complejo en el que interactúan las rocas, el agua, el aire y la vida.

1.1. La consideración de la Tierra como un sistema ayuda a entender cómo funciona este planeta.

La perspectiva científica actual considera la Tierra un sistema integrado por unos componentes que interactúan entre sí de forma particular, generando unas propiedades emergentes que dotan al planeta de entidad propia. De acuerdo con este enfoque, entender el funcionamiento de la Tierra, su historia y su evolución presente y futura requiere no sólo analizar sus componentes sino también estudiar las interacciones que se producen entre ellos, así como las propiedades que surgen de estas interacciones.

1.2. El sistema Tierra está formado por cuatro subsistemas: geosfera, hidrosfera, atmósfera y biosfera.

La geosfera incluye un núcleo metálico, magma, rocas, sedimentos y suelo. La hidrosfera está formada por el agua en sus tres estados e incluye el hielo, el vapor de agua y el agua líquida en la atmósfera, el océano, los lagos y los ríos, así como el agua subterránea. La atmósfera es la capa de gas que rodea la Tierra. La biosfera incluye todos los seres vivos; se encuentran en muchas partes de la hidrosfera y

la atmósfera así como en la zona superficial de la geosfera. El ser humano forma parte de la biosfera.

1.3. Todos los procesos de la Tierra son el resultado de los flujos de energía y ciclos de materia dentro y entre los subsistemas terrestres.

El sistema Tierra tiene dos fuentes de energía: su calor interno y el Sol. El flujo de energía activa la circulación de materia. Los flujos de energía y los ciclos de materia generan cambios físicos y químicos en todos los materiales terrestres. En los ciclos de materia, grandes cantidades de determinados elementos químicos (C, O, N, P, S) son intercambiados entre los cuatro subsistemas terrestres.

1.4. La Tierra intercambia energía y materia con el resto del Sistema Solar.

La Tierra intercambia energía a través de la radiación solar entrante, la pérdida de calor al espacio y la gravedad. La Tierra gana materia por impactos de asteroides, meteoritos y cometas, y la pierde por escape de gases al espacio. Los intercambios de materia fueron especialmente relevantes en las primeras etapas evolutivas del planeta. Los impactos de grandes meteoritos y cometas en etapas posteriores no suponen ganancias sustanciales de materia, pero pueden generar importantes cambios en los subsistemas terrestres.

1.5. Los subsistemas terrestres interactúan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

Las interacciones operan a escalas que van desde dimensiones submicroscópicas a globales, mientras que su duración varía entre fracciones de segundo y miles de millones de años. No hay una relación lineal y simple entre la escala (espacial o temporal) a la que ocurre un proceso y la relevancia de sus efectos. Así, una interacción puede ser submicroscópica y tener efectos globales; y un proceso puede pasar desapercibido a la escala temporal humana y, sin embargo, generar cambios importantes en el planeta.

1.6. Los subsistemas de la Tierra son dinámicos.

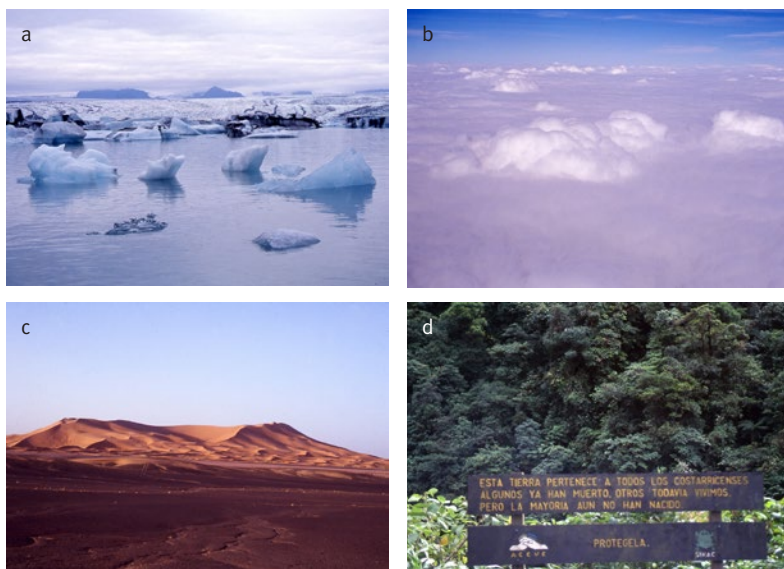
Los componentes de los subsistemas terrestres pueden permanecer estables, cambiar lentamente o hacerlo de forma súbita. Las variaciones en parte de un subsistema pueden causar nuevos cambios en él o en otros subsistemas, a menudo de manera compleja. Las consecuencias pueden ser impredecibles y/o irreversibles pero, en cualquier caso, son responsables de la evolución del planeta.

1.7. El clima es un ejemplo de cómo las interacciones complejas entre los subsistemas terrestres pueden ocasionar cambios impredecibles y significativos.

El registro geológico muestra la existencia de cambios climáticos globales que son el resultado de interacciones entre diversos componentes terrestres y extraterrestres del Sistema Solar (eventos tectónicos, vulcanismo, circulación oceánica, variaciones químicas de la atmósfera, actividad biológica, movimientos orbitales, etc.).

1.8. La actividad humana está alterando el planeta.

Las actividades desarrolladas por el ser humano están generando cambios significativos tanto



en la biosfera como en la hidrosfera, la atmósfera y la zona superficial de la geosfera. El resultado de estos cambios es, hoy por hoy, impredecible. El conocimiento de la historia de la Tierra ayuda a comprender estos cambios y puede sugerir medidas que contribuyan a corregir algunos de sus efectos más negativos.

IDEA CLAVE 2

El origen de la Tierra va unido al del Sistema Solar y su larga historia está registrada en los materiales que la componen.

2.1. Las rocas y otros materiales terrestres proporcionan un registro de la historia de la Tierra.

La geología y otras ciencias afines estudian la estructura y composición de los materiales terrestres y de los meteoritos para tratar de establecer la evolución de la Tierra a lo largo de su historia. La secuencia temporal de eventos y materiales terrestres se realiza aplicando principios sencillos y fundamentales en geología. La datación absoluta de minerales y rocas se basa en la geoquímica de radioisótopos y permite conocer la edad de procesos que ocurrieron en el pasado.

2.2. El Sistema Solar se originó a partir de una inmensa nube de gas y polvo.

De acuerdo con la teoría más aceptada, el Sistema Solar se formó por el colapso gravitatorio de una nube interestelar constituida por gases y partículas de polvo, que probablemente eran restos de cuerpos estelares preexistentes. La condensación de la mayor parte de estos constituyentes originó el Sol y en torno a él se formó un disco protoplanetario del que surgieron los planetas y demás cuerpos del Sistema Solar.

2.3. La Tierra se formó hace unos 4600 millones de años por múltiples colisiones de cuerpos planetarios más pequeños.

La Tierra se originó por la unión de planetesimales que formaban parte del disco protoplaneta-

Fig. 1. El sistema Tierra está formado por cuatro subsistemas: agua, aire, tierra y vida. Entre ellos se producen continuas interacciones. 1a: Lago proglacial Jökulsárlón (Islandia). 1b: Cielo nuboso de la Península Ibérica. 1c: Desierto en las proximidades de Ouarzazate (Marruecos). 1d: Parque Nacional en Costa Rica.

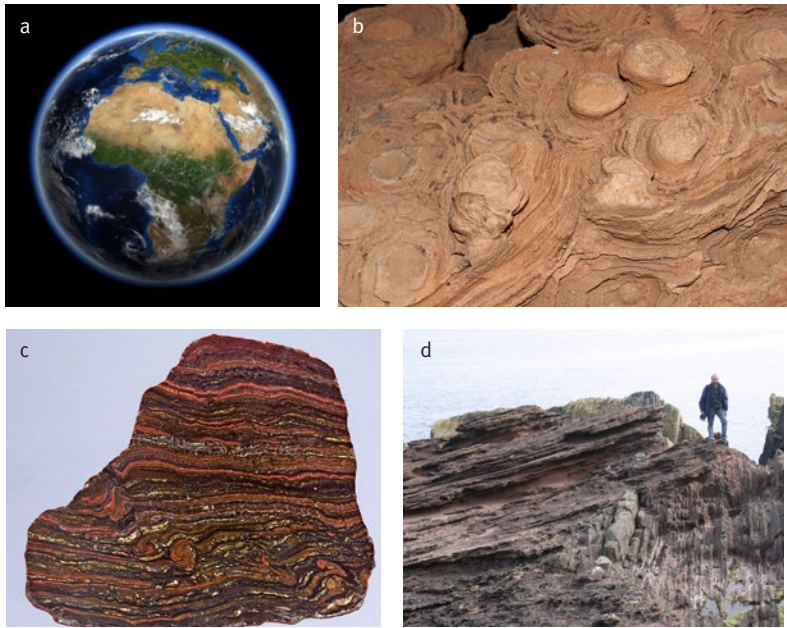


Fig. 2. La historia de la Tierra está registrada en los materiales que la componen. 2a: La ubicación de la Tierra en la zona interna del sistema solar hace que sea uno de los planetas pequeños, densos y rocosos (cortesía de la NASA). 2b: Los fósiles, como estos estromatolitos, constituyen un testimonio de la vida en el pasado (colección CosmoCaixa Barcelona; cortesía de Pau Renard). 2c: Las rocas registran también los cambios ambientales; así, la Gran Oxidación aparece documentada en las formaciones de hierro bandeado (BIF) (colección Museo de la Ciencia "Príncipe Felipe"; cortesía de Pau Renard). 2d: Las características de la Tierra son el resultado de los cambios ocurridos a lo largo de su historia; en la discordancia de Siccar Point, James Hutton imaginó la historia geológica de esta zona y percibió la inmensidad del tiempo geológico.

rio constituido en torno al Sol. El impacto de planetesimales y la desintegración de los radioisótopos de vida corta incrementaron notablemente la temperatura de la Tierra. La edad de la Tierra, como la del Sistema Solar en su conjunto, se estima en unos 4600 millones de años y corresponde a la edad absoluta más antigua determinada en meteoritos.

2.4. La Tierra es uno de los planetas pequeños, densos y rocosos del Sistema Solar.

Las características generales que la Tierra tiene como planeta vienen determinadas por su ubicación en la zona interna del Sistema Solar y la composición de los materiales que allí se concentraron. Así, los planetas que se originaron en esta zona son pequeños, rocosos y densos, características que los diferencian de los formados en la zona externa, que son grandes, ligeros y mayoritariamente gaseosos.

2.5. En la primera etapa de evolución de la Tierra tuvo lugar su diferenciación y su estructuración en capas.

Las altas temperaturas, las diferencias de densidad y las afinidades geoquímicas entre los elementos dieron lugar a una estructuración de la Tierra en capas de densidad decreciente: núcleo, manto, corteza, hidrosfera y atmósfera. El conocimiento que tenemos de las primeras etapas de la evolución terrestre se basa en la observación y el estudio de planetas y otros cuerpos estelares que apenas han cambiado desde su formación.

2.6. Los rasgos de la corteza terrestre son el resultado de la evolución geológica de la Tierra.

La corteza terrestre es la capa rocosa más superficial del planeta. Sus características geológicas son el resultado de la acción reiterada de los procesos geológicos a lo largo de la historia de la Tierra. Uno de los primeros efectos de esta evolución geológica fue su propia diferenciación en corteza oceánica y corteza continental, que generó una notable diferencia entre las altitudes medias de continentes y fondos oceánicos.

2.7. El conocimiento del pasado terrestre ayuda a entender el presente y permite hacer predicciones fundadas acerca del futuro.

Dado que las características que posee la Tierra son el resultado de los cambios ocurridos a lo largo de su historia, entender su funcionamiento actual requiere conocer los procesos que han intervenido en el pasado, las interacciones generadas y los efectos producidos. Cualquier proyección que pretenda hacerse hacia el futuro debe estar basada en el conocimiento de lo sucedido en el pasado.

2.8. La escala de tiempo geológico constituye el marco temporal en el que se ubica la evolución histórica de la Tierra.

La escala de tiempo geológico abarca desde los primeros registros geológicos datados, hasta la actualidad. Proporciona una referencia para la representación temporal de procesos y materiales geológicos, y establece divisiones y subdivisiones basadas en cambios generalizados (faunísticos, climáticos, eustáticos, químicos, etc.) que han quedado registrados en las rocas que, a su vez, se relacionan con eventos globales sucedidos a lo largo de la historia geológica de la Tierra.

IDEA CLAVE 3

Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua.

3.1. La Tierra está formada, mayoritariamente, por materiales rocosos cuyos constituyentes básicos son los minerales.

Los minerales son elementos o compuestos químicos naturales con estructura interna ordenada (cristalina). Se agrupan en agregados de uno o más minerales, formando rocas que se clasifican en función de su origen y composición.

3.2. Los elementos químicos más abundantes en las rocas y minerales de la corteza terrestre son oxígeno, silicio y aluminio.

La corteza terrestre está constituida principalmente por oxígeno, silicio y aluminio y otros elementos en menor proporción, tales como hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio y carbono. La mayor parte de ellos está contenida en los silicatos, los minerales más abundantes de la corteza terrestre y, en mucha menor proporción, en los carbonatos. Las rocas silicatadas, junto a las carbonatadas, son los materiales más abundantes en la superficie terrestre.

3.3. Solo una mínima parte de los minerales conocidos son constituyentes habituales de las rocas.

De los 4500 minerales conocidos apenas unas decenas son constituyentes habituales de las rocas. Muchos minerales tienen interés económico, aunque la gran mayoría son tan escasos que sólo tienen interés científico. Diversos procesos geológicos pueden hacer que minerales poco habituales en las rocas aparezcan concentrados en la corteza terrestre en lo que llamamos mineralizaciones o, en el caso de que tengan interés económico, yacimientos minerales.

3.4. Los minerales son de naturaleza tan diversa como diversos son sus usos.

Los minerales encierran en su composición la práctica totalidad de los elementos del sistema periódico, combinados de casi todas las maneras posibles y ordenados según estructuras cristalinas muy diversas. Las propiedades de los minerales dependen tanto de su composición como de su estructura cristalina. Los minerales, además de utilizarse para la obtención de metales y de otras sustancias químicas, también se utilizan por sus propiedades físicas y químicas en un amplio número de sectores industriales.

3.5. Los materiales terrestres se originan y modifican a través de procesos cíclicos.

Los procesos geológicos internos y externos cambian las condiciones físico-químicas en las que se encuentran los materiales terrestres favoreciendo su transformación a lo largo del tiempo geológico. Estos cambios pueden ser pequeños o grandes, continuos o episódicos, y graduales o catastróficos. Los procesos geológicos pueden sucederse en el tiempo afectando de forma cíclica a un mismo material geológico. Las rocas y sedimentos de la superficie terrestre, por efecto de la subsidencia y la tectónica, pueden alcanzar grandes profundidades incrementándose la temperatura y la presión que soportan. Así mismo, las rocas de zonas profundas de la corteza terrestre y del manto pueden llegar a alcanzar la superficie terrestre.

3.6. Las rocas ígneas se generan en el interior de la Tierra a altas temperaturas y presiones.

Los fundidos magmáticos se generan en zonas del manto y la corteza inferior con altas temperaturas y, debido a su menor densidad, ascienden hasta que se enfrían y solidifican. Si esto ocurre en el interior de la Tierra dan lugar a rocas ígneas plutónicas (p. ej. granitos), y si alcanzan la superficie terrestre originan rocas ígneas volcánicas (p. ej. basaltos). Los magmas pueden tener una composición variable aunque son, esencialmente, silicatados. Los magmas pueden ser más o menos fluidos y móviles en función, especialmente, de su menor o mayor contenido en sílice.

3.7. Las rocas metamórficas se originan a partir de otras rocas por acción de la temperatura y la presión.

Las rocas metamórficas son el resultado de la modificación de rocas preexistentes sometidas a cambios de temperatura y/o presión. Se originan en zonas más o menos profundas, normalmente asociadas a las partes más internas de las cordilleras orogénicas. La intensidad del metamorfismo depende de la temperatura y la presión, y es mayor en las zonas más internas de las cordilleras, o más próximas a la fuente de calor.

3.8. Las rocas que afloran en la superficie terrestre son alteradas por meteorización.

Los materiales terrestres que interaccionan con la hidrosfera, la atmósfera o la biosfera sufren una alteración superficial, llamada meteorización, cuya intensidad es variable en función del tipo de roca

original, del clima y del tiempo. La meteorización lleva consigo una disgregación de las rocas originales por disolución y movilización parcial o total de los componentes de los minerales más inestables, que deja como residuo a los componentes menos solubles. La meteorización potencia la actividad orgánica y es favorecida por ella dando lugar a la formación de suelos.

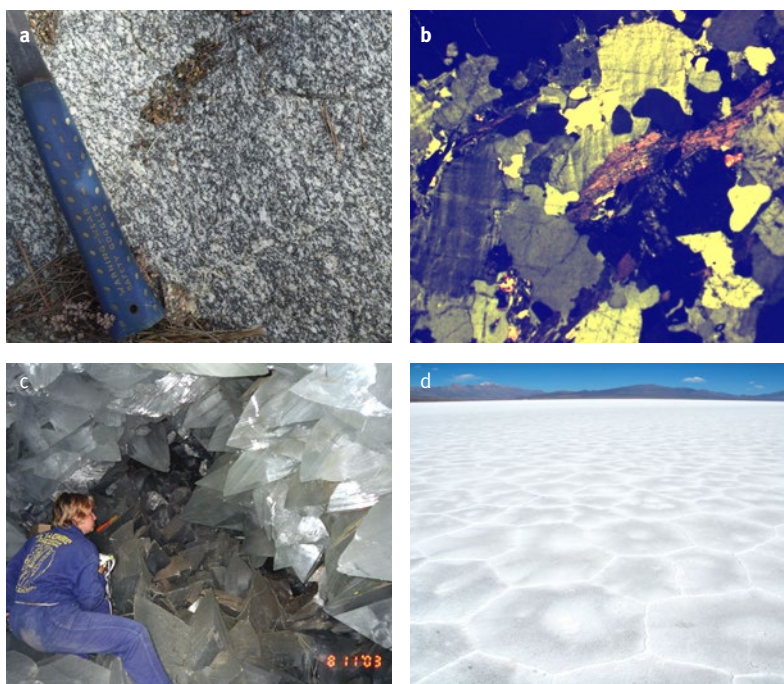
3.9. Los sedimentos y las rocas sedimentarias se originan por el depósito de componentes erosionados de otras rocas.

El agua, el hielo, el viento y la acción de la gravedad erosionan y transportan los fragmentos disgregados y las partículas meteorizadas de las rocas a zonas más bajas y, en último término, al océano, depositándose como sedimentos en las cuencas sedimentarias continentales y marinas. Procesos posteriores pueden transformar los sedimentos en rocas sedimentarias por compactación y/o cementación. Las rocas sedimentarias y sus componentes, incluidos los restos de organismos, proporcionan claves sobre las características geológicas, ambientales y geográficas de los medios en los que se formaron.

3.10. Las rocas sedimentarias suponen el principal archivo de la historia geológica y del desarrollo de la vida en la Tierra.

Los estratos constituyen la unidad elemental de las rocas sedimentarias. Se superponen unos a otros en función del tiempo, los más antiguos en la parte inferior y los más jóvenes en la parte superior. Este proceso es recogido por uno de los principios básicos de la geología, el de superposición de estratos, pilar de la estratigrafía, que utiliza las rocas sedimentarias como un registro histórico. Las rocas estratificadas contienen un registro de las formas de vida que han existido a lo largo del tiempo geológico (fósiles) y de los principales cambios que ha sufrido la Tierra.

Fig. 3. Las rocas se originan y cambian continuamente. 3a: Las rocas silicatadas, como este granito, son los materiales más abundantes en la Tierra (cortesía de M.C. Muñoz). 3b: De los 4500 minerales conocidos apenas unas decenas son constituyentes habituales de las rocas (la lámina delgada muestra algunos de los minerales más frecuentes) (cortesía de Javier Martínez). 3c: Los minerales son elementos o compuestos químicos naturales con estructura interna ordenada -cristalina- (geoda gigante de Pulpi) (cortesía de Ángel Rodríguez). 3d: Los materiales terrestres son tan diversos como lo son sus usos, así por ejemplo, las evaporitas del salar de Uyuni constituyen una importante reserva de litio.



IDEA CLAVE 4

El agua y el aire hacen de la Tierra un planeta especial.

4.1. La Tierra presenta dos envolturas fluidas: la hidrosfera y la atmósfera.

Las dos capas fluidas proceden de las aportaciones de cuerpos planetarios extraterrestres y de la desgasificación de la Tierra sólida ocurridas en las primeras fases de la evolución del planeta. La composición y estructura de estas capas ha cambiado mucho a lo largo de la historia de la Tierra.

4.2. La Tierra es un planeta singular debido a la presencia de agua.

La abundancia de agua líquida diferencia a la Tierra del resto de planetas del Sistema Solar. El agua está presente en todos los subsistemas terrestres, desde la atmósfera hasta las profundidades del manto. La existencia de agua en los océanos da la singular imagen exterior de la Tierra: un planeta azul. Disponer de agua líquida ha permitido el origen y desarrollo de la vida en el planeta y contribuido destacadamente a la acción geológica sobre el relieve.

4.3. El agua está presente en la Tierra en sus tres estados físicos y con una distribución muy variable.

La existencia de los tres estados del agua es debida a la temperatura de la Tierra, siendo el estado líquido el mayoritario en la superficie. Dicha temperatura viene determinada fundamentalmente por la distancia de la Tierra al Sol y la existencia de una atmósfera. La mayor parte del agua se almacena en los océanos; otra parte importante está contenida en los hielos glaciares, y le siguen con fracciones menores las aguas subterráneas, los ríos y lagos, el agua atmosférica y la que forma parte de los seres vivos.

4.4. La atmósfera ha cambiado notablemente su composición química a lo largo de la historia del planeta.

La atmósfera es la envoltura gaseosa que forma

la capa más externa y ligera del planeta. Está constituida fundamentalmente por dos gases: nitrógeno molecular (N_2), mayoritario, y oxígeno molecular (O_2). El resto, que no llega al 1%, incluye, entre otros, el argón (Ar), el dióxido de carbono (CO_2) o el vapor de agua (H_2O). Esta composición es muy diferente de la existente en las atmósferas de otros planetas, así como de la composición de la atmósfera primitiva terrestre, en la que el dióxido de carbono era mayoritario. Los cambios en la composición de la atmósfera se han debido fundamentalmente a la acción de la vida.

4.5. La composición y estructura de la atmósfera determinan algunas características fundamentales de la Tierra.

Los gases atmosféricos dejan pasar la mayor parte de la radiación visible solar, aunque algunos, como el ozono, absorben la radiación ultravioleta, muy perjudicial para la vida, y otros, como el dióxido de carbono, absorben la radiación infrarroja, que es también emitida por la superficie caliente de la Tierra hacia el espacio. Este último proceso eleva la temperatura media del planeta proporcionando el efecto invernadero. Tanto la composición atmosférica como la temperatura y la densidad del aire varían con la altura, diferenciando capas o estratos en la atmósfera. La troposfera es la capa inferior donde ocurren los principales fenómenos meteorológicos. Sobre ella se sitúa la estratósfera, que contiene la capa de ozono.

4.6. La hidrosfera y la atmósfera son sistemas dinámicos.

Las diferencias de temperatura en el aire y el agua producen un constante movimiento en ambos. La temperatura, la presión y humedad atmosféricas constituyen variables fundamentales en la dinámica de las masas de aire. La circulación general atmosférica viene determinada por las diferencias de insolación y está condicionada, principalmente, por la inclinación del eje de rotación del planeta, las corrientes marinas y la distribución de tierras y mares. El ciclo del agua o ciclo hidrogeológico es el modelo interpretativo que sintetiza la dinámica del agua en el planeta.

4.7. Los climas han variado a lo largo de la historia de la Tierra.

Los climas vienen definidos por las características medias de las variables meteorológicas de la atmósfera durante décadas. El tiempo meteorológico es la definición concreta de esas características en un periodo más corto. Los diferentes climas del planeta están controlados por factores físicoquímicos, biológicos, geológicos y astronómicos; y regulados por complejas interacciones entre la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la geosfera. La distribución y las características de los climas de la Tierra han cambiado a lo largo de la historia del planeta en función de esas variables. La actividad humana influye sobre el sistema climático mundial debido, fundamentalmente, a la emisión de gases de efecto invernadero que favorece el calentamiento global.

Fig. 4. La presencia de agua líquida en abundancia hace de la Tierra un planeta muy singular. 4a: La mayor parte del agua dulce se encuentra en forma de hielo glaciar (Argentina). 4b: Pero son las aguas subterráneas, como estas que surgen en el manantial del río Pitarque (Teruel) la principal reserva de agua dulce disponible para el consumo humano (cortesía de Pau Renard). 4c: El agua interactúa con el aire, las rocas y la vida (cataratas de Iguazú). 4d: La atmósfera ha cambiado notablemente su composición a lo largo de la historia de la Tierra (Fotografía: aguas termales de Nueva Zelanda; cortesía de Pau Renard).



IDEA CLAVE 5

La vida evoluciona e interacciona con la Tierra modificándose mutuamente.

5.1. Los fósiles constituyen el testimonio de la vida en el pasado y ayudan a entender el presente.

Los fósiles documentan el origen y la evolución de la vida en la Tierra a lo largo de millones de años. Proporcionan información sobre la edad de las rocas, y sobre los organismos, ambientes, climas y geografías del pasado. El conocimiento de esta historia resulta imprescindible para la interpretación, comprensión y prevención de los problemas que afectan al medio ambiente y a la especie humana en el presente.

5.2. El origen y evolución de la vida está ligada a la propia evolución de la Tierra como planeta.

Los fósiles más antiguos hallados hasta el momento tienen unos 3500 millones de años y corresponden a bacterias. Durante la mayor parte de la existencia de la Tierra, la vida estuvo constituida por organismos unicelulares. En ese tiempo se desarrollaron los principales procesos metabólicos y reproductores conocidos y se originó la célula eucariota. Los organismos pluricelulares surgieron hace unos 550 millones de años. La historia de *Homo sapiens* se limita a los últimos doscientos mil años, un tiempo que representa el 0,004 % de la historia de la Tierra.

5.3. La diversidad biológica surge de la evolución.

Todos los seres vivos, simples o complejos, son resultado de los procesos evolutivos. La biodiversidad pasada y actual es enorme y aún no se conoce en su totalidad. La variedad de diseños corporales a comienzos del Paleozoico (hace unos 500 millones de años) fue superior a la actual, mientras que a escala de género y especie la diversidad actual es mayor.

5.4. La evolución es un proceso natural y en desarrollo marcado por acontecimientos geológicos.

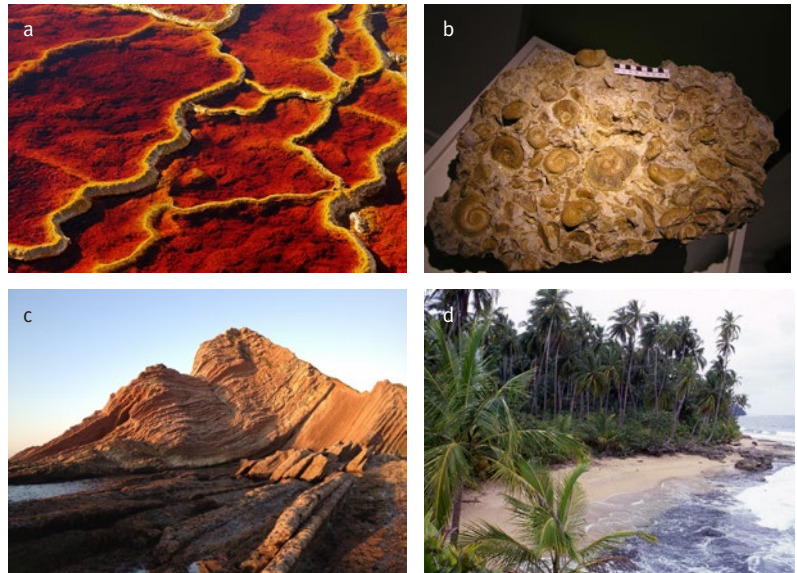
A lo largo de la historia de la Tierra, procesos geológicos con diferente ritmo temporal han causado continuos cambios en la configuración del planeta, en su clima y en sus ecosistemas, afectando a la supervivencia de individuos y especies. En esas condiciones, la vida ha evolucionado ocupando nichos nuevos, diversos y cambiantes. La extinción de las especies es un fenómeno natural que forma parte de la evolución.

5.5. La historia de la Tierra está marcada por importantes eventos de extinción y diversificación de los seres vivos.

Los eventos de extinción se producen a escala planetaria y suponen la desaparición de grupos de organismos muy diversos. Son causadas por cambios rápidos y/o intensos en las condiciones ambientales del planeta. Suelen desembocar en eventos caracterizados por la persistencia, aparición y diversificación de grupos de organismos que permiten la restauración de los ecosistemas.

5.6. Las particulares formas de vida que existen hoy, incluyendo la especie humana, son un resultado único de la historia de la Tierra.

Si esta historia hubiera sido diferente, la vida



actual sería distinta y los humanos podrían no haber aparecido. La evolución es un hecho sometido en parte al azar y no predecible. La aparición de cada especie es irrepetible, por este motivo su presencia en determinadas rocas puede utilizarse como medio de datación relativa de las mismas.

5.7. La vida ocupa un amplio rango de ambientes de la Tierra, incluyendo los ambientes extremos.

Los microorganismos constituyen una parte esencial de la biosfera terrestre. Fueron los únicos organismos constitutivos de la biosfera primitiva y hoy siguen siendo el grupo más extendido, abundante y diverso del planeta. Ocupan una gran variedad de ambientes planetarios. Algunos de estos ambientes soportan condiciones extremas y pueden ser similares a aquellos en los que se originó la vida y a los que probablemente existen en otros planetas y satélites.

5.8. La biosfera cambia las propiedades de la Tierra.

La biosfera cambia las propiedades físicas y químicas de la zona superficial de la litosfera favoreciendo, por ejemplo, la formación de determinadas rocas o la meteorización de otras. También cambia las de la hidrosfera y la atmósfera; así, hace unos 2000 millones de años los microorganismos provocaron que la atmósfera comenzase a ser oxidante. El registro fósil proporciona un medio para conocer las interacciones entre la biosfera y los demás subsistemas terrestres y comprender sus consecuencias en el pasado, presente y futuro del planeta.

Fig. 5. La vida y la Tierra interaccionan y se modifican mutuamente. 5a: El origen y la evolución de la vida está ligada a la evolución de la Tierra (Riotinto) (cortesía de Pau Renard). 5b: Los fósiles constituyen el testimonio de la vida en el pasado (colección del MUPE, Museo Paleontológico de Elche). 5c: La historia de la Tierra está marcada por importantes eventos de extinción, como el registrado en el límite K/T de Zumaia (cortesía de Asier Hilario). 5d: Las particulares formas de vida actuales son un resultado único de la historia de la Tierra (litoral del Caribe en Costa Rica).

IDEA CLAVE 6

La tectónica de placas es una teoría global e integradora de la Tierra.

6.1. La Tierra funciona como una enorme máquina térmica que no ha dejado de enfriarse desde que se formó.

El calor interno de la Tierra es el principal responsable de la intensa actividad del planeta. Ha ido disminuyendo desde las fases iniciales de la

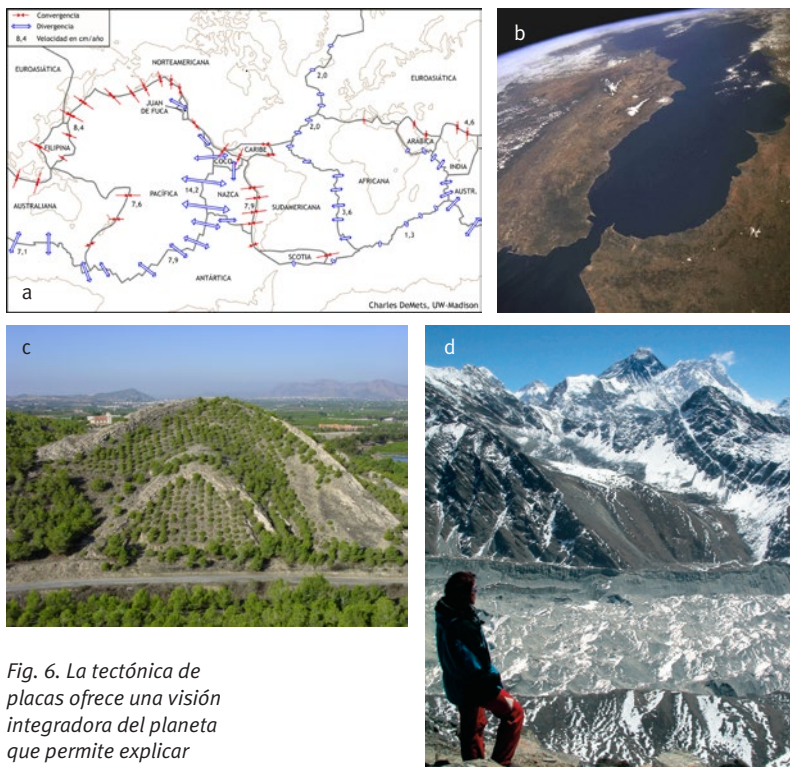


Fig. 6. La tectónica de placas ofrece una visión integradora del planeta que permite explicar muchos procesos geológicos.

6a: La litosfera se encuentra dividida en placas que se hallan en continuo movimiento (cortesía de Charles DeMets).

6b: La mayor actividad geológica se produce en los límites de placa (cortesía de la NASA).

6c: El movimiento de las placas genera esfuerzos que pliegan y fracturan las rocas (anticlinal del Pilar, sierra de Benerjúzar, Alicante).

6d: Los grandes rasgos del relieve terrestre están controlados por la dinámica de las placas litosféricas, la gravedad y el flujo térmico.

Panorámica del Everest desde el Gokyo Ri (Himalayas del Nepal). Autor: Expedició Pirineus de Girona. Everest 2006.

formación de la Tierra y, aunque su principal origen es residual, debe sumársele el producido por la desintegración radiactiva. Este calor fluye desde el interior hacia la superficie por convección y, en menor medida, mediante conducción y radiación.

6.2. El flujo térmico es el motor del movimiento de material en el interior terrestre.

Las diferencias de temperatura en los materiales terrestres causan diferencias de densidad y originan procesos de convección. La dinámica generada por el flujo térmico y la gravedad produce un continuo intercambio de materiales entre las diferentes capas de la Tierra que adquiere especial importancia a escala de millones de años.

6.3. El movimiento de material en el interior de la Tierra genera un campo magnético.

La existencia de un núcleo interno sólido y un núcleo externo fluido con procesos de convección, ambos ricos en hierro, genera el campo magnético de la Tierra. Dicho campo magnético desvía el viento solar, lo que favorece unas condiciones adecuadas para el desarrollo de la vida.

6.4. La actividad interna de la Tierra es responsable de la tectónica de placas.

La actividad en el interior terrestre se manifiesta en superficie a través del desplazamiento relativo de placas litosféricas. La teoría que relaciona esta dinámica interna con sus efectos en la superficie terrestre, conocida como tectónica de placas, es el pilar sobre el que se ha construido la geología moderna. Ofrece una explicación coherente e integrada de procesos tan diferentes como la unión y fragmentación de continentes, la distribución de volcanes y terremotos, o la ubicación de los grandes conjuntos de rocas en la corteza terrestre. En definitiva, ayuda a comprender cómo es y cómo funciona nuestro planeta.

6.5. La litosfera se encuentra dividida en placas que se hallan en continuo movimiento.

La litosfera es una capa rígida constituida por la corteza terrestre y una pequeña parte del manto. Se encuentra fragmentada en varias placas. Todas las placas litosféricas se desplazan; lo hacen a velocidades que oscilan entre algunos milímetros y varios centímetros al año. A lo largo de la historia de la Tierra, la desigual actividad en su interior ha producido cambios en la posición de las placas litosféricas, su forma, tamaño y número. Estos cambios continuarán mientras que la temperatura del interior terrestre sea suficientemente alta.

6.6. El movimiento de las placas deforma las rocas de la corteza terrestre.

El movimiento lento pero continuo de las placas litosféricas genera esfuerzos que pliegan y fracturan las rocas. El estudio de los pliegues, de las fallas y de otras estructuras geológicas nos aporta información sobre los cambios importantes que han ocurrido en la corteza terrestre, y sobre procesos activos como los terremotos.

6.7. Los bordes de las placas son las zonas de mayor actividad geológica.

La mayor actividad geológica (terremotos, volcanes, formación de cordilleras y de océanos,) se produce en los límites de placa, aunque todas las zonas del planeta están sometidas en mayor o menor medida a actividad. Los bordes de las placas litosféricas pueden ser divergentes, convergentes y transformantes. El tipo de movimiento relativo entre placas controla la naturaleza de los procesos geológicos que ocurren en estos límites, desde la formación de océanos, cuando las placas divergen, a la formación de cordilleras orogénicas, cuando convergen.

6.8. La acción conjunta del movimiento de las placas litosféricas, la gravedad y el flujo térmico controlan los grandes elementos del relieve terrestre.

Los grandes elementos del relieve terrestre como los continentes y los fondos oceánicos, las cadenas montañosas, las llanuras continentales, las dorsales oceánicas o las fosas marinas, entre otros, son resultado de la interacción entre la tectónica de placas, la gravedad y el flujo térmico.

IDEA CLAVE 7

Los procesos geológicos externos transforman la superficie terrestre.

7.1. Los procesos externos modelan el relieve y evidencian el dinamismo superficial del planeta.

Si los procesos geológicos internos originan las estructuras que definen las unidades de relieve, los procesos externos las modifican y modelan. Los procesos externos son un conjunto de fenómenos a través de los cuales se manifiesta la actividad geológica de un determinado agente. La mayor parte de los procesos comporta un transporte de materia y el origen de formas de erosión o acumulación. El clima, la naturaleza de las rocas y sus estructuras condicionan las características y los efectos de los procesos geológicos externos.

7.2. Los agentes y los flujos de energía son los causantes de la dinámica externa del planeta.

Los agentes externos son elementos materiales capaces de producir cambios en las rocas y los sedimentos como consecuencia de una variación de energía. Los más evidentes son el agua en todos sus estados (hielo, líquido y vapor), el aire y los seres vivos. La dinámica externa constituye un campo de interacciones complejo cuyo motor principal es la radiación solar cuando actúa sobre la atmósfera y la hidrosfera.

7.3. El campo gravitatorio terrestre hace que los materiales tiendan a desplazarse desde posiciones elevadas a otras más bajas.

La gravedad determina el sentido de la mayor parte de los movimientos de materia en la superficie terrestre. El aire frío desciende por los valles desde las cumbres, el agua se infiltra en los materiales porosos, los ríos fluyen desde su nacimiento hasta la desembocadura, los sedimentos viajan a favor de la pendiente. En algunos lugares la influencia de la gravedad se hace más patente originando flujos de materiales, deslizamientos, desprendimientos o colapsos, que, por otra parte, pueden ser causa de importantes riesgos geológicos.

7.4. Las aguas que circulan por las zonas continentales erosionan, transportan y sedimentan materiales.

Las aguas superficiales procedentes de las precipitaciones constituyen las aguas salvajes o de arroyada cuando discurren sin un cauce fijo. Su actividad erosiva es muy importante. En las zonas de pendiente muy pronunciada se forman los torrentes. Los ríos son cursos naturales de agua, más o menos continuos, que circulan por un cauce. La capacidad de erosión, transporte y sedimentación de los ríos depende, fundamentalmente, de su caudal y de la pendiente del terreno.

7.5. La acción geológica de las aguas marinas se manifiesta principalmente en las zonas litorales.

Los mares y océanos no son masas de agua en reposo. Su dinámica responde a diferencias de temperatura y salinidad, a su interacción con la atmósfera y a la atracción de la Luna y el Sol. La erosión, transporte y sedimentación de las aguas marinas se producen, fundamentalmente, a causa de los movimientos del agua: olas, mareas y corrientes. El balance entre erosión y sedimentación origina diferentes tipos de costa.

7.6. Los glaciares cubren casi un 10 % de la superficie terrestre.

Los glaciares son masas de hielo que se acumulan en aquellos lugares donde la precipitación de nieve supera las pérdidas por fusión. Este fenómeno sucede en latitudes altas o sobre grandes altitudes a causa de las bajas temperaturas reinantes. En los glaciares el hielo se desplaza lentamente por gravedad, con ello erosiona, transporta materiales y transforma el relieve. A lo largo de su historia, nuestro planeta ha tenido épocas climáticas más cálidas que la actual, también otras más frías en las que el volumen y extensión del hielo acumulado ha sido mucho mayor.

7.7. Los procesos eólicos tienen un papel importante en los ambientes áridos del planeta.

En los ambientes con escasa presencia de agua el movimiento del aire es la causa principal de las transformaciones geológicas. Los contrastes de temperatura y presión atmosféricas originan complejos circuitos capaces de transportar partículas de arcilla, limo, arenas y pequeños cantos. La acción abrasiva de estas partículas actúa como agente erosivo. El viento también puede originar determinados depósitos sedimentarios, como las dunas.

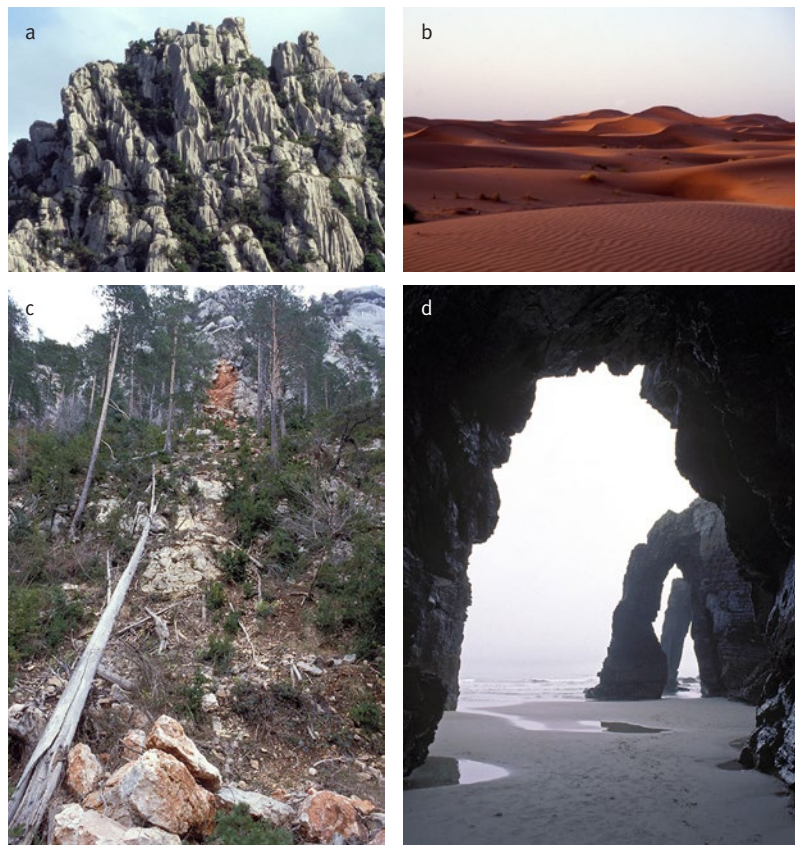
7.8 Los seres vivos también ejercen una actividad geológica.

La presencia de la vida en la Tierra interacciona con múltiples procesos en la superficie del planeta. Los seres vivos favorecen la destrucción y alteración de los materiales geológicos. Lo hacen a través de una acción mecánica, cuando las raíces de las plantas o los animales que viven en ambientes subterráneos disgregan las rocas y sedimentos. La acción química de organismos puede descomponer las rocas o generar compuestos que afectan a su estabilidad. La actividad constructiva de los seres vivos también es capaz de formar acumulaciones sedimentarias, como los arrecifes.

7.9. La especie humana es un agente activo que transforma la superficie terrestre.

La ocupación del territorio, la construcción de infraestructuras, la explotación de recursos geológicos, entre otras muchas intervenciones, ha hecho que la especie humana sea el primer agente de erosión, transporte y sedimentación en las zonas continentales, ejerciendo gran influencia en todos los sistemas del planeta.

Fig. 7. Los procesos geológicos externos modelan el relieve. 7a: El clima, la naturaleza de las rocas y sus estructuras condicionan los efectos de los procesos externos (paisaje kárstico de Mallorca, cortesía de Pau Renard). 7b: En los ambientes áridos los procesos eólicos desempeñan un importante papel (desierto en las proximidades de Ouarzazate, Marruecos). 7c: La gravedad determina el sentido de la mayor parte de los movimientos de los materiales en la superficie terrestre (desprendimiento de rocas en Els Ports, cortesía de Pau Renard). 7d: Las zonas litorales evidencian la acción geológica de las aguas marinas (playa de las Catedrales, Lugo; cortesía de Pau Renard).



IDEA CLAVE 8

La humanidad depende del planeta Tierra para la obtención de sus recursos y debe hacerlo de forma sostenible.

8.1. La Tierra es nuestro hogar, de ella obtenemos todos los recursos que utilizamos y a ella devolvemos los residuos generados.

Los recursos del planeta Tierra forjan civilizaciones, impulsan la exploración e investigación, y condicionan la evolución social y cultural. Los recursos naturales pueden ser renovables o no renovables. Entre los primeros se encuentran gran parte de los recursos biológicos, hídricos y atmosféricos, mientras que los segundos están constituidos casi exclusivamente por recursos geológicos. La elaboración y uso de muchos materiales y productos lleva aparejada la generación de residuos, que deben ser gestionados para su almacenamiento adecuado. Los residuos se reutilizan cada vez en mayor medida y, por tanto, pueden volver a ser considerados como recursos.

8.2. La geología afecta a la distribución y desarrollo de las poblaciones humanas.

Las características geológicas de un terreno condicionan su utilidad, y conocerlas resulta esencial para hacer una gestión del territorio ordenada y razonable. Las poblaciones humanas se han instalado históricamente en sitios geográfica y geológicamente favorables para la obtención de unos recursos que contribuyesen a su desarrollo social y económico. A veces, algunos de esos lugares de

asentamiento se encuentran en zonas de riesgo geológico y ocurren catástrofes naturales que destruyen parcial o totalmente poblaciones, que se reconstruyen o cambian de ubicación.

8.3. Los recursos naturales geológicos son limitados.

Los recursos naturales geológicos que proporcionan materia prima y energía no son renovables a la escala del tiempo humano, ya que sus periodos de formación se miden en millones de años y, por tanto, sus reservas son limitadas. Los minerales metálicos y no metálicos, rocas, petróleo y carbón, son gran parte de la materia prima que utilizamos, tanto en fabricación de productos, como en la generación de energía. Las aguas subterráneas constituyen otro recurso geológico que, si se gestiona adecuadamente, es renovable. Algunas de estas materias primas son muy escasas y otras han sufrido una intensa explotación, de manera que sus reservas están disminuyendo críticamente.

8.4. El suelo es esencial para diversos organismos y para la humanidad, constituyendo el sustento de la agricultura.

El suelo es un recurso tan importante como frágil. Se desarrolla lentamente a partir de la meteorización de los materiales superficiales y constituye el sustento de las actividades agrícolas. La principal amenaza del suelo es su degradación y erosión.

8.5. Las rocas y los minerales proporcionan los metales y otros materiales esenciales para muchas actividades industriales.

Los minerales y los metales se concentran a menudo en depósitos de interés económico. La explotación minera de estos depósitos proporciona materias primas para la industria. Las vías de comunicación y transporte, la construcción de edificios y grandes infraestructuras, la fabricación y uso de vehículos, electrodomésticos, dispositivos industriales y electrónicos, etc., son posibles gracias a las materias primas que se obtienen a partir de los minerales y rocas. Los minerales de uranio y otros minerales radiactivos se utilizan como fuente energética en las centrales nucleares para la producción de electricidad, si bien su uso es muy controvertido.

8.6. Los combustibles fósiles son recursos energéticos esenciales y de ellos se obtienen numerosos productos de uso cotidiano.

Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) constituyen nuestra principal fuente energética. Sin embargo, su utilización empieza a estar en recesión debido a la limitación de sus reservas y a los problemas ambientales originados por su uso, especialmente la generación de gases de efecto invernadero. Por ello resulta necesario reducir su consumo, así como reutilizar y reciclar sus residuos y los productos que se obtienen de ellos. El petróleo constituye una materia prima de primer orden para la obtención de diversos compuestos químicos utilizados en la fabricación de productos comunes, como plásticos, textiles, medicamentos, fertilizantes y otros productos industriales.



Fig. 8. La humanidad depende del planeta para la obtención de sus recursos. 8a: Muchos de los recursos que utilizamos no son renovables a escala humana (cantera en la provincia de Madrid). 8b: Los minerales y metales se concentran a veces en yacimientos de interés económico, como los de la faja pirítica (cortesía del "Archivo Histórico Minero de la Fundación Río Tinto"). 8c: Los recursos geotérmicos, como los explotados en esta planta de Islandia tienen aún un amplio margen de desarrollo. 8d: El suelo es un recurso tan importante como frágil.

8.7. Los geólogos, ingenieros y otros científicos desarrollan nuevas tecnologías que reducen los efectos de la extracción y proporcionan nuevos recursos.

La mejora de las tecnologías de extracción y de tratamiento mineral permite que tengan interés económico recursos minerales que en el pasado carecían de él. Al mismo tiempo los procedimientos utilizados y los residuos generados se controlan cada vez más para reducir su impacto sobre los ecosistemas, y para recuperar espacios degradados por la minería en el pasado. Algunos residuos, como los radiactivos, tienen un tratamiento especial debido a sus efectos nocivos para la salud y a su alta vida media, y el CO₂, por sus efectos sobre el cambio climático global. Para tales residuos los científicos investigan en el desarrollo de métodos y tecnologías para su neutralización y/o almacenamiento en trampas geológicas adecuadas.

8.8. La singular historia de cada uno de los lugares de la Tierra proporciona, además, una inmensa variedad de manifestaciones geológicas.

Los distintos agentes geológicos que han actuado a lo largo de la historia geológica en cada lugar de la Tierra son los responsables de que cada uno de ellos sea único e irrepetible. De ahí la gran diversidad geológica de nuestro planeta. La geodiversidad es una riqueza científica, cultural y educativa que debemos enseñar a apreciar y conservar, utilizando para ello las figuras contempladas en las normativas sobre el patrimonio geológico.

IDEA CLAVE 9

Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad.

9.1. Los riesgos naturales son consecuencia de ciertos procesos naturales.

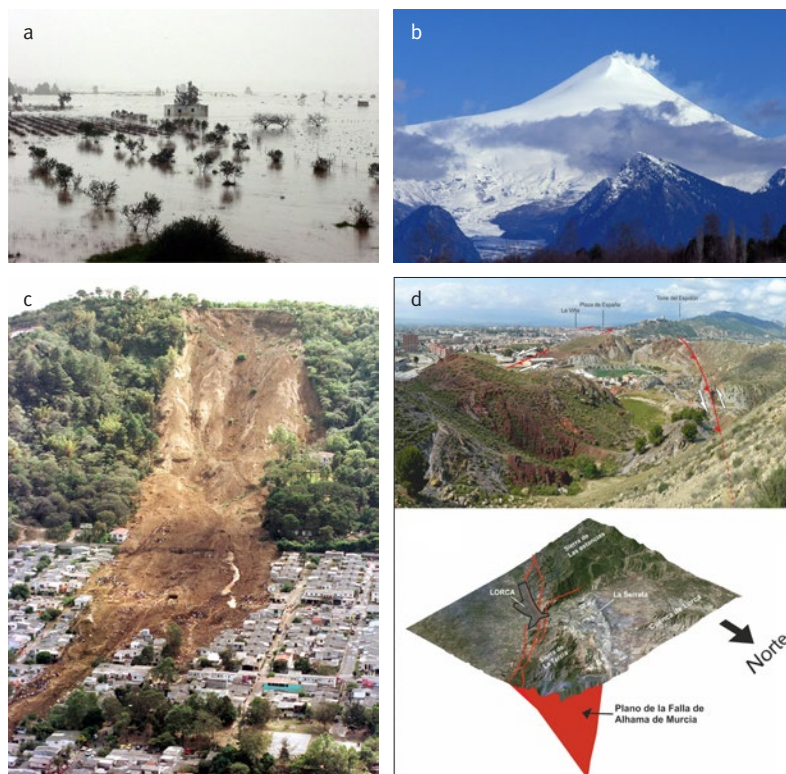
Algunos procesos naturales, como terremotos, tsunamis, huracanes, inundaciones, sequías, deslizamientos, erupciones volcánicas, eventos meteorológicos extremos, hundimientos, erosión costera, e impactos de cometas y asteroides pueden generar cuantiosos daños materiales y pérdida de muchas vidas humanas.

9.2. La afección de los riesgos a la humanidad viene determinada por la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad.

La importancia que adquiere un riesgo no depende sólo de la magnitud que puede alcanzar un proceso natural y de su frecuencia sino también de la cantidad de población expuesta y de su vulnerabilidad o susceptibilidad a ser dañada. Una alta exposición y/o vulnerabilidad pueden magnificar los daños causados por los procesos naturales. En la mayor parte de las ocasiones, la alta exposición y vulnerabilidad son las principales responsables de sus efectos catastróficos.

9.3. La peligrosidad puede deberse tanto a eventos repentinos como a graduales.

Los sucesos susceptibles de generar daños varían desde eventos súbitos, como terremotos y



erupciones volcánicas explosivas, a fenómenos más graduales, tales como sequías o cambios del nivel del mar, que pueden durar décadas o períodos más largos. Los cambios causados por procesos graduales, como la erosión o los cambios del nivel del mar, también pueden implicar riesgos para las poblaciones humanas.

9.4. Los eventos locales pueden tener repercusiones globales.

Los procesos naturales pueden producir impactos en zonas muy distantes del lugar en que se han generado debido a la interacción de los sistemas terrestres y a la interconexión de las sociedades humanas. Por ejemplo, una erupción volcánica en el océano Pacífico puede afectar al clima de todo el globo.

9.5. Los científicos mejoran las estimaciones sobre dónde, por qué y en qué medida existen riesgos naturales.

El estudio de los riesgos naturales se basa en el análisis de los procesos físicos, químicos, geológicos y biológicos que tienen lugar en la Tierra, en el conocimiento de lo ocurrido en el pasado en cada lugar y en el desarrollo de modelos que permiten analizar situaciones complejas y hacer proyecciones.

9.6. Las personas no pueden eliminar los procesos naturales peligrosos pero sí adoptar decisiones que reduzcan el riesgo.

La pérdida de vidas, el daño a las propiedades y los costes económicos pueden reducirse notablemente mediante la identificación de los lugares de alto riesgo, la reducción de la exposición, el desarrollo de sistemas de prevención, mitigación y alerta. En la actualidad el ser humano dispone de los conocimientos científicos suficientes y de la

Fig. 9. Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad. 9a: Las inundaciones constituyen en nuestro país el riesgo más importante tanto por el número de víctimas como por los daños materiales que originan (inundaciones en el Odiel, Huelva; cortesía de Juan Antonio Morales). 9b: Una erupción volcánica puede generar la fusión súbita del hielo acumulado sobre el cono volcánico; así ha ocurrido con el volcán Villarica que tiene una larga historia de desastres producidos por lahares (cortesía de Pau Renard). 9c: Las personas no pueden eliminar los procesos naturales peligrosos pero sí adoptar decisiones que reduzcan su riesgo (colinas de Santa Tecla, El Salvador; Agencia EFE por cortesía de Geólogos del Mundo). 9d: Estudiar los procesos naturales es un paso necesario para reducir los efectos catastróficos (falla de Alhama de Murcia, Lorca; cortesía de José J. Martínez-Díaz).

tecnología necesaria para evitar que la gran mayoría de fenómenos naturales tengan consecuencias catastróficas.

9.7. Una sociedad alfabetizada en ciencias de la Tierra es esencial para reducir drásticamente los riesgos naturales.

Las catástrofes naturales generan cada año decenas de miles de víctimas mortales y daños económicos por valor de centenares de millones de euros. Para reducir estas cifras no sólo se necesitan más y mejores estudios técnicos sino una población alfabetizada en ciencias de la Tierra que conozca los riesgos naturales, sepa actuar ante ellos y valore la importancia del desarrollo de políticas que tengan en consideración el conocimiento científico y técnico.

Fig. 10. Comprender cómo funciona la Tierra requiere el uso de principios, métodos y teorías proporcionados por la geología y otras disciplinas científicas. 10a: Los geólogos realizan observaciones directas sobre la estructura y composición de los materiales y recogen sus datos en mapas y otros sistemas de representación. 10b: Las investigaciones en ciencias de la Tierra requieren la utilización de una amplia gama de métodos y técnicas de estudio. 10c: Los avances tecnológicos, como la microsonda iónica SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe), proporcionan datos que contribuyen a mejorar nuestra comprensión de la Tierra (fotografía cortesía de Fernando Bea).

IDEA CLAVE 10

Los científicos interpretan y explican el funcionamiento de la Tierra basándose en observaciones repetibles y en ideas verificables.

10.1. Los científicos utilizan teorías, leyes y principios de diversas disciplinas para comprender cómo funciona nuestro planeta.

La diversidad de las características que poseen los subsistemas terrestres, la complejidad de sus interacciones y la naturaleza de algunos de los problemas relacionados con el funcionamiento de la Tierra exigen el uso de los principios, métodos y teorías proporcionados por la geología y por otras disciplinas científicas. Entender cómo funciona el planeta resulta necesario para abordar de manera fundamentada algunos de los grandes problemas a los que se enfrenta la humanidad, tales como la explotación de unos recursos minerales y combustibles fósiles limitados, el aprovechamiento adecuado de las aguas subterráneas, la predicción y prevención de catástrofes naturales, etc.

10.2. Las investigaciones en ciencias de la Tierra demandan la utilización de una gran variedad de procedimientos.

Las investigaciones en ciencias de la Tierra, dada la naturaleza de los problemas que abordan y la disparidad de escalas espaciales y temporales implicadas, requieren la utilización de una amplia gama de métodos y técnicas de estudio capaces de reunir múltiples líneas de evidencia. Estas líneas de evidencia se fundamentan en la observación y estudios sobre el terreno, el uso de herramientas de representación de datos en dos y tres dimensiones, el muestreo sistemático y representativo, la utilización de técnicas de análisis, estudios teóricos, ensayos experimentales reproducibles y en la modelización de procesos y sistemas.

10.3. El trabajo de campo es una herramienta básica para abordar la mayoría de las investigaciones o estudios en ciencias de la Tierra.

Los geólogos realizan observaciones directas sobre la estructura y composición de los materiales de la superficie terrestre, recogiendo sus datos en mapas y otros sistemas de representación. La cartografía geológica es un instrumento esencial para los estudios relacionados con el conocimiento del terreno y su uso.

10.4. Los geólogos utilizan métodos indirectos para examinar y comprender la estructura, composición y dinámica del interior terrestre.

Los científicos no tienen acceso directo al interior de la Tierra, de manera que para inferir sus características y estructura utilizan métodos geofísicos indirectos, como los basados en la sismología, la gravedad, el magnetismo, el sonar, etc., y experimentos de laboratorio sobre el comportamiento de minerales y rocas a altas presiones y temperaturas. También deducen la estructura y composición de las zonas más superficiales del interior de la Tierra a partir de la observación de la superficie terrestre, realizando mapas y cortes geológicos. Cualquier conclusión acerca del interior de la Tierra implica la coordinación de resultados procedentes de observaciones directas e indirectas.

10.5. Los avances tecnológicos, la mejora en las interpretaciones y las nuevas observaciones refinan continuamente nuestra comprensión de la Tierra.

El conocimiento científico se enriquece y evoluciona continuamente. Una teoría se considera científica si cumple tres condiciones: debe estar fundada, es decir, tiene que basarse en hechos, observaciones o experiencias; debe explicar estos hechos y observaciones dándoles sentido; y debe ser refutable, es decir, debe poderse comprobar si es o no correcta, recogiendo datos, utilizando modelos o realizando experiencias de laboratorio. Pero que una teoría sea científica no significa que sea definitiva o esté acabada, la realización de nuevas investigaciones y el uso de tecnologías más avanzadas permiten hacer interpretaciones cada vez mejor fundadas y elaborar modelos más potentes y ajustados a la realidad que mejoran nuestra comprensión de la Tierra.



10.6. Los científicos en colaboración con el profesorado pueden seleccionar los conocimientos básicos que favorecen la formación de unos ciudadanos alfabetizados en ciencias de la Tierra.

Algunos de los conocimientos acerca del funcionamiento de la Tierra no sólo resultan útiles a los investigadores sino que constituyen una base necesaria para el ejercicio de una ciudadanía responsable que debe estar en condiciones de intervenir, valorar y tomar decisiones sobre cuestiones que le afectan directamente, como el cambio climático, el agotamiento de los recursos naturales, la erosión de los suelos y desertización, los riesgos naturales... De ahí la conveniencia de seleccionar entre estos conocimientos aquellos que se consideran más básicos e instrumentales y, con los ajustes adecuados al nivel educativo, integrarlos en una propuesta formativa que proporcione a todos los estudiantes de la enseñanza obligatoria una alfabetización en ciencias de la Tierra.

Esta propuesta marco, *Alfabetización en ciencias de la Tierra*, debe ser un documento vivo que crece junto con los conocimientos cada vez más ajustados que los geólogos y el resto de científicos tienen sobre de la Tierra, y que conecta con las demandas de una sociedad cada día más globalizada e interdependiente. No en vano, la UNESCO (París, 2008) afirmaba en la declaración inaugural del Año Internacional del Planeta Tierra que *“todas las decisiones sobre la sostenibilidad deberían estar fundamentadas en la riqueza del conocimiento, existente y futuro, proporcionado por las ciencias de la Tierra.”*

BIBLIOGRAFÍA

National Science Foundation. (2009). *Earth Science Literacy Principles*. <http://www.earthscienceliteracy.org/>.

UNESCO. (2008). *Declaración presentada en el Acto Mundial de Inauguración del Año Internacional del Planeta Tierra (AIPT)*. París, 12-13 febrero. <http://www.yearofplanetearth.org/>

ORGANIZACIONES PARTICIPANTES

Este documento ha sido elaborado por una Comisión *ad hoc* creada a propuesta de las Sociedades Científicas y organizaciones que a continuación se relacionan e integrada por:

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA (AEPECT). David Brusí y Luísa Quintanilla.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA EL ESTUDIO DEL CUATERNARIO (AEQUA). Elvira Roquero.

CONFEDERACIÓN DE SOCIEDADES CIENTÍFICAS DE ESPAÑA (COSCE). José López Ruiz.

CONFERENCIA ESPAÑOLA DE DECANOS DE GEOLOGÍA (CEDG). Gabriel Ruiz de Almodóvar.

FORO ESPAÑOL DE GEOPARQUES. Ánchel Belmonte.

GEÓLOGOS DEL MUNDO (GM). Santiago Alcalde.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE DOCTORES Y LICENCIADOS EN FILOSOFÍA Y LETRAS Y CIENCIAS (CDL). Josep M^a Mata-Perelló.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS (ICOG). José Luis Barrera.

ILUSTRE COLEGIO OFICIAL DE GEÓLOGOS DE ANDALUCÍA (ICOGA). José Carlos Feixas.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME). Isabel Rábano y Ana Rodrigo.

INTERNATIONAL COMMISSION ON THE HISTORY OF GEOLOGICAL SCIENCES (INHIGEO- IUGS) (España). Emilio Pedrinaci.

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE HISTORIA NATURAL (RSEHN). José Antonio Pascual.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE GEOMORFOLOGÍA (SEG). Alberto González Díez.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MINERALOGÍA (SEM). Juan Jiménez Millán.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PALEONTOLOGÍA (SEP). Amelia Calonge y Esperanza Fernández- Martínez.

SOCIEDAD ESPAÑOLA PARA LA DEFENSA DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO (SEDPGYM). Vicente Cardona.

SOCIEDAD GEOLÓGICA DE ESPAÑA (SGE). Pedro Alfaro, Ana Crespo-Blanc y Luis Rebollo. ■

Fecha de recepción del original: 20/10/2012

Fecha de aceptación definitiva: 09/02/2013

