

EL MAPA METALOGENÉTICO DE ESPAÑA. EVOLUCIÓN, UTILIDAD Y DEMANDA.

Por J. Locutura (*)

CARTOGRAFÍAS DE RECURSOS MINERALES Y METALOGENÉTICAS

Los mapas o la cartografía que tienen por objeto de representación principal a las ocurrencias de concentraciones minerales y sus características y condicionantes, son relativamente recientes con respecto a los relacionados con otros objetos geológicos. Ello es debido, sin duda, al hecho de que la comprensión y asimilación de que los yacimientos minerales son concentraciones geoquímicas anómalas, formadas por el encadenamiento, en general, complejo, de una serie de procesos geológicos, es relativamente moderna. Por ello, las cartografías relacionadas con ellos han aparecido con un cierto desfase con respecto a otras cartografías geológicas.

Las primeras noticias de mapas dedicados a recursos minerales se remontan a 1875, en que Cailleux publica el Mapa Minero de Francia y a 1912, en que De Launay presenta el Mapa Minero de Italia. Estos primeros intentos cartográficos quedaron sin continuidad, si exceptuamos la aparición posterior de algunos otros mapas mineros. Ello es reflejo, sin duda, de la filosofía de la investigación minera de la época, de carácter totalmente centrífugo, tendente a la extensión de yacimientos en explotación, con lo que éstos eran los objetos preferentes de representación.

Es después de la Segunda Guerra Mundial cuando se produce un gran impulso de la cartografía de mineralizaciones o concentraciones minerales, como respuesta a la necesidad de explorar grandes áreas poco conocidas.

Aparecen cartografías con orientaciones muy diversas. Las distintas tentativas responden a necesidades diferentes, pues, a variaciones en la naturaleza de los problemas a representar, responden cartografías específicas.

Vamos a examinar brevemente los rasgos que caracterizan a las cartografías de recursos minerales, teniendo en cuenta que un mapa es la representación de un determinado tipo de **objetos**, a una **escala** y con un **objetivo**.

En relación con los recursos minerales se reconocen los siguientes tipos de mapas:

- Mapas Mineros
- Mapas de rocas industriales
- Cartografía metalogenética
 - Mapas de yacimientos minerales
 - Mapas Metalogenéticos s.s. o s.l.
 - Mapas Previsores

Los **mapas mineros** responden a objetivos de orden **económico y geográfico** y pretenden mostrar la distribución de las producciones y reservas de recursos minerales. Contienen, sobre una base topográfica y/o geológica muy simple, las explotaciones activas (o inactivas de importancia) con expresión del recurso producido y la importancia de la producción y, en ocasiones, las vías de comunicación, centros de consumo, plantas metalúrgicas o fundiciones, emplazamiento de puertos, etc. En ellos se representan, en general, todo tipo de explotaciones y producciones mineras, tanto de minerales metálicos e indus-

(*) Área de Infraestructura Geominera. Dirección de Recursos Minerales.

triales, como de rocas industriales y ornamentales. Al pretender mostrar las relaciones de intercambio económico relacionadas con los recursos minerales, no tienen sentido en el mundo actual, dinámico y globalizado, las escalas grandes. Estos mapas suelen hacerse a escala nacional, continental o global. Por su contenido **geoeconómico**, rápidamente cambiante, están sujetos a obsolescencia rápida y requieren una revisión periódica. Su valor principal es que suministran una estimación de la dotación mineral de un país o territorio, siendo, por otra parte, fáciles y rápidos de actualización.

En nuestro país, existen los antecedentes de los Mapas Mineros de España a escala 1/1.000.000 realizados por el ITGE en los años 1934, 1936, 1964 y, más recientemente, el último de 1987.

En el amplio espectro de la Cartografía metalogenética se suelen incluir diferentes tipos de mapas, que pretenden, por una parte, inventariar y representar geográficamente los yacimientos e indicios minerales de una región y sus características y, por otra, representar e interpretar las relaciones entre las mineralizaciones y el marco geológico, llegando incluso a deducir y mostrar los tipos genéticos. El mayor o menor peso de cada uno de estos objetivos, que a su vez condicionan las características y los elementos de representación, conducen a los distintos tipos de mapas considerados.

En general, su finalidad es aportar información útil, en mayor o menor medida, para la investigación geológica teórica o para la exploración minera, y en la mayor parte de ellos se consideran aquellos recursos minerales cuya ocurrencia se produce a partir de procesos de concentración geoquímica-mineralógica muy importante, formando anomalías o singularidades geológicas evidentes, como son los **minerales metálicos, la mayor parte de los minerales industriales e, incluso, los recursos energéticos.**

Los **Mapas de Yacimientos e Indicios Minerales** pretenden suministrar un "archivo gráfico" de datos sobre las mineralizaciones de un área, mostrando los datos intrínsecos de las concentraciones minerales representadas, en general, de carácter objetivo. En ellos no se establecen relaciones con el marco geológico, por lo que la base

geológica sobre la que se sitúan es muy simple. No tienen por ello carácter interpretativo y en ellos no se traslucen, apenas, hipótesis sobre su génesis o distribución. Son mapas importantes, que constituyen una base para la realización de Mapas Metalogenéticos (Ej.: Mapa de yacimientos minerales de Francia a Escala 1/500.000).

Los **Mapas Metalogenéticos propiamente dichos**, encierran en sí mismos una gran ambigüedad en su definición y caracterización, que ha llevado a distinguir varios subtipos cuyos límites o diferencias son a veces difíciles de determinar (mapas metalogenéticos sensu estricto, mapas metalogenéticos sensu lato o mapas geológicos de yacimientos minerales, mapas metalogenéticos previosores o de pronóstico). Contrariamente a las precedentes, son cartografías esencialmente **interpretativas** (sobre todos los m. metalogenéticos s.s.), en las cuales los yacimientos (o los distritos, según las escalas) se representan, no sólo en función de sus rasgos o características descriptivas propias, sino también en función de hipótesis genéticas. Se intenta en ellas establecer las relaciones entre los diversos tipos de yacimientos y la historia o evolución geológica regional. Por ello, al ser, como se ha indicado, las concentraciones minerales objetos singulares, fruto de la superposición compleja de procesos geológicos, para poner en evidencia los factores genéticos de los yacimientos estos mapas deben contener una gran cantidad de información de calidad sobre el marco geológico en el cual se sitúan las mineralizaciones, (en relación con la estratigrafía, litología, petrografía, dominio y evolución orogénica, edades absolutas, paleo-geografía, paleorelieves, geoquímica, etc.). La dificultad de disponer de todo este conjunto de información y los problemas de su representación hacen que estos mapas sean relativamente escasos y, en general, de escala continental o nacional (Ej.: Mapa Metalogenético de Europa a Escala 1/2.500.000). Su fondo o base geológica suele basarse en dominios orogénicos, con la expresión dentro de ellos de complejos, etapas o subetapas estructurales, magmáticas y metamórficas.

Este enfoque ha evolucionado, superándose la investigación de la génesis como fin último, hacia otro actualmente más extendido, que se

puede resumir en la definición de Routhier (1963) de aplicación a los Mapas Metalogenéticos s.l., o los llamados Mapas Geológicos de Yacimientos Minerales:

“Mapas Metalogenéticos son aquellos que **reagrupando e interpretando** numerosos datos tienden a poner en evidencia la distribución de las concentraciones minerales con relación al marco espacio-temporal”.

Dicho de otra forma, el objetivo de estos mapas es representar las relaciones entre mineralizaciones y el entorno geológico, y esto con dos fines, el de deducir las leyes de distribución espacial y temporal de las mineralizaciones y el de hacer uso de estas leyes para la exploración minera. No resulta fundamental, como en el caso anterior, la simbolización del tipo genético supuesto de las mineralizaciones, sino poner de manifiesto cuantos rasgos físicos, litológicos, estratigráficos, estructurales, paleogeográficos, etc., puedan tener una relación con la aparición de las mineralizaciones (controles). Este enfoque enlaza con el concepto de **metalotecto**, que Laffitte, Permingeat y Routhier (1983) definen como “cualquier objeto o estructura que parezca de alguna forma relacionado con la presencia de una mineralización” con lo que se diluye en cierto modo la relación genética o causal. Por esta razón no parece apropiado definir un metalotecto para una mineralización única, sino de una forma más objetiva, en virtud de una asociación frecuente. La naturaleza y el orden de los metalotectos de un área depende evidentemente de la escala del mapa metalogenético.

El tercer paso o escalón en las concepciones de los mapas metalogenéticos, lo constituyen, siguiendo las ideas expresadas anteriormente, los **“Mapas Metalogenéticos Previsores”**.

El objetivo de estos mapas es representar las áreas más favorables, desde el punto de vista geológico, para la presencia de mineralizaciones. Niccolini los define como “aquellos en los cuales están representados todos los indicios de mineralización con su contexto geológico, con el fin de determinar los factores que controlan la mineralización (metalotectos) y de prever las nuevas

zonas susceptibles de contener mineralizaciones o extensiones de zonas conocidas”. Matizan por lo tanto, a los m. metalogenéticos que, en rigor, no buscan esencialmente clasificar los yacimientos por su origen.

De lo anterior se deduce lo ambiguo de esta clasificación, y lo fluctuantes que pueden ser los límites entre los distintos tipos de mapas. De hecho puede apreciarse que entre los mapas metalogenéticos existentes, pueden encontrarse desde mapas de indicios y yacimientos minerales a mapas metalogenéticos en sentido estricto.

Puede considerarse, por ello, toda una gama entre mapas o cartografías con información simple y sistemática, pero objetiva, y poco susceptibles de obsolescencia, y cartografías con gran aporte de información, tanto metalogénica como de tipo geológico, con expresión de controles o metalotectos e incluso de hipótesis genéticas, y con gran carga conceptual e interpretativa o subjetiva, con validez temporal a menudo relativa. Estos últimos, por ejemplo los de la escuela soviética y del mundo francófono (Marruecos, Túnez) presentan una simbología compleja y son a menudo de difícil lectura. Por ello, existe actualmente una tendencia impulsada desde el mundo anglosajón a elaborar mapas más simples, con menor carga de datos, dejando ésta para la información complementaria o la memoria, aligerando el mapa y haciéndolo de lectura más fácil (Canadá, Australia).

Las **escalas** son muy variables, yendo desde la **escala mundial o continental** (1:20.000.000 a 1:5.000.000), que contemplan la distribución de provincias metalogénicas, **la escala de provincias metalogénicas** (1:1.000.000 a 1:500.000) en los que se representan los distritos mineros, y la **escala de distrito minero** (1:500.000 a 1:50.000) en la que figuran los yacimientos minerales. Los metalotectos representados en ellas son de orden diferente (de 1^{er} orden en la continental, como rifts o cinturones pericratónicos hasta de tercer orden, como niveles litológicos, fracturas, etc. en la tercera).

Los más abundantes son de escala nacional, y sólo en algunos países, por su pequeña superficie, por su fuerte importancia minera, por el alto grado de conocimiento, o la gran concentración



Foto 1. Detalle del Mapa Minero de España a Escala 1/1.000.000 (1987)

de mineralizaciones, suelen publicarse en hojas seriadas a gran escala (1:500.000 a 1:200.000).

LA CARTOGRAFÍA DE RECURSOS MINERALES EN EL ITGE. EVOLUCIÓN.

Mapas mineros

Hasta la década de los años 70, la única cartografía de recursos minerales elaborada en el ITGE ha sido la de Mapas Mineros, de los cuales existen los antecedentes de los Mapas Mineros de España de 1934 y 1936 (a Escala 1:1.500.000) y de 1967 y 1987 (a Escala 1:1.000.000). Reflejan la importancia y distribución de la actividad minera en esos años o períodos.

Mapas metalogenéticos

Mapa Metalogenético de España a Escala 1:200.000

La aprobación por Ley del II Plan de Desarrollo Económico y Social en 1969, supone el inicio de un Plan Nacional de la Minería, y dentro de éste, del Programa Nacional de Investigación Minera (PNIM), cuyo objetivo general era el desarrollo de nuestra minería. Entre las acciones promovidas por el PNIM destacan las de **exploración minera** y las **infraestructuras geológicas y mineras**.

Las actividades de exploración minera tuvieron por fin el reconocimiento del potencial minero del área favorable fijada en el PNIM y concretar el

conocimiento de los recursos de sustancias que fueron consideradas como prioritarias. Las infraestructuras geológico-mineras previstas tuvieron como objetivo principal suministrar las bases para el establecimiento fundamentado de estrategias de exploración de la propia Administración y apoyar a incentivar la exploración de los privados.

En la etapa de preparación del PNIM (1967-71), se inicia el **Mapa Metalogénico de España a Escala 1:200.000**, cuya realización (93 hojas) termina en 1972. La elaboración de esta cartografía metalogénica, realizada en un muy breve espacio de tiempo, supuso un avance considerable y una base inestimable para las actividades a desarrollar posteriormente en el Programa y, sobre todo, para la exploración de las compañías mineras pues, por primera vez, aparecía un inventario

de mineralizaciones con expresión de sus características geológicas. Este programa situó a España entre un muy escaso número de países con una infraestructura similar y de esa resolución.

El Mapa Metalogénico se realizó basándose en las tendencias cartográficas del momento, con predominio de la simbología gráfica sobre la memoria. Sobre una base cartográfica que era una síntesis adecuada a los objetivos del metalogénico elaborada a partir del Mapa Geológico de España a Escala 1:200.000 (1ª edición), se proyectaron los indicios y yacimientos minerales. En la simbología se incluía su morfología, tamaño, mena, quimismo, ganga, roca encajante, proceso genético, edad, datos económicos, textura y edad. También fueron representados los metalotectos, como comprobados (bien definidos), pro-

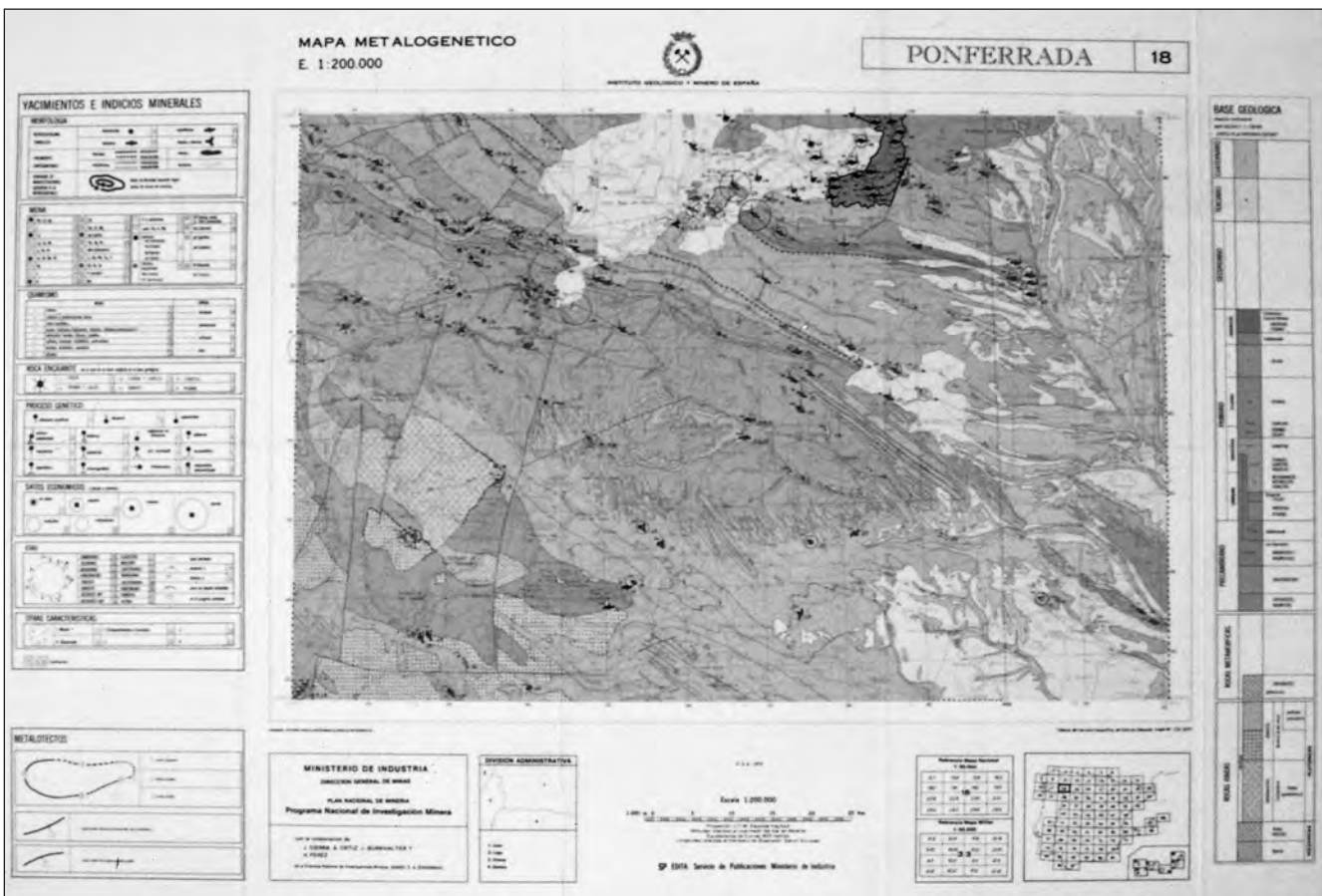


Foto 2. Mapa Metalogénico de España a Escala 1/200.000 (1972). Hoja de Ponferrada.



Foto 3. Leyenda del Mapa Metalogenético a Escala 1/200.000 (1972)

bado y presencia de indicios) y posibles (analogía de contexto geológico y rareza o ausencia de indicios). Una memoria anexa incluía la filosofía general del Mapa Metalogenético, la bibliografía utilizada y un listado de indicios con los caracteres codificados y sus coordenadas Lambert.

La **escala utilizada**, 1:200.000, es algo superior a la habitual en mapas metalogenéticos de otros países. Sin embargo, es muy adecuada para la cartografía de zonas con abundantes indicios y es igual a las otras cartografías nacionales de síntesis, lo que facilita el intercambio de datos.

En el haber de esta cartografía hay que destacar su importancia y utilidad, reconocida en su momento, como base para el desarrollo de la intensa actividad de exploración minera que se mantuvo en nuestro país en la década de los años 70 y parte de los 80. Constituyó la primera presentación de información ordenada y sistematizada de los recursos minerales del país, y poseía un apreciable grado de resolución y conceptualización.

Fue en su momento una iniciativa pionera, incluso a nivel europeo, y constituyó el punto de referencia y la base para la exploración realizada en España. Era, en aquel momento, uno de los pocos países de Europa que podía ofrecer una cartografía seriada a escala amplia con el inventario de sus mineralizaciones y sus características. Fue la base sobre la que las compañías mineras seleccionaron sus derechos mineros y diseñaron sus programas de exploración. Asimismo fue la herramienta de los órganos de la administración específicos para elaborar y desarrollar programas y actuaciones en el ámbito de la minería, en una época en la que todavía se entendía que era necesaria una política minera.

Sin embargo adolece también de **defectos**, algunos de los cuales son debidos a la urgencia y al corto espacio de tiempo en que se realizó:

- Base geológica deficiente, síntesis de las cartografías existentes, cuyos contenidos no se adaptaban a las ambiciones del mapa.
- Información casi exclusivamente bibliográfica sobre mineralizaciones (artículos, tesis, trabajos

bables (con analogía de contexto geológico y continuidad física con un metalotecto compro-

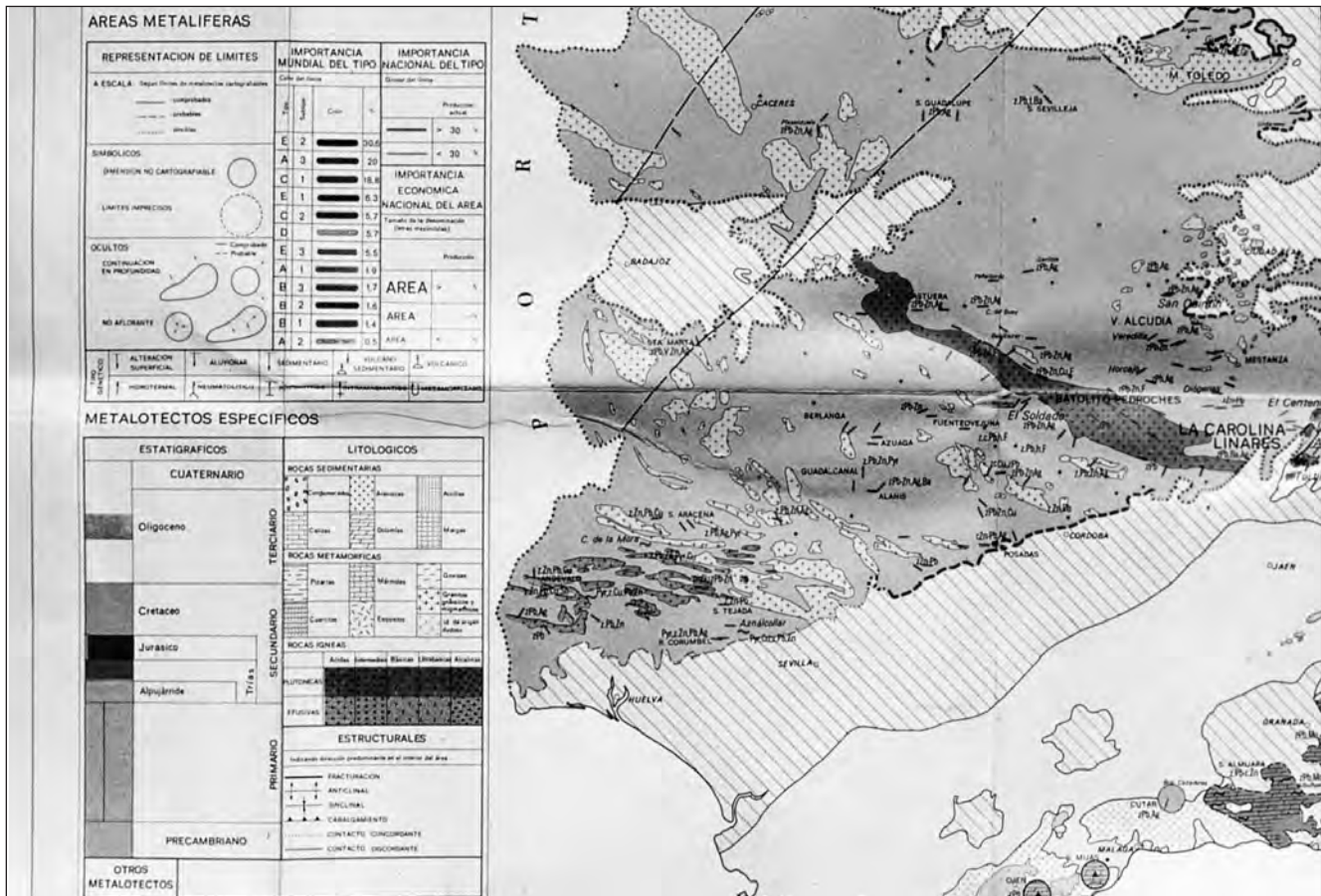


Foto 4. Mapa Metalogénico Previsor (Escala 1/1.500.000) del Wolframio. Detalle

antiguos, planes de labores, etc.), sin prácticamente trabajo de campo y de laboratorio. Ello se tradujo en frecuentes inexactitudes y errores en cuanto a la situación y la propia naturaleza (sustancia, morfología,...) de las mineralizaciones.

- Cierta complejidad en la simbología de las mineralizaciones, en la que se introduce el concepto genético, a menudo sin fundamento sólido. Ello redundaba en una obsolescencia rápida de los contenidos interpretativos.

A esta serie cartográfica 1:200.000 hay que añadir la serie de **Mapas Previsores de Mineralizaciones por sustancias**, a escala 1:1.500.000 (21 mapas o sustancias), mapas de gran contenido conceptual para su época, realizadas prácticamente en el mismo período.

Mapa Metalogénico Previsor a Escala 1/1.500.000 por sustancias

El M.M.N a Escala 1/200.000 fue concebido como una base para la exploración minera. Sin embargo, los objetivos del PNIM eran de ámbito nacional, e incluían la preparación de Planes Sectoriales para las sustancias prioritarias, para lo cual era necesario establecer unas prioridades de inversión y, por lo tanto el potencial económico relativo de las diferentes zonas o regiones. El objetivo de esta cartografía era la definición, y su representación, de áreas prospectivas, así como la presentación de su importancia económica relativa.

Atendiendo a estos fines, esta cartografía se basaba en una **definición de los tipos de yaci-**

mientos de la substancia en cuestión. Sobre una base cartográfica simple (geotectónica) se representaban las principales mineralizaciones de dicha substancia, con expresión de su morfología, tipo genético y roca encajante. Las áreas metalíferas o prospectivas venían delimitadas por metalotectos, indicando la simbología elegida la tipología de mineralizaciones esperables en el área y la importancia económica relativa de dicho tipo (definida a partir de un análisis tipológico-económico a escala mundial, derivado de los estudios de metalogenia cuantitativa en boga en aquella época).

Esta cartografía, ambiciosa y con un gran contenido conceptual, básicamente interpretativa, era útil para la selección de áreas a pequeña escala pero menos para la exploración regional. En definitiva, representaba un eficaz complemento de la

cartografía a Escala 1/200.000. Evidentemente, su demanda y aplicaciones eran más específicas y limitadas que las de ésta última, por la escasa aportación de información descriptiva y por su escala.

Revisión del Mapa Metalogénico de España a Escala 1:200.000

Las causas y orígenes

La situación de preocupación e inquietud social sobre la disponibilidad de recursos minerales y el abastecimiento de materias primas, producida por la crisis del petróleo de la década de los 70 motivaron la elaboración del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (PNAMPM) en 1978, en cuyo marco se iba a des-

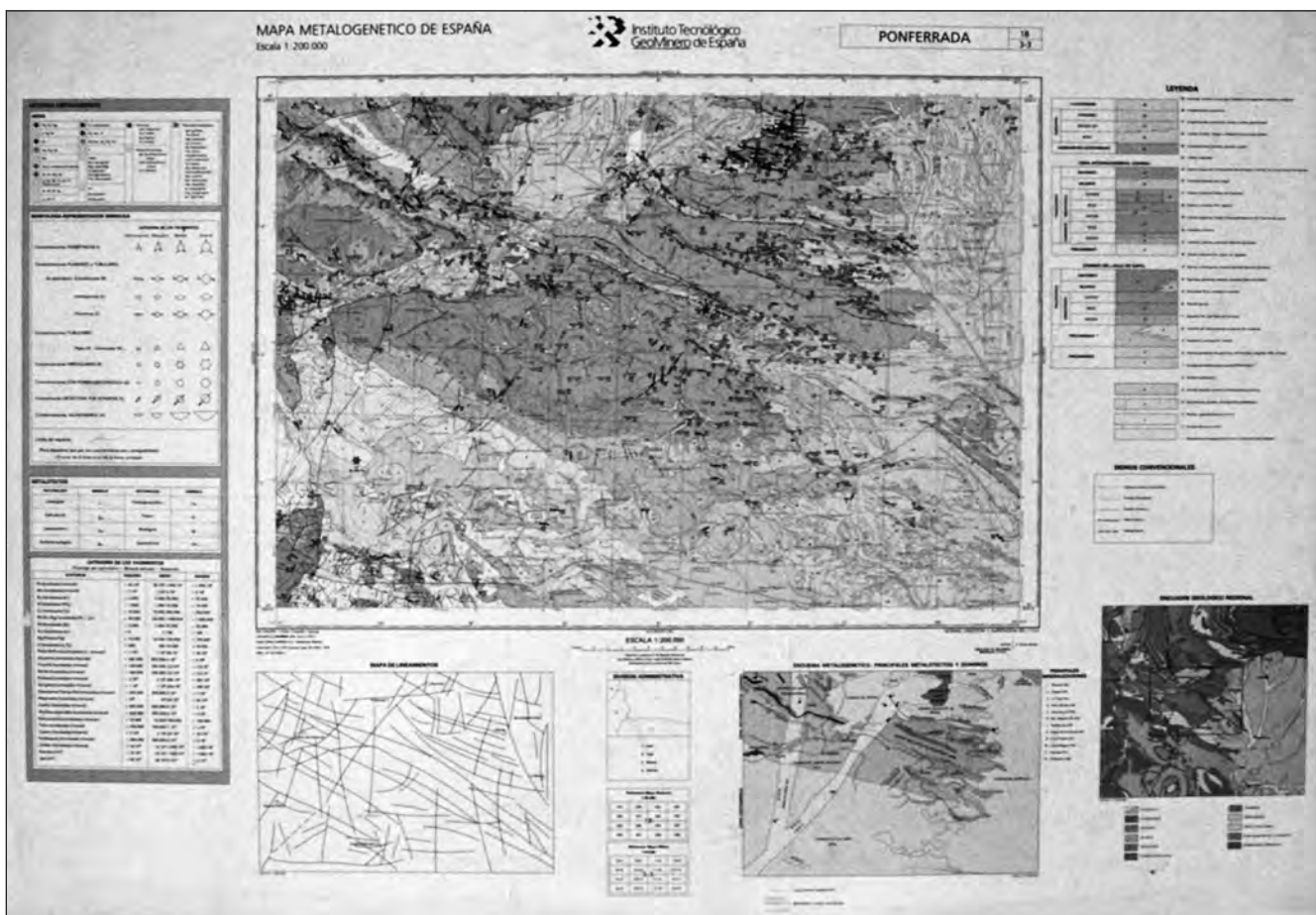


Figura 5. Mapa Metalogénico 1/200.000. Revisión (1991)

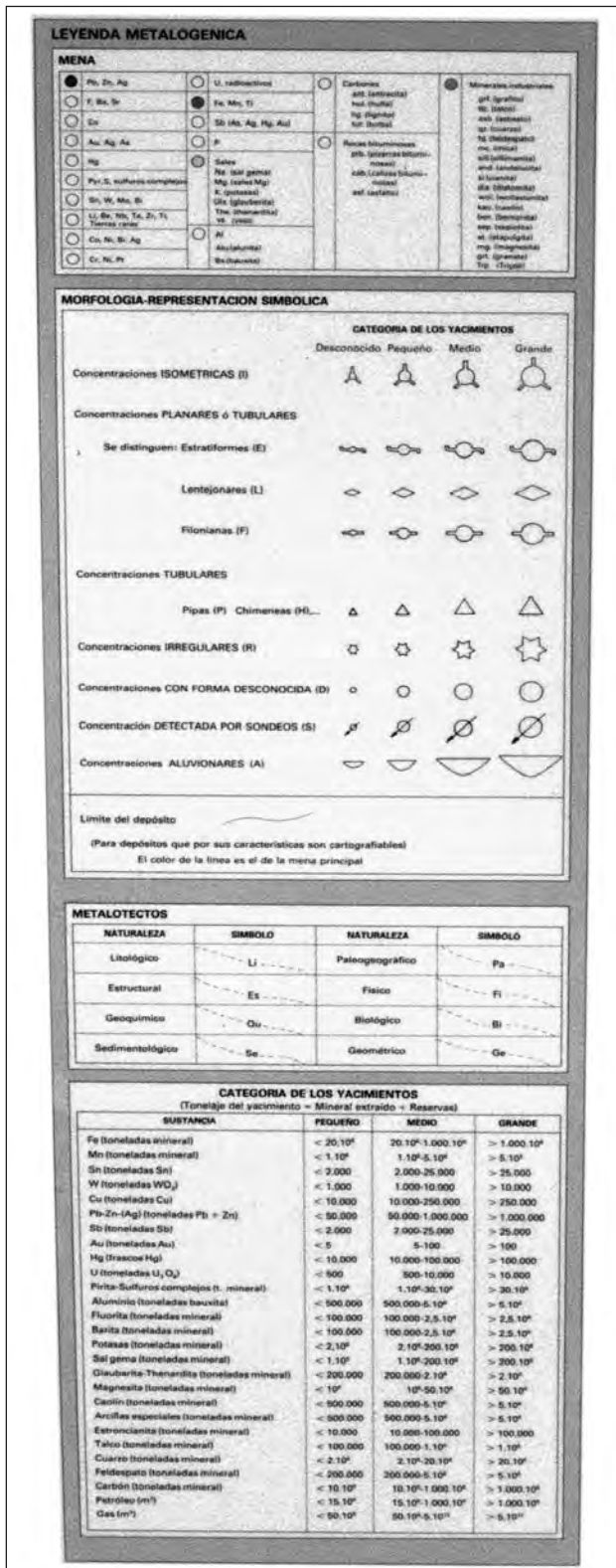


Figura 6. Leyenda del Mapa Metalogenético 1/200.000. Revisión.

arrollar la investigación minera en la década siguiente. El IGME fue responsabilizado del "desarrollo de la infraestructura geológica y minera del país". Dentro de esta tarea se acometió a mediados de los 80 la Revisión del Mapa Metalogenético de España a Escala 1:200.000, decisión motivada por los siguientes factores:

- Comprobación de las deficiencias y lagunas, sobre todo de naturaleza geográfica y geológica del Mapa anterior.
- Gran desarrollo del programa MAGNA, por lo que existía una infraestructura geológica de calidad y resolución sensiblemente mayores.
- El gran volumen de información sobre recursos minerales generado en la fase de exploración anterior.
- El gran avance conceptual y científico experimentado en el campo de la metalogenia en la década anterior, y el gran número de estudios y tesis sobre mineralizaciones llevados a cabo por departamentos universitarios.
- La necesidad de atraer las inversiones de empresas mineras e incentivar y promover la exploración de los privados aportando una infraestructura más precisa y moderna.
- La confirmación de la utilidad y valoración que la edición anterior, pese a sus limitaciones, había tenido.

Objetivos y contenidos

- Los **objetivos básicos** perseguidos en el nuevo mapa metalogenético son los siguientes:

Incorporación de un conocimiento y de una base geológica de mayor calidad que permita un análisis profundo de la relación mineralización-marco geológico.

- Sin renunciar a la interpretación o conceptualización, aspirar a constituir un conjunto de información sistemática y ordenada, de **carácter objetivo** sobre las mineralizaciones, elaborado con criterios unificados.



Figura 7. Detalle del Mapa Metalogénico 1/200.000. Revisión de la hoja n.º 18 (Ponferrada)

- Proceder a una toma de datos sistemática, sobre el terreno y en laboratorio, de **todas** las mineralizaciones o indicios conocidos. Esta caracterización objetiva y sistemática es el punto central de este programa.
- Simplificación de la representación cartográfica de mineralizaciones, incluyéndose en el mapa rasgos o parámetros esencialmente objetivos, y tendencia a un mapa con menor carga de información subjetiva.
- En relación con esta última, descargar la información descriptiva complementaria, así como las hipótesis e interpretaciones, e incluirlas en la memoria.
- Elaboración, en paralelo, de una base de datos metalogenéticos que incluya tanto los contenidos literales de las fichas como los principales parámetros en forma codificada, que permita un rápido y ágil manejo de la información y una actualización simple.
- Recientemente, se empieza a contemplar la posibilidad de tener en cuenta algunas de las coberturas de ámbito regional que en paralelo desarrolla el ITGE (teledetección, geoquímica, geofísica), presentándolas en mapas complementarios (en la propia hoja o en la memoria) a menor escala que favorecen la interpretación.
- Desarrollo en paralelo, y cuando ello es posible, de estudios de **modelización descriptiva** de mineralizaciones representativas o con mayores posibilidades de estudio para conocer más en profundidad los rasgos definitorios de las principales tipologías.

Las características y contenidos concretos del mapa metalogenético revisado, figuran con detalle en las Normas del M.Metalogenético. Algunos de los rasgos más significativos son los siguientes:

El Mapa contempla los recursos de minerales metálicos, de minerales industriales y energéticos. Quedan excluidos las rocas industriales y ornamentales (productos de cantera) y las aguas minerales y termales.

Se reconocen y representan **todas** las concentra-

ciones minerales e indicios de los que se tenga noticia. Por ello se hace una búsqueda y recopilación previa de información (fotografía aérea, planes de labores, información proyectos de exploración, etc...). De las hojas realizadas hasta hoy en el programa de revisión, se estima en un **30% superior** el número de indicios estudiados en esta edición a los inventariados en las hojas correspondientes de la edición precedente.

En las **fichas de indicios** se recoge toda la información del indicio existente y producida en su estudio:

- Parámetros internos (morfología, zonación, estructura, mineralogía, quimismo, etc.) y externos (relación con entorno geológico, litología, estratigrafía, deformación, alteraciones hidrotermales, ...), deducidos del reconocimiento de campo.
- Datos de caracterización en laboratorio (estudios microscópicos para mineralogía, paragénesis y alteraciones hidrotermales, análisis químicos y eventualmente geoquímica isotópica, o estudios microtermométricos de inclusiones fluidas).
- Esquemas geológicos y de labores. Fotografías.
- Datos económicos ya existentes (ley-tonelaje).
- Datos de labores mineras (labores y escombros).
- Bibliografía.
- Historia minera y de exploración.
- Inclusión de información bibliográfica específica y de la procedente de exploración minera.
- Información sobre respuesta a técnicas de exploración geoquímica o geofísica.

La **Memoria** incluye una introducción geológica simplificada resaltando los aspectos geológicos relacionados con los yacimientos. La parte principal contiene una descripción de las mineralizaciones agrupadas por tipologías y sustancias y un capítulo más subjetivo e interpretativo de aná-

lisis tipológico y metalogenético que discute las diferentes hipótesis, publicadas o no, sobre las mineralizaciones más importantes y sus metalotectos. El trabajo se completa con un resumen de las principales investigaciones mineras realizadas y una bibliografía, lo más exhaustiva posible de carácter geológico, metalogenético y minero. Tanto la memoria como la cartografía no se ajustan a unas normas estrictas, con lo que se pretende que la estructura de cada Hoja está definida por las características metalogénicas del área.

Base de datos del Mapa Metalogenético. El gran volumen de datos que se espera generar y tratar en el desarrollo del Mapa Metalogenético de España, ha llevado al diseño y establecimiento de un sistema de gestión de la información. La aplicación de esta metodología permite la incorporación y estructuración de la información en una base de datos de indicios minerales que pretende cumplir los siguientes objetivos.

- Facilidad de manejo en consulta y mantenimiento.
- Rapidez en el acceso.
- Versatilidad en las opciones de búsqueda.

El resultado es, por consiguiente, un sistema que no sólo facilita una actualización continua e inmediata de la base de datos de indicios, incorporando la información derivada de los trabajos de infraestructura minera, sino que también, por su capacidad para generar listados, informes y representaciones gráficas, constituye por sí mismo un elemento de análisis de la cartografía metalogénica. Están abiertos los cauces para futuras adaptaciones o conexiones con otros sistemas.

El almacenamiento de las fichas se realiza de dos maneras: en **forma codificada** mediante la introducción de códigos de acuerdo a unas tablas de codificación decimal confeccionadas a tal efecto o como **fichas literales**.

Desarrollo y avance

Inicialmente, la revisión del Mapa Metalogenético de España 1:200.000 se ha acometido en el Marco del PNAMPM, con los presupuestos pro-

prios del Instituto, habiéndose realizado los primeros mapas por subcontratación a empresas consultoras o a departamentos universitarios, o directamente por equipos propios. La drástica disminución presupuestaria, la situación general de la industria minera, y más recientemente, la adscripción al MIMAM se han traducido en una difícil y escasa financiación interna, en el desarrollo de esta actividad exclusivamente con equipos propios (con la consiguiente desaceleración), y en dificultades para la edición de los mapas ya realizados. En los últimos tres años, se han abordado o se está a punto de hacerlo, la realización de mapas con la financiación de Comunidades Autónomas (País Vasco, Extremadura, Cantabria) o de la Dirección General de Minas, e incluso del Programa FEDER-CICYT.

El grado de avance, en el momento actual, es el que se refleja en el mapa adjunto. Después de varios años de desarrollo del programa, y pese a que los mapas producto de esta revisión representan un sensible avance técnico y en el volumen de información con respecto a los anteriores, su trayectoria es titubeante pues no existe en los últimos años un apoyo decidido, firme y continuo para ello. Se ha manifestado el interés por esta línea desde diversos ámbitos de las administraciones central o autonómicas, lo cual es un estímulo por la valoración que se hace de la utilidad de esta infraestructura. Sin embargo, ello conlleva el riesgo de una diversificación de formatos, escalas e incluso de orientación. Por ello debe intentarse mantener, aun con la eventualidad de presentaciones adecuadas a los intereses de los organismos cofinanciadores, una uniformidad en los formatos que garantice o facilite su transferencia o difusión.

NECESIDAD, UTILIDAD Y DEMANDA DE LA CARTOGRAFÍA METALOGÉNICA

Necesidad y utilidad.

La cartografía metalogenética es un ejemplo más (como la exploración geofísica o geoquímica) de cómo un conocimiento o una herramienta, creada y desarrollada con unos fines determinados puede trascender, tras comprobación de su utilidad y valor, de su objetivo inicial para ser apro-

vechable y válido en otros campos, es decir, para adquirir un valor infraestructural. Así podríamos hablar, a semejanza de lo acaecido con los programas de exploración geoquímica regional promovidos por la mayor parte de los servicios geológicos del mundo que han pasado a denominarse programas de cartografía geoquímica multiobjetivo, de **mapas metalogenéticos, multiobjetivo o multiuso**.

El conocimiento sistematizado de las mineralizaciones y de sus relaciones con el medio tienen, o son susceptibles de tener, aplicación o uso en una diversidad de campos de actividad o conocimiento.

Conocimiento geológico

Los yacimientos y concentraciones minerales han sido vistos durante mucho tiempo como objetos extraños a su entorno. Su consideración como un tipo más, si bien singular, de los objetos geológicos, formadas a lo largo de la evolución geológica del territorio como cualquier otra roca o estructura, es una conquista relativamente moderna dentro del desarrollo de la geología. Por ello, su estudio y catalogación, tanto individualmente como a escala regional, aporta inevitablemente información para una mejor comprensión del marco y de los procesos geológicos y de su evolución, de la cual las concentraciones minerales son, a menudo, marcadores significativos. De ello es reflejo el creciente interés, en nuestro país y en los medios académicos, por este campo de investigación.

Exploración minera

Evidentemente sigue siendo una herramienta básica y necesaria para el desarrollo de la exploración minera y el estímulo de ésta, pues contribuye, como otras infraestructuras, a disminuir los riesgos inherentes a la investigación minera y a hacer más económica una actividad muy cara. En tiempos delicados para la industria minera es necesario aportar infraestructuras cada vez más fiables y de alta resolución como respuesta a las dificultades y mayores riesgos asumidos, y mantener una sistemática de conocimiento ante la posibilidad de un rebrote de la actividad minera inherente a la evolución cíclica de la minería.

Las **empresas mineras** necesitan mapas metalogenéticos para la elección o selección de dominio en que explorar. La zona elegida debe reunir rasgos favorables para contener yacimientos de la sustancia, tipo y modelo metalogénico y económico que se ajuste a sus objetivos, estructura y filosofía. La buena elección de área es un punto crucial de la exploración que pueda hacer dilapidar dinero o tener éxito posterior. También es una infraestructura básica para establecer, una vez adquirido un dominio minero, un modelo de exploración eficaz.

La cartografía metalogenética y su información georeferenciada asociada son también una herramienta básica para el análisis de potencialidad regional mediante su integración, en sistemas de información geográfica, con otras coberturas de datos georeferenciados. La tendencia actual, que expresan las grandes compañías mineras en sus estrategias y programas de exploración, sobre todo en áreas con potencial contrastado, pero ya investigadas, y con una infraestructura de conocimiento apreciable, como es el caso de España, es la de tender, cada vez más, al **reanálisis y reinterpretación** de la información regional y, con un enfoque centrípeto, y a partir de experiencia o metodologías propias, definir zonas más reducidas u objetivos de interés.

Las empresas mineras y, sobre todo, las multinacionales, que han intensificado enormemente la exploración en los últimos treinta años, aplicando metodologías y técnicas cada vez más modernas, han optado por el territorio de nuestro país por tratarse de un país políticamente estable, con infraestructuras, con personal técnico cualificado, pero, sobre todo, porque el territorio nacional encierra todavía posibilidades y una potencialidad contrastada y porque existe una **infraestructura de conocimiento geológico y minero de calidad muy apreciable**.

La **Administración**, ya sea la central o las autonómicas, a través de sus órganos correspondientes tiene en los mapas metalogenéticos una herramienta imprescindible para el conocimiento de la potencialidad en recursos minerales de su territorio y contribuir a elaborar y a definir estrategias de inversión y exploración, estudios sectoriales o programas de desarrollo regional.

Ordenación territorial

El conocimiento de la distribución de las mineralizaciones y sus explotaciones, así como de algunas de sus características geoquímicas o mineralógicas y, sobre todo, de su expectativa económica, tiene una gran importancia para ordenar racionalmente el territorio. Es necesario tener en cuenta el potencial minero de una zona, valorado económicamente, como factor positivo ante otros posibles usos del terreno que eventualmente se plantean (embalses, vías de comunicación, etc.). Sin embargo, pueden y deben también tenerse en cuenta negativamente las limitaciones o problemas que las antiguas zonas mineras pueden plantear para otros usos del territorio. Las administraciones tienen en los mapas metalogenéticos una importante información para, ponderada e integrada con otras coberturas, proceder a la calificación o zonación del territorio.

La integración de la información metalogenética con factores como distribución de centros de consumo, núcleos de crecimiento industrial, necesidad de desarrollo de áreas deprimidas, comunicaciones, etc., o bien con otros contrarios como áreas con problemas medioambientales, parques naturales, etc., puede permitir a las administraciones establecer programas razonados de investigación de recursos minerales o poner en práctica una ordenación territorial equilibrada.

Medio Ambiente

La idea de que las mineralizaciones son anomalías geoquímicas singulares naturales, fruto de largos y complejos procesos de concentración, al margen del efecto amplificador que puede suponer la explotación minera, sugiere la importancia de la información sistemática de mineralizaciones, con expresión de sus rasgos geoquímicos y mineralógicos. El análisis y diagnóstico medioambiental, en particular de zonas mineras, requiere un conocimiento preciso de los potenciales focos de contaminación, en este caso los yacimientos y sus explotaciones, incluyendo aspectos como mineralogía, geoquímica, texturas, etc., que son rasgos que de forma sistemática aporta la infraestructura metalogenética. El

conocimiento y consideración de los focos potenciales a partir de los cuales pueden producirse contaminación de las aguas y de los suelos, máxime en áreas mineras con presencia frecuente de aguas y medios ácidos, puede ayudar a prever y a prevenir riesgos.

Aprovechamiento del espacio subterráneo

La cada vez mayor necesidad de espacios donde almacenar residuos, y la posibilidad de aprovechamiento, para ello, de huecos de explotaciones mineras subterráneas abandonadas permite valorar, para el análisis de este problema, la existencia de una infraestructura sistematizada de información relativa a antiguas minas. Los huecos y otras estructuras de la minería antigua abandonada, son a su vez, la mayor parte de las veces por su desconocimiento u olvido, peligros y riesgo evidentes y potenciales para las personas e infraestructuras de sus cercanías. La prevención de accidentes debidos a subsidencias, deslizamientos en escombreras o roturas de balsas puede tener en los inventarios de indicios mineros, en los que dichas estructuras están recogidas, un claro y valioso fundamento.

Demanda.

Hay que admitir que la cartografía o información metalogenética, aun cuando puede ayudar a resolver los problemas o cuestiones que afectan a la sociedad, y por lo tanto a las autoridades, es, como otras infraestructuras similares, poco conocida. Uno de los retos que se nos plantean es el de su difusión y conocimiento, no sólo entre el público en general, sino también y prioritariamente entre aquellos que a multitud de niveles de las administraciones central, autonómicas y periféricas, deben tomar decisiones que afectan al medio natural, a su uso y a su ordenación.

REFLEXIONES FINALES

Finalmente, y a modo de conclusión, se presentan algunas reflexiones sobre esta cartografía, el programa que actualmente desarrolla el ITGE, y algunos de sus puntos más debatidos.

La definición de un programa de cartografía

metalogenética requiere una clara expresión de sus objetivos y de los sectores a los que va dirigido.

La **cartografía metalogenética**, o la de recursos minerales, en un sentido más amplio, pretenden, en primera instancia, **recoger, inventariar y presentar** la información anterior disponible y la extraída del reconocimiento de campo y de la caracterización de laboratorio de los recursos minerales de un área. Es un hecho firmemente establecido que las concentraciones de recursos minerales son el resultado de la superposición y/o confluencia de una serie de procesos geológicos que, a su vez, están integrados en el marco evolutivo que ha conducido a la actual configuración o estructura observable en una zona. Ello equivale a decir que su existencia y distribución están controladas por factores o estructuras geológicas determinadas. Por ello y, en segunda instancia, estos mapas deben, de alguna manera, **más o menos profunda y más o menos explícita** indicar o conducir a la comprensión de estas relaciones.

Encontramos, por ello, una **dualidad** consistente en la presentación de datos objetivos sobre las mineralizaciones y la de ideas e hipótesis sobre su génesis o su distribución. La mayor o menor preponderancia de estos dos importantes conjuntos de información varía según las escuelas y los mapas. En general, se acepta que el primer aspecto, con un gran valor intrínseco pues es un fundamento de la elaboración del conocimiento de los recursos minerales del país, es básico e ineludible para la segunda. Esta última requiere, además de los conocimientos descriptivos y profundo de las mineralizaciones, el disponer de una geología de alta resolución, en la que queden referenciados y expresadas las estructuras geológicas, a menudo sutiles (alteraciones hidrotermales, diferenciaciones litológicas, estructuras, rasgos paleogeográficos, etc.) que pueden estar relacionados con ellas o controlar su aparición y distribución. La **eficiencia y utilidad** de la cartografía metalogenética están, en gran medida, definidas por la **resolución de la geología**, pero también por los datos inherentes a otros tipos de coberturas georeferenciadas, fundamentalmente las **geoquímicas, geofísicas y de teledetección**. La existencia de algunas mineralizaciones cobra un sentido, p.ej., si coinciden con anomalías gra-

vimétricas negativas que pueden indicar la presencia de cúpulas graníticas subaflorantes, metalogenéticamente significativas. Los fondos geoquímicos anómalos o las signaturas geoquímicas específicas de determinadas unidades o litologías pueden ser el reflejo de una especialización geoquímica o de preconcentraciones que son, a menudo, indicadoras de una favorabilidad para algún tipo de proceso metalogenético. La incorporación de información geoquímica regional, sobre todo de carácter geoquímico, geofísico y de teledetección es pues cada vez más importante para la elaboración de mapas metalogenéticos fecundos. Sin embargo, es necesario diferenciar entre la presentación de este tipo de información, filtrada y dirigida a los objetivos del mapa y la aportación bruta de las coberturas georeferenciadas, cuya ubicación lógica son las **bases de datos regionales** y cuyo estudio integrado puede hacerse por motivos y objetivos diversos. La propia cartografía metalogenética genera una base de datos metalogenéticos que, automáticamente, se integra en las Bases de Datos Institucionales del ITGE.

Otro aspecto importante y en relación con las informaciones complementarias es el de la insuficiente y no sistemática repartición de la cobertura del territorio por este tipo de infraestructuras. No existe actualmente un mapa geoquímico nacional que cubra porcentajes significativos del territorio salvo en áreas muy concretas, como tampoco existen mapas gravimétricos o aeromagnéticos. **Este tipo de coberturas no se han generado de forma sistemática**. Por el contrario, se han desarrollado en una diversidad de zonas que respondían a **intereses concretos del momento**. Por ello, actualmente, y salvo raras excepciones, los estudios metalogenéticos regionales difícilmente pueden incorporar información geoquímica o geofísica homogénea. Obviamente, y por sus características, no es este el caso de la información satelitaria. Ello también puede ser un motivo de reflexión sobre la **necesidad de promoción y desarrollo de este tipo de infraestructuras regionales sistemáticas**, de uso común en los análisis integrados en multitud de campos.

Otro punto importante de definición del programa es el de su modalidad de avance y áreas y criterios de aplicación. En los últimos años se han mencionado diversas modalidades, además de la

actualmente vigente (cuadrícula geográfica por hojas 1/200.000), basadas en criterios de rentabilidad y eficacia, por zonas de interés metalogenético o minero, por unidades geológicas, por unidades políticas. Teniendo en cuenta que el desarrollo de la cartografía metalogenética supone, en paralelo, el avance en el conocimiento e inventariación de los recursos minerales del territorio, una de las principales misiones encomendadas al ITGE, se postula la conveniencia y necesidad de la aplicación del programa por cuadrículas geográficas 1/200.000, por las siguientes razones:

- Necesidad de caracterización y conocimiento de los recursos de **todo** el país, es decir, necesidad de un desarrollo o barrido sistemático. Parece lógica, en general y para el avance de una cartografía **infraestructural**, una aplicación por cuadrícula geográfica. De hecho es la forma en la que se presenta la cartografía metalogenética realizada por la casi **totalidad** de los Servicios Geológicos nacionales que la acometen.
- Dificultad y relatividad de la definición de zonas de interés o de no interés. Los grandes y rápidos cambios de los factores económicos y técnicos en el mundo de los recursos minerales, así como la aparición de nuevos recursos y/o mineralizaciones de interés económico, hacen que los objetivos, tanto en lo que se refiere a sustancias como a tipologías de yacimientos, de los agentes de exploración minera (fundamentalmente empresas mineras) varíen en muy pocos años. Pueden incluso, en un determinado momento variar enormemente los objetivos e intereses según el tipo y estructura de las empresas mineras.
- La experiencia demuestra que es difícil y arriesgado clasificar o considerar, a priori, a determinadas mineralizaciones e indicios como **sin interés**. Se han efectuado grandes descubrimientos a partir de indicios o pequeñas mineralizaciones aparentemente inocuas. Por otra parte, en el análisis metalogenético de un área y razonando sobre modelos y procesos metalogenéticos amplios, las zonaciones geoquímicas son un criterio importante de razonamiento. La aparición de pequeños indicios, aparentemente

sin importancia, pueden completar o sugerir estructuras de campos de mineralización que pueden conducir a la comprensión del modelo regional.

- El desarrollo de cartografía metalogenética por unidades políticas, desde la óptica de un Servicio Geológico Nacional, no tiene tampoco sentido, habida cuenta de que las estructuras geológicas, como se ha dicho muchas veces, no tienen fronteras.
- El avance **no sistemático** conduce indefectiblemente a la elaboración de una **infraestructura fragmentada e incompleta**, con lagunas que difícilmente son solucionadas a la larga, por corresponder a zonas "sin interés".
- La escala 1/200.000, que corresponde a una de las cuadrículas oficiales de las bases topográficas nacionales, es una escala adecuada a la superficie del país y a la densidad de las ocurrencias de recursos en el territorio.

Todo ello no es impedimento, sino al contrario, para la realización de estudios metalogenéticos sintéticos de unidades geológicas determinadas cuyo interés científico y práctico puede ser evidente (Faja Pirítica, Cuenca Vasco Cantábrica), pero siempre a partir de la infraestructura 1/200.000 ya desarrollada. Asimismo, y en el marco de convenios de colaboración, la infraestructura 1/200.000 elaborada puede dar lugar a síntesis, a otras escalas o a la misma, del territorio de Comunidades Autónomas. En situaciones determinadas, la realización de Mapas Metalogenéticos de Comunidades Autónomas en regiones sin la infraestructura metalogenética 1/200.000 actualizada es justificada, como forma de adquisición de información para la posterior incorporación al programa 1/200.000.

Existe a menudo una controversia sobre el **grado de complejidad de las cartografías**, postulando algunos sectores mapas muy simples, útiles para un amplio sector de usuarios, oponiéndose esta opinión a la de los que defienden mapas más complejos y de alto nivel científico. Esta discusión es muy frecuente, y en nuestra opinión, falaz. En el caso de la cartografía metalogenética, se considera que debe contener la máxima información objetiva y de calidad posible, tanto meta-

logenética como geológica (depurada para la interpretación metalogenética), geoquímica o geofísica, limitándose en su parte interpretativa a los rasgos más importantes y contrastados. El sector al que está destinado es, en gran parte, un sector especializado. Sin embargo debemos entender esta especialización como un conocimiento relativo (alta especialización en el caso de servicios geológicos de multinacionales mineras o de departamentos universitarios, pero especialización a otros niveles en el caso de pequeñas empresas mineras o de órganos de la Administración). En el primero de los casos la cartografía es útil si el mapa, además de las hipótesis que contiene, permite extraer de la integración de información geológica, geoquímica y geofísica, sus propias conclusiones a los lectores o analistas especializados del documento. En el segundo, la simple incorporación de la información metalogenética y de los aspectos interpretativos propuestos puede ser un objetivo válido. Finalmente, no hay que olvidar que un amplio sector potencialmente beneficiario o usuario del mapa metalogenético, y que podríamos considerar como no especializado, puede encontrar en él la información específica y parcial que necesita, en general, la de carácter metalogenético más objetivo (ubicación de mineralizaciones, importancia minera de éstas, labores mineras asociadas, sustancias explotadas o contenidas en la mineralización, para usuarios en el campo de la ordenación territorial, medio ambiente, etc...).

En definitiva, creemos que no hay que hablar de público especializado o no, sino, en términos

generales, de **usuarios que van a extraer información con distintos grados de profundidad**, según sus aptitudes e intereses. Por ello, lo que hay que procurar es que la información esté claramente presentada y ordenada y sea fácilmente legible a todos los niveles.

En materia de **difusión** de la cartografía metalogenética, no cabe duda de que los avances recientes de la informática y su aplicación a la edición cartográfica inducen a cambios en la metodología a seguir en este campo. Se han iniciado los estudios metodológicos para la digitalización de la cartografía metalogenética, lo cual favorecerá, no sólo su proceso de edición en papel, sino su consulta, modificación, variación de escalas y actualización. Sin embargo, todas las manipulaciones de la información cartográfica que hacen posibles los sistemas de información geográfica son posteriores a la elaboración de un producto tipo que debe ser el objeto de referencia y el objetivo básico del programa. La posibilidad de poder hacer modificaciones posteriores o integraciones con otro tipo de datos, a partir de la información digital, y a petición del usuario (cartografías a la carta), no es sino un beneficio añadido, pero que no excluye a la edición tradicional (aunque se haga a partir de mapas digitalizados y por medios informáticos) que en el momento actual es de más fácil difusión y consulta por todo tipo de usuarios. Por ello, en cualquier caso, y a corto plazo, parece que el mapa de papel seguirá siendo un producto necesario y demandado por un amplio sector de demandantes.