

La cartografía geológica: aspectos metodológicos actuales y perspectivas futuras

A cartografia geológica: aspetos metodológicos atuais y perspectivas futuras

Geological mapping: present methodological aspects and future perspectives

Fernando Pérez-Valera¹, Juan Alberto Pérez-Valera² & Luis Alfonso Pérez-Valera³

*1. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante, 03690 San Vicente del Raspeig, España
fperez@ua.es*

2. Departamento de Paleontología, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, España

3. Centro Avanzando en Ciencias de la Tierra, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, España

PALABRAS CLAVE: Cartografía geológica, Mapas geotemáticos, Geofísica aerotransportada, Trabajo de campo

PALAVRAS CHAVE: Cartografia geológica, Mapas geotemáticos, Geofísica aerotransportada, Trabalho de campo

KEY WORDS: Geological mapping, Geothematic maps, Airborne geophysics, Fieldwork

RESUMEN

La Cartografía Geológica constituye hoy día una de las herramientas más útiles en el campo de las Ciencias de la Tierra. Desde sus inicios, en el siglo XIX, se ha puesto de manifiesto su importancia para el conocimiento y gestión de los recursos naturales y ha ido evolucionando hasta la actualidad, incorporando las nuevas tecnologías. Sin embargo, algunos aspectos metodológicos clásicos siguen siendo necesarios y no pueden ser olvidados, como el trabajo de campo, por lo que hoy día es necesario combinar la metodología clásica (trabajo de campo, laboratorio y gabinete) con nuevas herramientas que permiten una mejora en aspectos tan diversos como la toma digital de datos en el campo, o el uso de técnicas geofísicas aerotransportadas. La tendencia actual es la generación de mapas geotemáticos que incluyan información complementaria derivada de la información geológica (mapas geomorfológicos o de procesos activos). En este sentido, la cartografía geotemática se presenta como una herramienta de futuro que va más allá del conocimiento geológico puro y se convierte en un instrumento más interdisciplinar, consiguiendo que aspectos geológicos importantes para el desarrollo de una región estén presentes en otros sectores más allá del estrictamente geológico (p.ej., recursos minerales y ordenación del territorio).

RESUMO

A Cartografia Geológica constitui, hoje em dia, uma das ferramentas mais uteis no domínio das Ciências da Terra. Desde os seus inícios, no século XIX, que tem vindo a ser destacada a sua importância para o conhecimento e gestão dos recursos naturais, tendo

vindo a evoluir até à atualidade, incorporando as novas tecnologias. Todavia, alguns aspetos metodológicos clássicos continuam a ser necessários e não podem ser esquecidos, assim como o trabalho de campo, pelo que hoje em dia é necessário combinar a metodologia clássica (trabalho de campo, laboratório e gabinete), com novas ferramentas que permitam melhorar aspetos tão diversos, como a recolha digital de dados no campo, ou o uso de técnicas geofísicas aerotransportadas. A tendência atual passa pela criação de mapas geotemáticos que incluam informação complementar, derivada da informação geológica (mapas geomorfológicos ou de processos ativos). Nesse sentido, a cartografia geotemática apresenta-se como uma ferramenta de futuro que vai para além do conhecimento geológico puro e se converte num instrumento mais interdisciplinar, conseguindo que aspetos geológicos importantes para o desenvolvimento de uma região estejam presentes noutros setores, para além do estritamente geológico (p.ex., recursos minerais e ordenamento do território).

ABSTRACT

Geological mapping can be considered today one of the most useful tool in the Earth Sciences. From its beginning in the last XIX century, geological mapping has become relevant for the knowledge and management of the natural resources, evolving to the present and incorporating new technologies. However, some classical methodological aspects are still necessary and cannot be forgotten, as the field work. Now is necessary to combine the classical methodology (fieldwork, laboratory and cabinet) with new tools that allow an improvement in aspects as diverse as the digital capture of data in the field, or the use of airborne geophysical techniques. The current trend is the generation of geothematic maps that include complementary information derived from geological information (geomorphological maps or active processes). Therefore, geothematic mapping is presented as a tool of the future that goes beyond pure geological knowledge and becomes a more interdisciplinary instrument, making geological aspects important for the development of a region present in other sectors (e.g., mineral resources and land-use planning).

1. INTRODUCCIÓN

Hace prácticamente dos siglos, en 1815, tenía lugar uno de los primeros hitos en la cartografía geológica mundial: la aparición del primer mapa geológico realizado en Inglaterra, que supuso un gran cambio en la concepción de la geología y constituyó un gran avance para el estudio y aprovechamiento de los recursos geológicos, entre otras cosas. En España, el primer mapa geológico tardaría unos años más en llegar. Frédéric Le Play publica en París en 1834 un mapa geológico de Extremadura y el norte de Andalucía, que hasta la fecha es considerado como el primer mapa geológico de una región española (BOIXEREU, 2008). A partir de este momento la cartografía geológica ha ido evolucionando paralelamente al desarrollo de las Ciencias de la Tierra, en general, y de la Geología en particular para desarrollar mejoras en los mapas geológicos. Durante este proceso de casi dos siglos de duración, la metodología y las técnicas han cambiado notablemente, al igual que los objetivos finales de los mapas geológicos. En la Península Ibérica, este proceso de evolución del mapa geológico y la historia de la cartografía geológica es relativamente conocida, especialmente durante el siglo XIX (p. ej. FROCHOSO ÁLVAREZ & SIERRA SÁNCHEZ, 2004), donde se abarcan aspectos interesantes acerca de la contextualización histórica e institucional del mapa geológico en una sociedad todavía poco madura con los conocimientos geológicos. Durante el siglo XX también son numerosos los avances en el campo de la cartografía geológica, que se recogen en trabajos como los de BLÁZQUEZ (1992) o GARCÍA CORTÉS (2005) entre otros muchos. Los progresos realizados en la metodología y elaboración de los mapas geológicos hacen que hoy día, la cartografía geológica como técnica sea una herramienta fundamental para todo tipo de estudios geológicos en campos muy diversos de las Ciencias de la Tierra.

Los mapas geológicos constituyen actualmente la manera gráfica más común de representar en dos dimensiones la geología de una región concreta. Precisamente, el paso de la información tridimensional del terreno a un formato manejable y entendible por los usuarios, es la clave del éxito de esta metodología, que resulta esencial para el conocimiento de los materiales geológicos que existen en la superficie de la Tierra. Para la realización de un mapa geológico es necesario aunar distintas disciplinas de la geología, que aunque por sí mismas tienen entidad propia, necesitan relacionarse entre sí para establecer un marco adecuado y coherente que sirva como modelo de la región de la cual se quiere hacer un mapa geológico. Disciplinas como la estratigrafía, sedimentología, geología estructural, petrología, paleontología, geomorfología, etc., deben de ser utilizadas en conjunto para el conocimiento integral de una región concreta. El mapa geológico es, en definitiva, una síntesis de todas estas disciplinas, mas las que puntualmente puedan ser de ayuda, y por ello, la cartografía geológica debe de englobarlas a todas ellas.

En el presente trabajo se realiza un análisis metodológico y actualizado de la cartografía geológica con especial atención en la introducción de las nuevas técnicas cartográficas, sobre todo las relacionadas con el avance de los sistemas de información geográfica y su aplicabilidad en la cartografía geológica.

2. LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Desde los primeros momentos en los que surge la necesidad de plasmar en un mapa geográfico las unidades geológicas, la metodología de trabajo ha consistido básicamente en dos aspectos, que siguen siendo válidos en la actualidad: 1) trabajo de campo y 2) trabajo de gabinete, aunque en la realidad el proceso es más completo (Figura 1). Hoy día, habría que añadir un aspecto cronológicamente anterior a estos dos, que sería la recopilación de trabajos previos y el análisis de la información cartográfica disponible, y un paso intermedio, que es el trabajo de laboratorio. El análisis de la información previa de una región viene a partir de dos vías. La primera de ellas es la existencia de cartografías a distintas escalas que ya existen publicadas previamente. En España, precisamente debido a la creación en el siglo XIX de la Comisión Nacional para el Mapa Geológico (precursor del actual Instituto Geológico y Minero de España), existe una serie cartográfica prácticamente completa a escala 1:50.000 de todo el territorio nacional (plan MAGNA, p.ej., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, 2000), que debe de constituir el punto de partida para cualquier cartografía geológica puntual. Pero no solo habría que centrar los estudios previos en las cartografías existentes. Otra parte importante del trabajo recopilatorio previo debe de centrarse en la búsqueda de monografías, artículos de investigación, etc. que existan sobre la región concreta que se quiere cartografiar, o sus zonas limítrofes. En estos estudios aparece con frecuencia información muy útil desde muchos puntos de vista, que posteriormente podremos incorporar, discutir, o actualizar en nuestro mapa geológico.

2.1. El trabajo de campo

Desde los principios de los trabajos de geología en general, el trabajo de campo ha sido la parte más importante para la recogida de datos y observaciones en muchas disciplinas de la geología, por no decir prácticamente todas. Resulta también fundamental, por tanto, a la hora de realizar un mapa geológico. Sin embargo, aunque parezca sencillo, abordar el trabajo de campo puede no ser una tarea fácil. Existen multitud de variables que pueden hacer del trabajo de campo algo tan necesario como difícil. En este sentido, no existe un manual perfecto que recoja una metodología única y fija y dependerá de muchos factores, muchos de ellos incluso no geológicos.

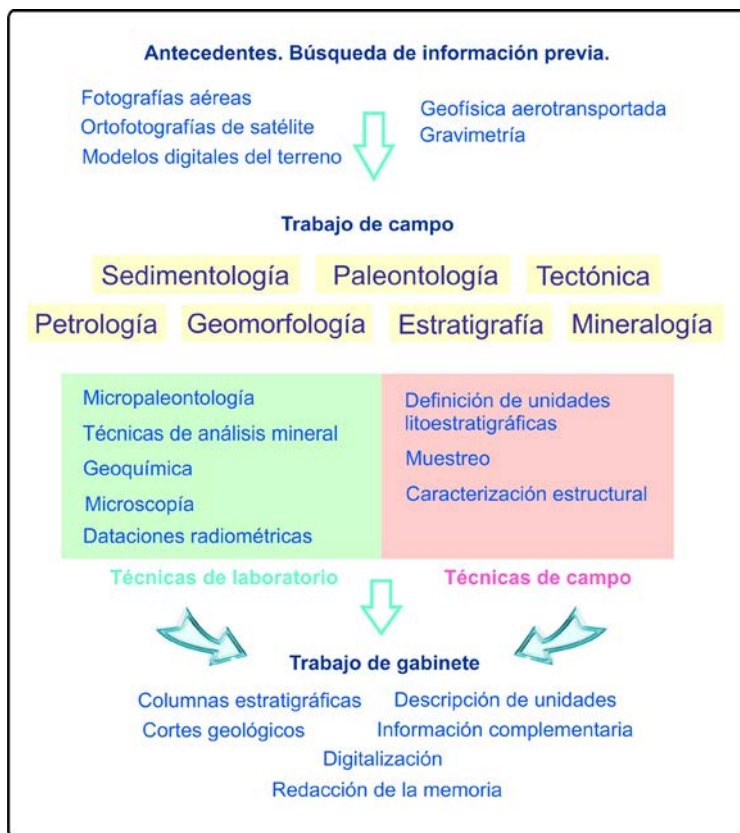


Figura 1. Esquema conceptual simplificado de los pasos y técnicas básicas en la cartografía geológica.

El primer objetivo en esta fase de trabajo de campo debe de ser la delimitación de unidades litoestratigráficas en el campo, que constituirá la base del futuro mapa geológico. Las unidades litoestratigráficas son cuerpos de roca caracterizados por unas propiedades litológicas comunes, que las hace diferenciables y distinguibles (p.ej., VERA, 1994). Para la delimitación de estas unidades es necesario conocer muy bien las características que las distinguen, y de esta manera poder poner sus límites. En muchas ocasiones esta es una tarea compleja, sobre todo cuando hay unidades litoestratigráficas de características similares, aunque lo más frecuente es que se puedan diferenciar bien. La manera de trabajar en esta fase es la clásica, es decir, realizar itinerarios y observaciones en puntos clave y recoger todos los datos útiles de los afloramientos (litología, facies, fábrica, dirección y buzamiento, etc.), que serán diferentes según sea el tipo de roca que se presente (sedimentaria, metamórfica o ígnea). En el trabajo clásico, los datos se anotan en la libreta de campo y también se dispone en papel de una base cartográfica, bien topográfica o, en ocasiones de fotografías aéreas verticales (aerotransportada), o más recientemente, de ortofotografías de satélite. De éstas últimas actualmente existen diversos sitios en la red de donde se pueden visualizar y descargar.

Sin embargo, las nuevas técnicas que han surgido en las últimas décadas, sobre todo desde el punto de vista digital, con la introducción de sistemas de posicionamiento global, sistemas de información geográfica (GIS), dispositivos portátiles

(ordenadores, tabletas o incluso smartphones) han disparado las posibilidades y las opciones de poder realizar una toma de datos digital en el campo (JONES *et al.*, 2004), que podría superar algunas de las limitaciones que tiene la manera clásica de toma de datos, añadiendo información espacial, fotográfica, etc. a cada punto de observación. En último extremo, en los dispositivos móviles actuales existen una docena de aplicaciones (sistema Android) que permiten tomar medidas de estructuras planares o lineales directamente en el campo, pero éstas siempre deben de ser comprobadas con brújulas, pues se ha demostrado que las diferencias de precisión pueden superar los 80° (NOVAKOVA & PAVLIS, 2017).

2.2. *El trabajo de laboratorio*

Paralelamente al desarrollo del trabajo de campo, se deben de ir haciendo diferentes trabajos que podrían incluirse en esta categoría. Nos referimos a diversos tipos de estudios que engloban disciplinas como la micropaleontología, mineralogía, petrología o geoquímica, que necesitan de un trabajo de laboratorio distintas técnicas.

El trabajo de laboratorio debe de considerarse esencial para que los resultados de la cartografía sean óptimos. Frecuentemente existe una diferencia cronológica entre el trabajo de laboratorio y el de campo, que hay que tener en cuenta. En la mayor parte de los casos, los datos procedentes del laboratorio llegan cuando la fase de campo está bastante avanzada, por lo que en normalmente vienen a precisar los datos de campo, ayudando a corregir posibles errores. Un ejemplo donde este aspecto es muy patente viene en relación con las dataciones por micropaleontología de formaciones sedimentarias. En zonas donde no existen trabajos previos, o los que existen son muy antiguos, la datación precisa de las unidades que se cartografían es un aspecto primordial, pues puede ser que varias unidades litoestratigráficas tengan características similares pero muestren diferencias considerables en la edad. Hasta no obtener los datos del laboratorio, realizados por especialistas, no se podrá completar la cartografía. De la misma manera, en los estudios petrológicos, el análisis de lámina delgada en rocas metamórficas o ígneas vendrá a precisar aspectos tan importantes como el nombre exacto de las rocas que se están cartografiando y en ocasiones, podrán obtenerse edades radiométricas que en la fase de gabinete habrá que ajustar.

Los avances en las técnicas de laboratorio han sido también muy notables, y dependiendo de cómo sea la zona que se está cartografiando, se utilizarán unas u otras. En cualquier caso, actualmente existe tal grado de especialización que se requerirá colaboraciones específicas con grupos de trabajo y centros de investigación o incluso, empresas comerciales que puedan ayudar en los trabajos de laboratorio.

2.3. *El trabajo de gabinete*

Esta fase corresponde básicamente a la generación del mapa geológico, y quizá es donde mayores avances y nuevas técnicas se han introducido, comparativamente con el trabajo de campo. Las técnicas de representación cartográfica han evolucionado desde la manual, es decir, dibujar a lápiz o rotulador las unidades litoestratigráficas sobre una base topográfica, hasta hacer esto mismo con distintos programas informáticos que generen un producto final digital, en lugar de una hoja impresa en papel.

El uso de técnicas digitales para la elaboración de mapas geológicos ha supuesto una verdadera revolución en este campo en las últimas décadas (WHITMEYER *et al.*, 2010). La imparable evolución tanto del hardware como del software ha permitido que existan dispositivos portátiles con una gran autonomía y potencia,

capaces de funcionar con los sistemas operativos globales y con aplicaciones incluso específicas y adaptadas a los dispositivos de tamaño más pequeño (p.ej., la versión ArcPAD de ArcGIS). Existen gran cantidad de programas para las diversas plataformas (p.ej., Windows o Linux) que cada vez están mejor adaptados a la cartografía geológica digital, y que realmente constituyen un gran paso respecto al tratamiento de los datos mediante un sistema analógico. Además de estos programas, aspectos como la generación de trazas cartográficas creadas en lenguaje KML (Keyhole Markup Language), reconocibles en programas tan populares como Google Earth, y su exportación a sistemas de información geográfica (SIG) han evolucionado mucho y se están usando ampliamente (BALLAGH *et al.*, 2011). Por todo esto, el paso del formato 2D en papel al formato digital del mapa geológico en 3D (Figura 2) es una realidad que además, facilita la comprensión de la cartografía geológica para sectores de la sociedad que no pertenezcan al ámbito geológico (THORLEIFSON *et al.*, 2010).

Además de la generación del propio mapa geológico, otro aspecto importante en el trabajo de gabinete es la redacción de un texto explicativo sobre el mapa geológico que debe incluir aspectos esenciales como la descripción de las unidades, dataciones, leyenda, esquemas regionales y estructurales, cortes geológicos, etc. Esta información es muy valiosa para que el mapa geológico cumpla su función de conocer y valorar la región cartografiada. En programas estatales de cartografía normalmente existe una normativa muy precisa sobre cómo se debe de realizar la memoria de una hoja geológica y todos los aspectos que debe de contener.

2.4. Otras técnicas

Aparte de la metodología anteriormente descrita, existen otras herramientas y técnicas adicionales que pueden ser utilizadas en cualquiera de las fases de elaboración de un mapa geológico. Entre estas técnicas, se pueden destacar los datos obtenidos a partir de sensores aerotransportados, y están siendo ampliamente utilizadas en zonas donde los trabajos de campo son complejos, debido a la orografía del terreno, o a la existencia de una cobertera densa de vegetación, que impide que la toma de datos directamente en el terreno no sea la óptima. Básicamente, los datos son de dos tipos: magnéticos y radiométricos.

En el caso de los datos magnéticos, éstos se obtienen a partir de un magnetómetro instalado en avión que va tomando datos del campo magnético. El producto final, tras el procesado y los cálculos realizados, es un mapa aeromagnético, que dependiendo de las zonas y las características ferromagnéticas de las rocas, puede resultar muy interesante y complementario a la cartografía geológica, sobre todo si existen unidades con una fuerte señal magnética. La elaboración de los mapas aeromagnéticos puede llegar a ser compleja, pudiéndose generar hasta tres tipos de mapas diferentes: campo magnético total, campo magnético reducido al polo y gradiente magnético vertical. En lo referente a la interpretación, los mapas de campo magnético reducido al polo son los más utilizables para la cartografía, debido a que las anomalías por inducción se localizan sobre la vertical de la fuente magnética. Aparte de esto, estos mapas también ayudan a una interpretación estructural directa, pudiéndose ver grandes lineamientos estructurales (Figura 3). Por su parte, los mapas de gradiente magnético vertical permiten un análisis estructural más detallado y próximo a la superficie por lo que se refiere a la localización precisa de los contactos magnéticos, las fallas de segundo y tercer orden, las estructuras de plegamiento e incluso, la cartografía de diques e intrusiones, etc. (p.ej., GARCÍA-LOBÓN & AYALA, 2007).

En la obtención de los datos radiométricos, lo más frecuente es la identificación de la radiación gamma natural de K, Th y realizar diagramas ternarios K-Th-U. Según los casos, la signatura radiométrica de las unidades puede servir para establecer

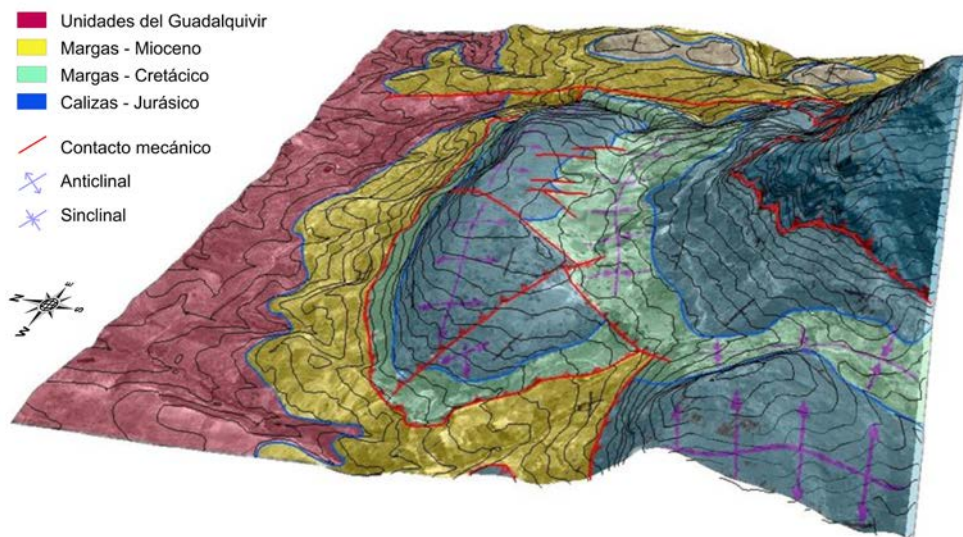


Figura 2. Mapa geológico en 3D del sector de Jimena (provincia de Jaén), sobre base conformado por una ortofotografía aérea superpuesta al Modelo Digital del Terreno.

contactos litológicos entre unidades en regiones difíciles de trabajar sobre el terreno, y en ocasiones, identificar rocas por su alta o baja radiactividad. Por ejemplo, las regiones con rocas básicas o sus derivados metamórficos tienen baja radiactividad, mientras que las regiones con calizas suelen tener firmas de U+Th o de K+U si se trata de litologías más margosas.

3. LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA. PERSPECTIVAS DE FUTURO

En la actualidad el mapa geológico está considerado como uno de los productos más útiles para el conocimiento del terreno desde muchos puntos de vista. Aspectos tan diversos como la exploración de recursos minerales, la ordenación del territorio (BROOK & MARKER, 1987), o el propio conocimiento científico, por ejemplo, necesitan de una cartografía geológica previa que ponga en conocimiento la geología de cada sector y que esté en un formato accesible para cualquiera de los usuarios que quiera disponer de la información. Por esta razón, serían innumerables los usos y aplicaciones de los mapas geológicos para el desarrollo de una región.

Como se ha visto en las secciones previas, la cartografía geológica sigue evolucionando y, por tanto, no puede considerarse una técnica antigua ni olvidada. Las aplicaciones de los mapas geológicos siguen estando de actualidad y son muy útiles para muchos aspectos de la sociedad. En este sentido, la proliferación de técnicas de apoyo a la cartografía geológica, sobre todo desde el desarrollo de los sensores remotos, ha influido notablemente en el avance de las herramientas complementarias para la realización de mapas geológicos, fundamentalmente en el caso de áreas inexploradas o de difícil acceso. Además, estas regiones han servido de zonas donde se han probado las propias técnicas, permitiendo una retroalimentación del proceso, donde en algunos casos, el mapa geológico ha servido para testear y mejorar estas técnicas.

La utilización de las nuevas tecnologías tanto para la toma de datos en el campo, como para la generación del mapa geológico final, sigue estando en continua

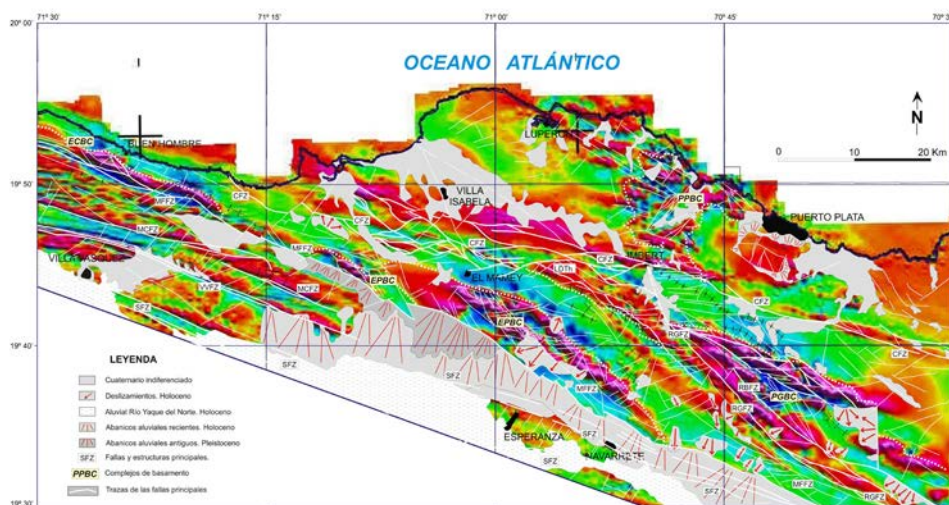


Figura 3. Mapa del gradiente magnético vertical (en sensor aerotransportado) de la Cordillera Septentrional de la República Dominicana, con las estructuras y dominios geológicos superpuestos, donde se ve la correlación entre el mapa magnético y la cartografía geológica.

mejora e implementándose cada vez más. Paralelamente, el desarrollo creciente de las técnicas complementarias (laboratorio) hace que hoy día se pueda disponer de buenas herramientas para la realización de la cartografía geológica, y constituye un campo de trabajo para los profesionales de la geología. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la irrupción de todas las herramientas modernas no debe de ir en detrimento del trabajo de campo, que siempre constituirá la base de los datos para construir un mapa geológico. Actualmente, en muchas regiones de España, sería necesario visitar las zonas y realizar una actualización de la cartografía, pues se han producido muchos avances en el conocimiento geológico que no aparecen en los mapas geológicos del plan MAGNA.

Una de las propuestas integradoras más recientes de la cartografía geológica es la llamada cartografía geotemática. Bajo esta denominación se engloban, además de la cartografía geológica básica (normalmente realizada a escala 1:50.000), distintos subproductos cartográficos que no son estrictamente geológicos, pero que tienen su aplicación sobre todo, en procesos geológicos que guardan relación directa con la ordenación, gestión y aprovechamiento del territorio. En este sentido, son destacables los mapas geomorfológicos y los mapas de procesos activos, que se convierten en mapas que pueden ser usados directamente para gestionar el terreno, fundamentalmente en materia de riesgos geológicos. También existen subproductos cartográficos que tienen que ver con la geoquímica de suelos o con los recursos mineros, convirtiendo a la cartografía geotemática en una herramienta que va más allá del propio conocimiento geológico y que tiene su utilidad en la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLAGH, L.M., RAUP B.H., DUERR R.E., KHALSA S.J.S., HELM C., FOWLER D. & GUPTA A. 2011. Representing scientific data sets in KML: methods and challenges. *Computer Geoscience*, **37**: 57-64.

- BOIXEREU VILA, E. 2008. El boceto de un mapa geológico de Extremadura y Norte de Andalucía de Frédéric Le Play (1834): Primer mapa geológico realizado en España. *Boletín Geológico y Minero*, **119**(4): 495-508.
- BROOK, D. & MARKER, D.R. 1987. Thematic geological mapping as an essential tool in land-use planning. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publications* **4**: 211-214.
- FROCHOSO SANCHEZ, M. & SIERRA ALVAREZ, J. 2004. La construcción de los mapas geológicos españoles del siglo XIX: Observación, conceptualización y representación. *Éria*, **64-65**: 221-259.
- GARCÍA-CORTÉS, A. 2005. La cartografía geológica en España desde Guillermo Schultz hasta la actualidad en: *Miscelánea Guillermo Schultz (1805-1877)* I. RÁBANO y J. TRUYOLS Eds. *Cuadernos del Museo Geominero. Instituto Geológico y Minero de España*, **5**: 153-177.
- GARCÍA-LOBÓN, J.L. & AYALA, C. 2007. Cartografía geofísica de la República Dominicana: datos de densidad, susceptibilidad magnética y magnetización remanente. *Boletín Geológico y Minero*, **118**(2): 175-194.
- JONES R.R., KENNETH J., MCCAFFREY W., WILSON, R. & HOLDSWORTH, R.E. 2004. Digital field data acquisition: towards increased quantification of uncertainty during geological mapping. In: *Geological Prior Information: Informing Science and Engineering*, Andrew CURTIS and Rachel WOOD, Eds. Geological Society, London, Special Publications, 239: 43-56.
- NOVAKOVA, L. & PAVLIS, T.L. 2017. Assessment of the precision of smart phones and tablets for measurement of planar orientations: A case study. *Journal of Structural Geology*, **97**: 93-103.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L.R. 2000. Los mapas geológicos producidos por el Instituto Tecnológico Geo-Minero de España: Evolución, actualidad y futuro. *Boletín Geológico y Minero*, **11**: 15-36.
- THORLEIFSON, H., BERG, R.C. & RUSSELL, H.A.J. 2010. Geological mapping goes 3-D in response to societal needs. *GSA Today*, **20** (8): 27-29.
- VERA, J.A. 1994. *Estratigrafía: principios y métodos*. 816 págs. Ed. Rueda, Madrid.
- WHITMEYER, S.J., NICOLETTI, M. & MADISON, J.J. 2010. The digital revolution in geologic mapping. *GSA Today*, **20** (4): 4-10.

