

# **LECTURA AMBIENTAL DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA**

David Brusi, Rogelio Linares, Lluís Pallí y Carles Roqué  
Unitat de Geologia. Departament de Ciències Ambientals  
Universitat de Girona

## **RESUMEN**

Los mapas geológicos y geomorfológicos son, además de una fuente de información científica notable, una herramienta necesaria para la toma de decisiones ante los múltiples problemas geoambientales que se relacionan con la planificación del territorio. En este trabajo se describe su utilidad social y económica y se proponen algunos ejercicios destinados a estudiantes de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.

## **INTRODUCCIÓN**

Es indudable que la cartografía constituye un instrumento imprescindible para la toma de decisiones en la planificación territorial. Los rasgos geológicos o geomorfológicos representados en un mapa aportan una información de evidente interés científico aunque a veces resulta difícil, para personas no especialistas, percibir la utilidad de este conocimiento en la vida cotidiana. A menudo son otras lecturas interpretativas, planteadas desde distintas perspectivas sociales y económicas, las que otorgan un valor añadido a los datos geológicos y geomorfológicos contenidos en los mapas.

La mayor parte de las cartografías temáticas se obtienen a partir de una información topográfica y geológica básica. Cuando un especialista elabora un mapa temático - en nuestro caso, un mapa geótico (Martínez-Torres, 1994) - suelen plantearse distintos tipos de problemas: ¿Cuáles son las zonas inundables de un territorio? ¿De dónde sería posible extraer gravas para usos constructivos? ¿Cuál es la localización más adecuada para un vertedero de residuos urbanos? ¿Es razonable realizar una captación de agua subterránea en un determinado lugar? ¿Qué tipo de cementación es la más apropiada para construir en un solar concreto?

Para resolver estas y otras muchas cuestiones, el experto suele seleccionar un conjunto de características representadas previamente en un mapa. A partir de ellas debe buscar nuevos datos hasta conseguir un conjunto acotado de variables que resulten significativas y que, una vez integradas, permitan una nueva representación cartográfica capaz de responder a la pregunta formulada. De este modo se elaboran los mapas de riesgos naturales, los mapas de rocas industriales, los mapas de vulnerabilidad, los mapas hidrogeológicos y los mapas geotécnicos, entre otros.

La asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente es un foro muy apropiado para demostrar que el conocimiento del medio físico y biológico es capaz de aportar elementos que ayudan a resolver problemas reales de índole social y económica y, en definitiva, garantizar la toma de decisiones responsables en muchas parcelas de actividad. Plantear la lectura interpretativa de mapas geológicos en un aula de Ciencias contribuye a formar a los futuros ciudadanos, demostrando a la vez que las Ciencias de la

Tierra y el Medio Ambiente no son una nueva disciplina sino un enfoque integrador al que la Geología puede aportar una información privilegiada.

## **LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA DE LOS MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS**

Los mapas geológicos y geomorfológicos son, en esencia, la representación gráfica de la información geológica de una zona de la superficie terrestre. Son el resultado de proyectar sobre una base concreta, en general un mapa topográfico, un conjunto de características de índole geológica.

Los elementos representados en los mapas geológicos pueden ser puntuales, lineales o superficiales. Los primeros son la plasmación gráfica de datos aislados, como por ejemplo los lugares de caídas de meteoritos, o la localización de cavidades cársticas o manantiales. Los elementos lineales representan rasgos de escasa amplitud como, por ejemplo, la red fluvial o el eje de un pliegue. También se obtienen representaciones lineales de la intersección de planos con la superficie del terreno; tal es el caso de una falla o de un límite entre capas. Los elementos representados como superficies reflejan características que se manifiestan sobre el terreno con cierta amplitud areal como por ejemplo las diversas litologías, la edad de las formaciones geológicas o las unidades del relieve. Aunque los datos geológicos suelen representar únicamente la parte más somera del terreno, de ellos se puede extrapolar la disposición en profundidad de distintos materiales y estructuras.

Algunos mapas se denominan de "isolineas" cuando sus trazos representan la distribución de franjas de igual valor o magnitud de un determinado conjunto de datos. El mapa topográfico es un mapa de isolineas por excelencia puesto que representa los valores de igual cota. También es un mapa de isolineas el mapa piezométrico o el de isóbatas del substrato de una determinada cuenca sedimentaria.

La escala de representación óptima de un mapa depende de la magnitud del objeto de estudio y del grado de precisión requerido para resolver el problema planteado. Es importante hacer notar que una escala de representación muy grande conlleva una resolución menor y viceversa. La elección de la escala más adecuada para resolver los problemas planteados es un requisito fundamental para una correcta lectura ambiental de la cartografía geológica. En general, en los mapas geomorfológicos la escala de representación suele estar muy ampliada puesto que, la mayor parte de las veces, las proporciones reales del elemento representado supondrían un grosor del trazo imperceptible. Esta exageración también se da en los elementos puntuales o lineales de cualquier mapa geológico.

Los mapas geológicos facilitan información precisa sobre:

La **diversidad litológica** de las formaciones geológicas aflorantes o subaflorantes (cubiertas por un suelo de escaso grosor). Su pertenencia a los distintos grupos rocosos permite contextualizar su origen en un determinado ambiente petrogenético. Su composición mineralógica o la textura de sus constituyentes pueden resultar influyentes en la caracterización del medio físico o en los factores desencadenantes de determinados procesos.

La **geometría tridimensional de las formaciones y estructuras geológicas**. La disposición geométrica y los límites de las rocas aflorantes, así como la orientación de las estructuras que las afectan, son los datos que permiten cuantificar la profundidad y el volumen de las formaciones geológicas y las deformaciones sufridas por los materiales a lo largo de su historia. Los mapas contienen información sobre superficies de estratificación, cambios laterales, discontinuidades, pliegues, fallas, alineaciones de esquistosidad, etc.

La **edad de las rocas y de las estructuras**. La Geología, como ciencia histórica que es, persigue como fin en sí mismo la secuenciación temporal de los elementos sujetos a su estudio. La cartografía geológica permite establecer una ordenación de los materiales y estructuras geológicas basada en el empleo de distintos métodos de datación relativa y absoluta.

Algunas **informaciones específicas**, referidas en su mayor parte a la localización de datos puntuales: sondeos, actividades extractivas, surgencias, yacimientos paleontológicos, valores de buzamiento o esquistosidad, etc.

Para facilitar su comprensión, los mapas geológicos suelen incluir esquemas de columnas estratigráficas de la zona, algunos cortes geológicos representativos o datos de sondeos.

Los mapas geomorfológicos representan las formas producidas por los procesos geodinámicos sobre las zonas más superficiales de un determinado territorio. Para su realización es preciso recurrir a la cartografía directa de las formas identificadas en el campo, si bien esta labor se ve enormemente apoyada en el análisis del mapa topográfico y en las técnicas de fotointerpretación de

imágenes aéreas y de satélites. A diferencia de los mapas geológicos, la cartografía geomorfológica no permite extrapolar datos a una profundidad muy grande. Facilita información sobre la edad de las formas representadas y sobre la relación entre éstas con los procesos que las han generado y los factores que han influido en su origen.

Algunas características geomorfológicas cuantificables como la pendiente, el grado de alteración, las tasas de erosión o la orientación de las laderas, entre otras, pueden ser cartografiadas cuando se definen intervalos de valores y éstos son representados en un mapa. En algunos estudios de síntesis se realizan mapas de unidades geomorfológicas que distinguen sectores de un territorio atendiendo a un conjunto de características físicas comunes.

Es habitual que las publicaciones cartográficas se publiquen acompañadas de una documentación complementaria a modo de guía. En ella se suele incluir un enmarcamiento de la zona, una descripción de los materiales y de las estructuras representados, una síntesis de los resultados de los análisis y determinaciones efectuadas, y una lista de los documentos consultados y de la bibliografía relacionada.

## **UTILIDAD SOCIOECONÓMICA DE LOS MAPAS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS**

La cartografía geológica y geomorfológica a escalas inferiores a 1:25.000 presenta el grado de detalle suficiente y contiene la información precisa para permitir extraer de ella lecturas

interpretativas aplicadas a la resolución de muchos problemas de índole socioeconómica.

Entre los campos de aplicación más evidentes (Roqué *et al.*, 1995) cabe reseñar:

### **La evaluación de los recursos naturales**

La cartografía geológica y geomorfológica aporta un conocimiento preciso en la identificación y localización de una gran parte de los recursos naturales de un territorio. Los datos contenidos en los mapas permiten conocer la disponibilidad de éstos y facilitan cualquier proyecto de conservación, protección o aprovechamiento de los materiales geológicos de uso industrial o constructivo, de las fuentes geoenergéticas o de los recursos hídricos de la zona.

### **La obtención de datos geotécnicos**

Las características físicas y geométricas de las formaciones geológicas de la zona se determinan a partir de un análisis especializado. Se obtienen así datos geotécnicos referidos a la composición de los materiales, el grado de consolidación o comportamiento mecánico, continuidad o discontinuidad de materiales y estructuras y estabilidad del terreno, entre otros. Todas estas variables resultan de inestimable utilidad en la planificación urbanística, en la arquitectura o en la ingeniería.

## **La identificación de procesos geológicos activos y el reconocimiento de los riesgos a ellos asociados**

La identificación y delimitación cartográfica de los procesos geológicos activos de un territorio permite evaluar su probabilidad de ocurrencia y sus áreas de afectación potencial. Entre los diversos riesgos geológicos destacan por su carácter catastrófico y extensión de los daños la sismicidad, el volcanismo y las inundaciones.

En menor grado de afectación se incluyen los riesgos de desprendimiento y movimiento del terreno, de hundimiento por colapso y de terrenos expansivos, entre otros. Todos ellos son de una enorme trascendencia económica y social. Los datos geológicos y geomorfológicos deben aportar una información valiosísima en la toma de decisiones respecto a calificaciones urbanísticas, planificación territorial, planes de evacuación, o valor del suelo, entre otras cuestiones.

## **La determinación del grado de vulnerabilidad potencial**

Los rasgos geológicos y geomorfológicos representados en los mapas definen la disposición superficial y en profundidad de materiales y estructuras y delimitan las distintas unidades morfodinámicas. A partir de la integración de distintas variables - propiedades geotécnicas, porosidad, permeabilidad, transmisividad, índice de peligrosidad frente a un riesgo, entre otras- es posible una interpretación correcta para evaluar la vulnerabilidad del terreno frente a la contaminación o afectación

de los recursos naturales. La ubicación de actividades potencialmente contaminantes como los vertederos de residuos, las gasolineras, las industrias y los cementerios requiere, a menudo, de criterios científicos objetivos que permitan determinar la idoneidad de su implantación.

### **La identificación y catalogación de puntos de interés geológico o geomorfológico**

La cartografía geológica y geomorfológica constituye una oportunidad única para recoger documentalmente aquellos elementos naturales que ostenten una especial relevancia y requieran, por ello, una identificación y protección específicas. Los puntos de interés geológico o geomorfológico representan parcelas territoriales o elementos aislados que por su contenido, singularidad o nivel de significación deben ser considerados como patrimonio de interés común. Generalmente su relevancia radica en su interés científico, docente o paisajístico. Desde cualquier unidad territorial es preciso conocer, acotar y, en su caso, proteger y gestionar estos puntos.

### **La atribución de usos para la localización de actividades**

De la confluencia de todas las aplicaciones de la cartografía geológica y geomorfológica de detalle, comentadas en los apartados anteriores, surge una nueva funcionalidad: la integración de las variables geológicas junto al resto de condicionantes de la planificación, lo que enriquece enormemente

la correcta atribución de usos territoriales. La contribución de los mapas geológicos y geomorfológicos a la toma de decisiones en la planificación territorial resulta especialmente importante.

### **El conocimiento científico territorial**

Desde un punto de vista más amplio, si cabe, la cartografía geológica y geomorfológica por sí misma, representa, en sentido estricto, una mejora del conocimiento científico. Los mapas geológicos y geomorfológicos facilitan datos de enorme utilidad para futuros estudios en numerosas disciplinas, constituyen una información de probada aplicación docente y, en definitiva, contribuyen al enriquecimiento de las bases de datos de los sistemas de información geográfica.

Resulta obvio indicar que las cartografías geológica y geomorfológica aportan distintos tipos de información y que el máximo nivel de funcionalidad se adquiere con la existencia de ambas y con una correcta interpretación de las mismas. También es preciso indicar que la utilidad de los mapas aumenta en relación directa al número de características cartografiadas, a la escala utilizada en la obtención de datos y al rigor y objetividad con la que los distintos parámetros hayan sido determinados.

Los usuarios directos o indirectos de este tipo de cartografías abarcan un amplio abanico de profesiones, tales como gestor y planificador urbanístico y ambiental, geógrafo, arquitecto, consultor ambiental, técnico de distintas administraciones,

constructor, sondista, docente, biólogo, historiador y arqueólogo, así como responsables políticos y empresarios de toda índole que requieran un conocimiento del medio físico para la planificación de sus actividades.

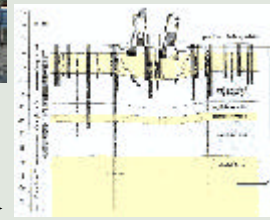
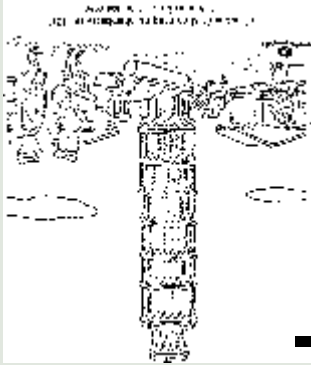
Del mapa geológico o geomorfológico se derivan unos beneficios económicos muy importantes, relacionados, fundamentalmente, con la ordenación y gestión del territorio y con la prevención de riesgos naturales, aspectos que ya han sido tratados anteriormente. Desde un punto de vista de la prevención y la responsabilidad del gestor territorial, es importante considerar que la reparación de los efectos que algunos procesos geológicos causan sobre las infraestructuras y personas supone un coste enormemente superior a la inversión derivada de la confección de una cartografía preventiva.

La información contenida en los mapas geológicos y geomorfológicos facilita la resolución de estudios posteriores de aplicación más concreta, por lo que el coste de éstos se reduce en gran medida. En este mismo sentido, la carencia de estos mapas implica que, ante cada nuevo problema relacionado con el medio geológico, se ha de realizar un estudio específico, lo que conlleva costear múltiples proyectos cuya información no es reutilizable.

Por todo ello, la cartografía geológica y geomorfológica constituye una base imprescindible para la gestión racional del medio, de la que se derivan unos beneficios no sólo económicos, sino también culturales, sociales y ambientales que hacen de ella una inversión rentable.

1

La Torre Inclinada de Pisa



Inicio de las obras: 1174

Primeros estudios geotécnicos: 1934

Materiales con problemática especial



Actuaciones iniciais en 1988

Situación en 1999



# 2

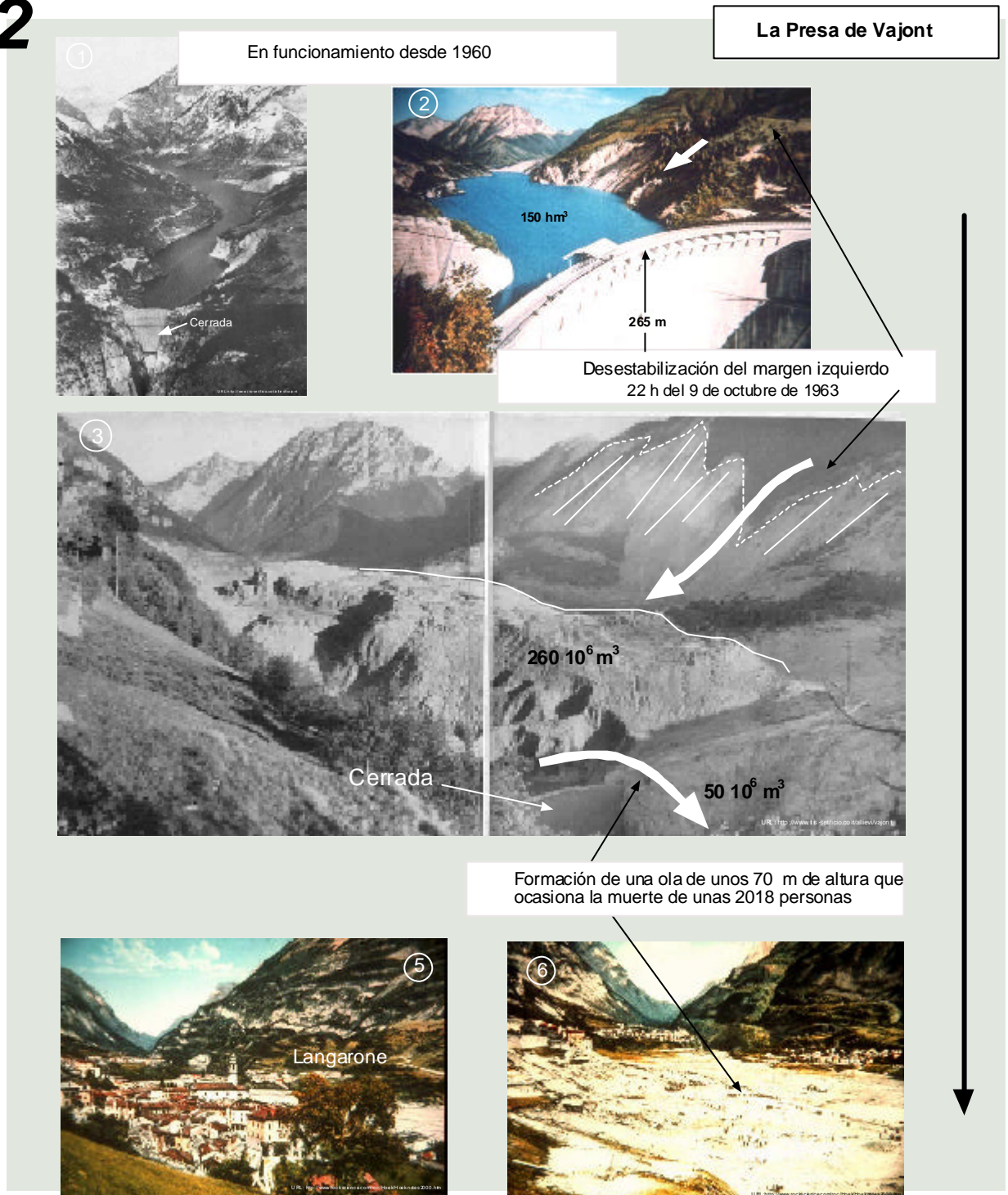


Figura 2.- Ejemplos de desatención o de fallos en la aplicación de criterios geológicos-geotécnicos en las obras de ingeniería civil. 1: La Torre Inclinada de Pisa; 2: Materiales con problemática especial. Efectos provocados por arcillas expansivas en taludes de la autovía A-18 en las inmediaciones de Terrassa (Barcelona); 3: Rotura de las presa de Vajont (Italia) .  
Fuente: Elaboración propia. La Torre Inclinada de Pisa: dibujo extraído de Costa y Baker (1981), sección geológica de URL: <http://www.torre.duomo.pisa.it/towersposters.htm> y fotografía del Área de Geodinámica Externa de la UdG. Materiales con problemática especial: fotografías del Área de Geodinámica Externa de la UdG. Presa de la Vajont: fotografías extraídas en URL: <http://www.rockscience.com/roc/HoeK/HoeKnotes2000.htm> y en URL: <http://www.ilis-setificio.coit/allievi/vajont> y Área de Geodinámica Externa de la UdG.

## **LA "ISLA PARAÍSO". UNA PROPUESTA DE ACTIVIDADES BASADA EN LA LECTURA AMBIENTAL DE MAPAS GEOLÓGICOS**

Son muchas las publicaciones que aportan información y sugieren ejercicios sobre mapas geológicos. Sólo para destacar algunas de las editadas en España cabría indicar las de Martínez-Álvarez (1985), Ramón Lluch y Martínez-Torres (1993), o Guerra-Merchán (1994). Estas excelentes contribuciones se circunscriben, sin embargo, a la resolución de problemas estrictamente geológicos. Son contados los trabajos en los que se plantean lecturas interpretativas de la información geológica desde un enfoque medioambiental (Bach y Linares, 1996; Bach *et al.*, 1998; Luzon *et al.*, 1998; etc.).

La propuesta que aquí presentamos es una reformulación de algunas de las actividades publicadas en un trabajo anterior (Linares *et al.*, 1999) en el marco de una unidad didáctica para la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.

"Isla-Paraíso" sugiere un conjunto encadenado de ejercicios de interpretación de mapas para ser realizado con alumnos de secundaria o universidad que hayan adquirido anteriormente los conocimientos necesarios sobre determinados procesos geológicos. Su enfoque pretende ir más allá de la simple comprensión de estos rasgos para inducir una lectura interpretativa de los mismos a partir del planteamiento y resolución de un problema en línea plenamente coincidente con las reflexiones que valoran la utilidad de este tipo de estrategias de aprendizaje (Caballer, 1993; García de la Torre, 1994; Jaén, 2000).

Como objetivo general se pretende que el alumno asuma que los usos del territorio están determinados, en gran parte, por las posibilidades y limitaciones que nos imponen los rasgos y procesos naturales ya que la consideración de estos por sí solos no es suficiente y por tanto precisa una integración de la información procedente de otros campos.

El conjunto de actividades que se proponen en "Isla Paraíso" ha debido restringirse, necesariamente, a unos pocos rasgos geológicos. Los ejercicios se basan en la geología imaginaria de una isla de origen volcánico a la que se han añadido informaciones que conforman un escenario sometido a distintos riesgos naturales derivados, principalmente, de la dinámica interna.

## **Bibliografía**

BACH, J.; LINARES, R. (1996) *Ciències de la Terra i del Medi Ambient. Exemple de segon nivell de concreció i unitat didàctica*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. Direcció General d'Ordenació Educativa.

BACH, J.; CORREIG, T.; GRAU, R.; DE MANUEL, J.; TEJERO, F. (1998) "Propuesta de actividades en Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: trabajando gradientes ambientales con isolínias", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 6.1, pp. 79-88.

CABALLER, M.J. (1993) "Planteamiento de problemas como estrategia de aprendizaje en la Enseñanza de la Geología. Aspectos didácticos de Ciencias Naturales (Geología)". ICE. Universidad de Zaragoza. 5, pp. 77-110.

GARCÍA DE LA TORRE, E. (1994) "Metodología y secuenciación de las actividades de Geología de campo", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 2.2. y 2.3, pp. 340-353.

GUERRA-MERCHÁ, A. (1994) *Mapas y cortes geológicos. Interpretación y resolución de problemas geológicos*. CEP - Málaga. Junta de Andalucía. Consejería de Educación y Ciencia.

JAÉN, M. (2000) "¿Cómo podemos utilizar en Geología el planteamiento y resolución de problemas?", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.1, pp. 69-74.

LINARES, R.; BACH, J.; BRUSI, D. (1999) "Dinàmica interna: Processos derivats i la seva gestió. Unidad didáctica de la materia

Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente". En: *El Batxillerat. Currículums i materials de suport*. CD-Rom, ISBN: 84-393-4814-2 1999. Generalitat de Catalunya. Departament d'Ensenyament. Direcció General d'Ordenació Educativa.

LUZON, A; SIRVENT, J.; SORIA, M. (1998) "Propuesta didáctica para la asignatura de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente: la explotación de recursos minerales y la evaluación de su impacto ambiental", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 6.3, pp. 258-263.

MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, J.A. (1985) *Mapas geológicos. Explicación e interpretación*. Editorial Paraninfo, 3ª edición.

MARTÍNEZ-TORRES, L.M. (1994) *Principales tipos de mapas geológicos*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

RAMÓN LLUCH, R.; MARTÍNEZ-TORRES, L.M. (1993) *Introducción a la cartografía geológica*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 3ª edición.

ROQUÉ, C.; PALLÍ, L.; BRUSI, D.; CAPELLÀ, I. (1995) "Geological and Geomorphological cartography at scale 1:10.000: A tool of management for towns". *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Cartographic Conference and 10<sup>th</sup> General Assembly of ICA*. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, pp. 2433-2467.