

EL MAPA DE LA CUENCA DEL EBRO.

Por V. M. Arqued Esquía (*)

R E S U M E N

A partir de la experiencia acumulada durante más de quince años trabajando en la hidrogeología de la cuenca del Ebro, el autor de este artículo opina que la cartografía hidrogeológica sistemática del Instituto Tecnológico Geominero de España tiene un carácter divulgativo y que aporta una información de interés aunque debería modernizarse y completarse para el uso de los profesionales a los que se entiende que va dirigida. En esencia se trata de algunas hojas a escala 1:200.000 presentadas junto con un cuadernillo que incluye la memoria del mapa. El contenido, la calidad y el grado de actualización de las escasas hojas publicadas en la cuenca del Ebro son heterogéneos.

En este artículo se analiza el contenido que aparece en los mapas hidrogeológicos españoles en general y se trata el problema de la leyenda del mapa. Finalmente se presenta la cartografía hidrogeológica de la cuenca del Ebro en la que trabaja la Confederación Hidrográfica, como una alternativa novedosa que combina cuatro aspectos en constante evolución: Inventario de puntos de agua, mapa geológico, catalogación hidrogeológica del territorio y referencias planimétricas. De este modo el mapa hidrogeológico deja de ser un documento estático para ser la respuesta condicionada y siempre actual de una base de datos que se alimenta constantemente con su propia explotación.

Por todo ello se concluye recomendando elaborar un apartado de hidrogeología dentro de los mapas geológicos de síntesis 1:200.000 de más entidad que el que actualmente se incluye, apoyado con el auxilio de otros mapas hidrogeológicos temáticos a menor escala y, además, potenciar los mecanismos de cooperación precisos para que el Instituto trabaje conjuntamente con los Organismos de Cuenca o con la Administración Hidráulica de las comunidades autónomas, en la caracterización hidrogeológica del territorio, posibilitando con ello el mantenimiento de un sistema de información hidrogeológica que venga a completar a las cartografías actuales y ofrezca un servicio añadido a las distintas administraciones y usuarios.

Palabras clave: Mapas hidrogeológicos, Mapas geológicos, Inventario de puntos de agua, Sistema de información hidrogeológica, Cuenca del Ebro.

A B S T R A C T

From the experience accumulated through more than fifteen years working on hydrogeological issues related to the basin of the River Ebro, the author claims that the systematic hydrogeological cartography developed by the Spanish Instituto Tecnológico Geominero has an informative nature, providing interesting information which should nevertheless be updated and completed for those practitioners for whom it is in principle intended. Basically, this consists of several 1:200,000 scale maps along with a brochure including a map report. Contents, quality and updating of the few maps published about the basin of the River Ebro are all heterogeneous.

Here we analyse those contents generally included in Spanish hydrogeological maps. The map legend question is also addressed. Finally, the hydrogeological cartography of the basin of the River Ebro, on which the Hydrographic Confederation is working, is presented as a novel alternative combining four evolving issues –hydrogeological data bank, geological map, regional hydrogeological catalogue and planimetry information. Thus the hydrogeological map moves away from stillness to become a reactive, updated response from a database continuously fostered by mining.

We therefore finish by recommending that a more significant hydrogeological section be included in 1:200,000 synthetic geological maps. This section could be supported by other smaller scale hydrogeological thematic maps. It is also advisable to leverage specific cooperation ways, between our Institution and River Basin Organisations or Hydraulic Administration entities bound to autonomous regions, aimed to the hydrogeological characterisation of the region. This would enable to maintain a hydrogeological information system capable of eventually completing present cartography and offering an additional service to different local governments and users.

Key words: Hydrogeological maps, Geological maps, Hydrogeological data bank, GIS, Ebro river basin.

(*) Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro. Paseo de Sagasta, 24-26. 50071 ZARAGOZA.
Correo electrónico: varqued@chebro.es

INTRODUCCIÓN

En el Taller sobre Cartografía Temática en el Instituto Tecnológico Geominero de España (Madrid 1999) se incluyó una sesión dedicada a la cartografía hidrogeológica en la que se llevó a cabo una mesa redonda destinada a abordar una evaluación crítica de la cartografía hidrogeológica del ITGE: contenido, actualidad y demanda, por ponentes ajenos al Instituto, entre los que se encuentra el autor de este artículo, redactado con el propósito citado.

La crítica que se realiza no quiere ocultar la preponderante labor realizada por el Instituto Tecnológico Geominero de España en la investigación hidrogeológica española durante muchos años, de cuyo reconocimiento se deja aquí constancia. No obstante, la cartografía hidrogeológica sistemática que realiza el Instituto tiene una escasa repercusión, posiblemente por no resultar adecuada para quienes va dirigida, que son los profesionales de la hidrogeología. Ahora bien, caso contrario es el de los atlas hidrogeológicos, que parecen tener una mejor acogida, en particular entre los gestores de la administración y, en concreto, del agua.

MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

En general, dentro del adjetivo hidrogeológico, tienen cabida distintos tipos de mapas que aportan información acerca de la hidrología subterránea. Así, el mapa hidrogeológico no suele aparecer solo, sino acompañado por otros mapas auxiliares o complementarios que muestran temas parciales, tales como piezometría, distribución de variables hidroquímicas o climáticas, etc. En este sentido Martínez Torres (1995) denomina mapas hidrogeológicos a todos ellos, distinguiendo específicamente el mapa de unidades hidrogeológicas, el mapa piezométrico, el mapa hidroquímico, el mapa de intrusión marina y el mapa de permeabilidad y escorrentía.

En cualquier caso, parece que para que un mapa pueda denominarse hidrogeológico es necesario que incluya ciertos temas cartográficos que se entienden imprescindibles. Para conocer cuales son estos temas se han consultado algunos mapas que se autotitulan hidrogeológicos según

el criterio del equipo que los elaboró y cuya publicación y distribución ha sido el objeto principal de su realización; es decir, se han excluido aquellos mapas hidrogeológicos que ilustran estudios concretos, en los que la realización del mapa no era el propósito fundamental, en la suposición de que los objetivos del estudio dado condicionarían el aspecto final de la cartografía. También se ha incluido algún mapa, como el de la provincia de Burgos (Instituto Tecnológico Geominero de España – Excelentísima Diputación Provincial de Burgos, 1998), que no se denomina hidrogeológico porque se trata de un atlas con información y propósito más amplio, pero que también incluye una cartografía hidrogeológica comparable con las demás encontradas. En el análisis de estos mapas se ha valorado la inclusión o no de ciertos temas, según una relación previamente establecida; estos campos de análisis a considerar han sido, ordenados alfabéticamente, los siguientes:

Base geológica: Entendiendo que la constitución geológica del territorio, naturaleza y geometría de los distintos tipos de litosomas presentes, aporta una valiosa información para los estudios hidrogeológicos.

Base topográfica: La referencia topográfica puede ser un parámetro imprescindible en la comprensión de los mecanismos de escorrentía subterránea y por ello su consideración en los mapas hidrogeológicos resulta de interés.

Contactos geológicos: Los límites entre los distintos recintos cartografiados pueden ser contactos geológicos de diverso tipo, por ejemplo: concordante, discordante y mecánico de diversa naturaleza. Esta información ilustra las relaciones geométricas entre los cuerpos de roca y es de interés para adquirir una visión tridimensional del territorio. También la traza de lineaciones geológicas de diverso tipo completa la información geométrica que ofrece la cartografía.

Contactos hidrogeológicos: Los límites entre los distintos recintos cartografiados pueden ser contactos hidrogeológicos, en general coincidentes con la traza de contactos geológicos aunque no siempre. En este grupo se puede hablar de límites cerrados (oculto o aflorante), límites abiertos (de afluencia o de alimentación), límites que

imponen condiciones de potencial (cauces influentes o efluentes) y divisorias hidrogeológicas. Esta información, yuxtapuesta o no a la de los contactos geológicos, se cree que puede aportar un conocimiento expreso que facilite la interpretación del mapa hidrogeológico.

Cortes estructurales: La presencia de cortes geológicos con información hidrogeológica añadida puede facilitar notablemente la interpretación de la geometría de los acuíferos y, con ello, del movimiento y distribución del agua subterránea. Deberían respetar la misma leyenda que el mapa geológico y, en la medida en que sea posible, mantener la escala en la vertical.

Diagramas químicos: En el mapa hidrogeológico pueden tener cabida diagramas expresivos de la calidad del agua en puntos concretos, tales como los diagramas poligonales de Stiff o parecidos, asociados a los puntos correspondientes de forma que se distribuyan por el mapa informando de la calidad del agua con un simple vistazo.

Direcciones de flujo: Con flechas de color violeta se puede indicar el movimiento de agua subterránea interpretado. Esta información puede resultar de gran valor cuando en la cartografía se carece de otros elementos para identificar la dirección y sentido del flujo.

Divisorias hidrogeológicas: Este tipo de líneas es especialmente expresivo e interesante en muchos estudios hidrogeológicos, en particular en los relativos a la calidad y a la protección de los recursos subterráneos. Su representación en los mapas hidrogeológicos parece muy oportuna, especialmente cuando estas divisorias no son coincidentes con las hidrográficas.

Divisorias hidrográficas: Este tipo de información, que se obtiene a partir de un mapa topográfico, es en muchos casos útil en los estudios hidrogeológicos. Su representación parece especialmente oportuna en aquellos casos en que no hay coincidencia entre estas divisorias y las hidrogeológicas.

Inventario exhaustivo: Es muy difícil que se pueda disponer de un inventario de puntos de agua exhaustivo y actualizado, sin embargo, no

es especialmente complicado obtener una aproximación del mismo. Su representación en el mapa hidrogeológico ofrece una información objetiva sobre la posición de las descargas naturales y sobre la ubicación y densidad de las captaciones artificiales, ofreciendo con ello información relativa a los usos del agua y de la aptitud de los particulares por el recurso en la zona.

Inventario selectivo: Situar sobre el mapa hidrogeológico los puntos de agua que se consideren más significativos, ya sea por su caudal natural, por la calidad de las aguas que ofrecen o por la información complementaria que puedan aportar, añada información muy concreta sobre la hidrogeología de la zona.

Isopiezas: Las líneas isopiezas suponen una información complementaria sumamente expresiva sobre el movimiento del flujo subterráneo, la permeabilidad del acuífero e, indirectamente, por comparación con el mapa topográfico, sobre la profundidad a que se sitúa la superficie piezométrica.

Isoyetas medias: La información hipsométrica que puede aportar la traza de unas isoyetas medias ofrece una fuente de información complementaria de utilidad en la interpretación hidrogeológica.

Leyenda geológica: La leyenda geológica ofrece información cronoestratigráfica, litoestratigráfica y de relaciones geométricas entre los distintos litosomas que resulta de interés a la hora de comprender la naturaleza y geometría de los acuíferos.

Leyenda hidrológica: Así denominada a aquella leyenda, o parte de la misma, que ofrece información cualitativa o cuantitativa referida a permeabilidades, a la naturaleza de la porosidad o a la tipología de los acuíferos. En general esta leyenda aparece mezclada con una leyenda geológica esquemática.

Mapas auxiliares: El mapa hidrogeológico suele ir acompañado por otros mapas dibujados a menor escala en los márgenes de la misma lámina y que informan de algunos aspectos concretos, entre estos mapas suelen aparecer el de isoyetas, isopiezas de algunos sectores, delimita-

ción de acuíferos, zonas de explotación, isolíneas de contenidos iónicos o de determinadas variables físicas y químicas, usos del agua, y en fin, todo aquello que según el caso concreto se estime oportuno.

Memoria: Un mapa hidrogeológico debe ir acompañado de un texto explicativo, en el que además de la información relativa a las características, autoría y realización del mapa en cuestión señalando los logros obtenidos en comparación con la cartografía antecedente si existe, se informe acerca del marco geológico e hidrogeológico en que se encuentra la zona cartografiada, se describan y presenten los datos de los inventarios realizados, se detallen las redes de control operativas e históricas, se describan las distintas unidades y acuíferos presentes, se expliquen los usos y demandas de agua en la zona con especial detalle de lo referido a las aguas subterráneas, se analicen los datos de calidad y los riesgos de contaminación y, finalmente, se presente el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico en la zona. Deberá incluir un apartado de referencias bibliográficas.

Núcleos urbanos: Esta referencia planimétrica es de gran utilidad para interpretar la cartografía, bien sea utilizando un símbolo, en función o no de la población censada, o bien sea delimitando el contorno urbano.

Otros datos: En alguno de los mapas utilizados para preparar este artículo se ha observado la presencia de otros datos no específicamente considerados en la presente relación; es el caso de densidades de explotación, catalogación de unidades acuíferas y otros.

Red de drenaje: La traza de la red de drenaje es, además de una referencia planimétrica, una información hidrológica de interés en la interpretación hidrogeológica. También es una información indirecta de la topografía.

Red viaria: Su principal interés es el de aportar información planimétrica que facilite la interpretación del mapa. También resulta de utilidad para preparar determinados trabajos de campo.

Redes de control: La localización sobre el mapa de los puntos en los que se recoge la información

climática e hidrológica complementa adecuadamente a los hidrogramas o isolíneas que se hayan podido trazar con estos datos.

Otro aspecto a considerar es el de la escala cartográfica. La escala del mapa está condicionada por la densidad de información disponible para incluir en la cartografía y por la extensión del ámbito geográfico a cartografiar. Los mapas hidrogeológicos consultados varían entre la escala 1:1.000.000 y la escala 1:50.000, siendo muy habituales los mapas hidrogeológicos a escala 1:200.000 o de ese orden de magnitud. El Instituto Geológico y Minero de España inició en 1982 la publicación de algunas hojas a escala 1:50.000 del Mapa Hidrogeológico de España correspondientes a aquellas zonas en las que se disponía de información hidrogeológica más abundante y completa; no obstante, parece haber tenido mejor acogida la publicación de las hojas 1:200.000, escala hacia la que tienden muchos de los mapas hidrogeológicos de ámbito provincial o autonómico; como ejemplos cabe citar los de Burgos (Instituto Tecnológico Geominero de España – Excelentísima Diputación Provincial de Burgos, 1998), Granada (Diputación Provincial de Granada – Instituto Tecnológico Geominero de España, 1990), Soria (López Geta, J.A.; Layna, P.; Ballester, A.; Martín, J.M.; Sanz, E., y de la Peña, J., sin fecha), Cataluña (Generalitat de Catalunya, 1992) elaborado a la escala 1:250.000 y País Vasco (Ente Vasco de la Energía, 1996) preparado a escala 1:100.000. Son estos unos mapas de síntesis de la información que además permiten un cierto detalle para explicar funcionamientos y programar adecuadamente estudios más detallados.

Haciendo repaso a la información incluida y a la escala utilizada en algunos mapas hidrogeológicos publicados, tal y como se ha explicado en los párrafos precedentes, se concluye que en todos los casos consultados, muchos de los cuales aparecen relacionados en el apartado de referencias bibliográficas, se ha requerido la presencia de una base planimétrica constituida meramente por la indicación de los núcleos urbanos y la traza de la red de drenaje superficial; estos son los únicos dos temas que aparecen en todos los mapas consultados. Seguidamente, en más del 75% de los mapas consultados se incluye una base geológica, junto con un inventario selectivo de pun-

tos de agua, la red viaria de comunicaciones y, además, se acompañan de mapas auxiliares temáticos de diversa naturaleza. Todos ellos incluyen una memoria explicativa de propósito y profundidad variable. Sorprende que aspectos que parecen tan interesantes como la traza de isopiezas, la indicación de las direcciones del flujo subterráneo, el dibujo de diagramas hidroquímicos, la indicación de las divisorias hidrogeológicas e hidrográficas o la representación de las redes de control utilizadas, se limite a menos de la mitad de los mapas que se autotitulan hidrogeológicos.

LA LEYENDA DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO

No parece respetarse el uso de una leyenda más o menos normalizada, entendida como un conjunto comúnmente aceptado de símbolos. Galofré (1976) y, especialmente, Struckmeier y Margat (1995) tratan este tema con profundidad. Una leyenda normalizada fue propuesta por la UNESCO en 1970, y más actualmente la Asociación Internacional de Hidrogeólogos publicó el trabajo citado de Struckmeier y Margat en donde se presenta una leyenda normalizada para mapas hidrogeológicos que considera tres grupos o secciones: I) Leyenda general para mapas hidrogeológicos, II) Leyenda particularizada para mapas de flujo subterráneo y III) Leyenda particularizada para mapas de vulnerabilidad. En el primer grupo se incluirían los mapas generales, en el segundo los que inciden en las propiedades hidrodinámicas para plantear modelos o estudios de recursos y en el tercer grupo los estudios de contaminación. La simbología recomendada incluye en todos los casos, colores sólidos, tramas, líneas y símbolos, a veces, con diseños de cierta complicación.

La utilización de colores sólidos para indicar la naturaleza del acuífero (azul para los porosos y verde para los kársticos y fisurados) puede complicar la interpretación geométrica que permite la correcta asignación cronoestratigráfica de los colores de uso consolidado en los mapas geológicos. Los recintos delimitados en la cartografía hidrogeológica son, generalmente, litosomas establecidos con criterios litoestratigráficos, como en los mapas de Navarra (Castiella, J. *et al.*, 1982) y de Castilla y León (Duch, C. *et al.*, 1995), o

en las hojas hidrogeológicas 1:200.000 del Instituto Tecnológico Geominero de España. Son recintos heredados de un mapa geológico previo que se simplifica sintetizando la leyenda geológica, eliminando información complementaria y añadiendo entre las notas explicativas de la leyenda algunos rasgos relativos al comportamiento hidrogeológico de los distintos materiales. Otras veces se cartografían recintos en función de factores expresivos de la respuesta del terreno a la infiltración, como en el mapa hidrogeológico de la parte central de Italia (Boni, C. *et al.*, 1987), aunque en este caso se trata de una pareja de mapas en la que se reserva el nombre de mapa hidrogeológico en sentido estricto, para aquel en el que la base se cartografía con criterio geológico.

El mapa de Áreas Hidrogeológicas de Cataluña (Generalitat de Catalunya, 1992) utiliza una leyenda del tipo de la recomendada por la UNESCO; utilizando distintos colores según la constitución litológica del acuífero y superponiendo tramas para lograr una mayor precisión en la clasificación litológica dentro de un mismo color o tipo de rocas. A nuestro juicio, ello enmascara la estructura geológica y, con ello, la geometría de los acuíferos; de este modo el mapa citado deberá trabajarse conjuntamente con el mapa geológico a la misma escala, del que este será un mapa auxiliar.

En este sentido parece mejor la solución a la que recurre el Instituto Tecnológico Geominero de España en las hojas 1:200.000 recientemente publicadas, en las que conserva los colores que permiten la correcta asignación estratigráfica e informa de la permeabilidad de los terrenos de forma cualitativa en la propia leyenda del mapa. Un procedimiento similar es utilizado en el Mapa Hidrogeológico del País Vasco (Ente Vasco de la Energía, 1996), aunque en este caso se aportan dos novedades interesantes: límites geológicos y clasificación de acuíferos. En este mapa la leyenda geológica conserva las relaciones geométricas entre los distintos litosomas, sin las esquematizaciones que se realizan en los mapas del Instituto Tecnológico Geominero de España (1995a y 1995b), por ejemplo; y además los contactos geológicos se identifican según la relación de paralelismo o no entre los cuerpos rocosos cartografiados. La información hidrogeológica

que aporta la leyenda del mapa del País Vasco consta de información cualitativa en cuatro rangos de permeabilidad y clasifica los acuíferos en uno de estos siete grupos: detríticos no consolidados, detríticos consolidados, detríticos mixtos, kársticos en sentido estricto, kársticos de flujo difuso, kársticos mixtos y otros. Todo ello sin enmascarar la cartografía geológica que aparece en el mapa y que también incluye la traza de ejes de pliegue y fracturas, como habitualmente se indican en los mapas puramente geológicos.

ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

El conjunto de fenómenos que resulta de la acción combinada de los agentes geodinámicos, tanto internos como externos, da lugar a cambios sobre la superficie terrestre; estos cambios se producen con una velocidad tal que, excluyendo ciertos ambientes sedimentarios concretos, la cartografía geológica puede considerarse estable. Sus necesarias actualizaciones son fruto del mayor conocimiento en el análisis petrológico, estructural o de cuencas, no en el cambio de las condiciones o características del terreno. Casi lo mismo podría decirse del régimen hidrológico natural, obviando las modificaciones que sobre el mismo se derivan de la evolución o cambio climático. Pero el régimen hidrológico real, fruto de la explotación o aprovechamiento que la sociedad hace de los recursos, puede distar sustancialmente, tanto cuantitativa como cualitativamente, del natural y además puede variar notablemente en pocos años, en respuesta a factores sociales o económicos, locales o globales, de difícil predicción. Esta mutabilidad condiciona que la cartografía hidrogeológica estable tienda a quedarse obsoleta, en particular en aquellas zonas en las que debería ser más demandada por ser objeto de mayor aprovechamiento.

Los tiempos de edición empleados por el ITGE, desde que se prepara un mapa hasta que se distribuye en las librerías tras superar todos los controles necesarios, puede resultar suficiente como para que el mapa hidrogeológico de unidades con fuerte o pujante explotación quede obsoleto en las primeras galeradas. Este problema parece insalvable a no ser que se lleve a cabo un profundo cambio conceptual, pasando de los clásicos mapas fijos a mapas generados automática-

mente a expensas de bancos de datos en constante actualización.

UN EJEMPLO NOVEDOSO: CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL EBRO

La Confederación Hidrográfica del Ebro, como organismo de cuenca encargado de la gestión del recurso hídrico, es tanto productor como usuario de información hidrológica. Para sistematizar el trabajo en busca de una mejora en la eficacia y en la eficiencia en la elaboración de informes hidrogeológicos, de los que anualmente se pueden emitir casi medio millar, se ha implantado un sistema de información que acumula datos y que responde a los interrogantes que habitualmente se plantean sobre la idoneidad o no de los aprovechamientos y de las futuras captaciones. El sistema se alimenta con trabajos específicos y también con la información que aporta cada nueva propuesta de los usuarios -que debe realizarse debidamente documentada- y responde en función de los datos almacenados. De este modo, conforme se van emitiendo más informes se va haciendo más robusto el propio sistema. Las respuestas se plasman cartográficamente en un mapa que, por la naturaleza de los temas que se yuxtaponen para su confección, podemos llamar hidrogeológico. Su escala, en función de la precisión con que cuenta la información disponible en el GIS-Ebro (Arqued y Losada, 1.995), suele ser la 1:150.000 globalmente, aunque algunos aspectos pueden trabajarse con mayor precisión. Consta básicamente de los siguientes temas o coberturas:

Inventario de puntos de agua: Incluye puntos de diversa naturaleza, aprovechamientos, datos descriptivos que pueden referenciarse sobre el mapa con un punto en coordenadas UTM. La base de datos IPA (Arqued *et al.*, 1999) aporta este tipo de información. Este banco de datos consta de más de 45.000 registros, en donde se incluyen datos de localización de los aprovechamientos, unos 12.000 datos de perforación y revestimiento de pozos y sondeos, unos 21.000 datos de columna litológica, 2.200 datos de pruebas de bombeo, 96.000 medidas piezométricas, 22.000 datos de caudal, 9.200 registros de análisis químicos con diversos parámetros, 16.000 datos descriptivos de los equipos de elevación instalados y 5.100

fotografías digitales de los puntos. La base de datos IPA tiene el propósito general de acumular y de ofrecer, en un sistema centralizado ágil, información de carácter hidrológico referida a las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Ebro, asociada a un entorno SIG, con el que comparte recursos y del que explota sus posibilidades gráficas y de consulta.

Mapa geológico de la cuenca del Ebro: Este mapa (Bescos *et al.*, 1999) ha sido preparado digitalmente en la Confederación Hidrográfica del Ebro gracias a una amplia colaboración institucional con diversos organismos que ostentan competencias administrativas sobre territorio de la cuenca del Ebro. Este mapa geológico ha sido especialmente preparado para su aplicación a los estudios hidrológicos que realiza la Confederación Hidrográfica del Ebro, entre los que cabe destacar los hidrogeológicos, los estu-

dios para modelar la transformación de la precipitación en aportación y en recarga de los acuíferos (García Vera, M.A., 1997), los estudios ecológicos para la determinación de los caudales de compensación (Munné, T. y Prats, N., 1999) y los diversos proyectos que se realizan y que precisan el soporte de una cartografía geológica.

Catalogación de unidades hidrogeológicas y acuíferos: La cuenca del Ebro está repartida en ocho dominios hidrogeológicos, por cuyo interior se distribuyen 71 unidades hidrogeológicas (MIMAM, 1999). En cada una de ellas existe una correspondencia entre el litosoma identificado en la leyenda geológica y un nivel acuífero catalogado.

Referencias planimétricas: Aquí, el técnico que prepara el mapa puede recurrir a un variado abanico de posibilidades: división administrativa,

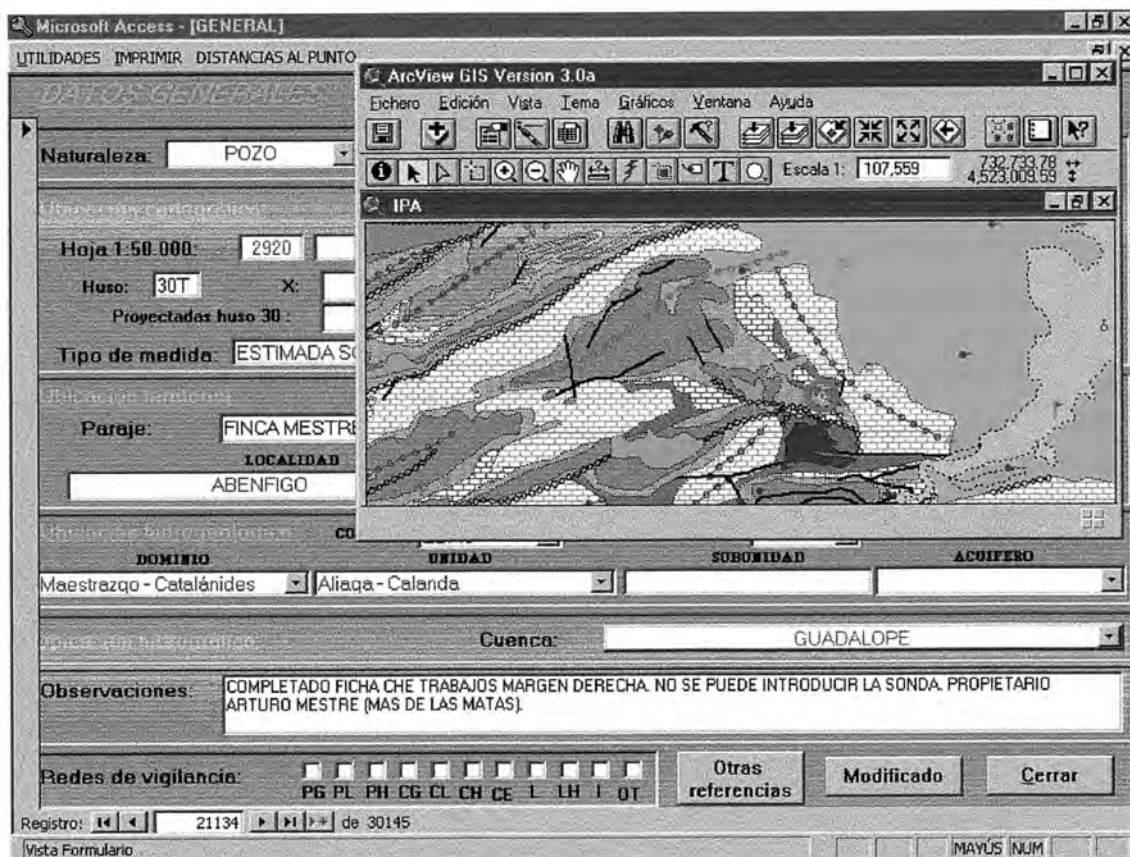


Fig. 1. Vista de la pantalla de un ordenador en la que se observa la relación de la base de datos IPA con la cartografía geológica digital.

división cartográfica, retícula kilométrica de la proyección UTM, red viaria, núcleos urbanos y otras, con las debidas etiquetas que facilitan su identificación. También se puede incluir en el mapa la información hidrológica: límites hidrográficos y traza de la red fluvial, embalses e infraestructuras en general, isolíneas con información climática, etc. Como apoyo planimétrico de singular interés, se dispone de una imagen teledetectada de apariencia fotográfica, que puede desplegarse a la escala máxima 1:25.000. El GIS-Ebro suministra este tipo de información a la base de datos que prepara el mapa hidrogeológico.

De este modo, los cuatro aspectos señalados (inventario de puntos de agua, cartografía geológica, catalogación de acuíferos y referencias planimétricas e información complementaria) están estrechamente relacionados en el entorno del sistema de información hidrogeológica. Así, por ejemplo, cuando se da de alta un punto en la base de datos IPA el procedimiento se realiza sobre una pantalla gráfica que muestra las referencias planimétricas oportunas, escogidas por el operador entre las disponibles, para garantizar la localización; el sistema lee entonces los datos planimétricos que le es posible para rellenar automáticamente campos en la base de datos, de este modo número de inventario, coordenadas UTM, municipio, provincia, cuenca y subcuenca hidrográfica, unidad hidrogeológica, dominio hidrogeológico y hoja 1:50.000 se cargan automáticamente dependiendo exclusivamente de la situación asignada. Se identifica el acuífero manualmente, con apoyo en preguntas que el operador realiza sobre la pantalla gráfica, y finalmente se completan diversos campos en las fichas de la base de datos de acuerdo con la información de que se disponga. Después estos datos pueden desplegarse sobre el propio mapa presentando algunas características de modo gráfico, entre estas cabe destacar por ejemplo la traza de diagramas poligonales para expresar el contenido en iones mayoritarios de determinadas muestras de agua o las cotas piezométricas.

CONSIDERACIONES FINALES

Para la realización de un mapa hidrogeológico se considera preciso contar con cuatro bloques de

información: cartografía geológica, información hidrológica y de aprovechamientos, conocimiento hidrogeológico y referencias planimétricas.

Resulta muy interesante contar con una base geológica de la mayor calidad disponible, dicha cartografía puede muy bien ser la que realiza el Instituto Tecnológico Geominero de España a distintas escalas, en particular la nueva producción a escala 1:200.000. El segundo aspecto señalado es el de la información hidrológica, comprendiendo tanto el inventario de puntos de agua como distintos tipos de hidrogramas de caudal o de nivel piezométrico, registros cualitativos y datos de explotación, también datos climáticos. Este segundo bloque de información se encuentra en los Organismos de Cuenca, tanto en las cuencas intracomunitarias como en las intercomunitarias, en las Oficinas de Planificación Hidrológica y en las Comisaría de Aguas. El tercer bloque de información, el conocimiento hidrogeológico, está repartido en distintos organismos según las particularidades administrativas y de personal técnico en cada zona de España, pero está claro que los Organismos de Cuenca, el ITGE y en ocasiones las oficinas técnicas de las comunidades autónomas tienen responsabilidad y tradición en este tipo de estudios. Finalmente el soporte planimétrico es competencia del Instituto Geográfico Nacional y, en caso de resultar insuficiente, se puede completar con trabajos específicos.

El establecimiento de mecanismos de colaboración entre los citados agentes para facilitar la composición un banco de datos que constituya un sistema de información hidrogeológica capaz, entre otras funciones, de generar mapas con consultas directas a los datos almacenados hasta ese momento, no es un problema técnico complejo o especialmente costoso; el ejemplo de la cuenca del Ebro presentado puede mejorarse con la colaboración del Instituto y el modelo puede extenderse con facilidad, llegando incluso a poder interrogar a la base de datos a través de Internet, la respuesta será un archivo que puede contener una tabla, un informe o un mapa.

Por ello se concluye recomendando potenciar los mecanismos de cooperación precisos para trabajar conjuntamente entre el ITGE y los

Organismos de Cuenca en la caracterización hidrogeológica del territorio, posibilitando con ello el mantenimiento de un sistema de información hidrogeológica que venga a reemplazar a las cartografías actuales y ofrezca un servicio añadido a las distintas administraciones y usuarios.

Respecto a la cartografía tradicional, se propone elaborar un apartado de hidrogeología dentro de los mapas geológicos de síntesis 1:200.000 de más entidad que el que actualmente se incluye, apoyado con el auxilio de otros mapas hidrogeológicos temáticos a menor escala. Puede acompañarse también de leyendas complementarias que informen sobre las características hidrogeológicas de los diferentes materiales considerados.

REFERENCIAS

ARQUED, V. M. y LOSADA, J. A. (1995). El GIS-Ebro. Experiencias de su implantación y desarrollo. *Mapping*, 21, 66-68.

ARQUED, V. M.; MARGELÍ, M.; PARDO, F.; BESCÓS, B., y GARCÍA-VERA, M. A. (1999). La base de datos IPA. Un inventario de puntos de agua de la cuenca del Ebro. Conferencia de ESRI 1999. Comunicaciones. Madrid.

BESCÓS, B.; ARQUED, V.M.; MARGELÍ, M.; PARDO, F., y GARCÍA-VERA, M.A. (1999). Un mapa geológico de la cuenca del Ebro. Conferencia de ESRI 1999. Comunicaciones. Madrid.

BONI, C.; BONO, P., y CAPELLI, G. (1987). Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale. Editado por: Consiglio Nazionale delle Ricerche – Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

CASTIELLA, J.; SOLÉ, J.; NIÑEROLA, S., y OTAMENDI, A. (1982). Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico. Diputación Foral de Navarra, Dirección de Obras Públicas, Servicio Geológico.

Diputació de Castelló (1987). Atlas hidrogeológico de la provincia de Castellón. Edita: Servicio de Publicaciones. Diputació de Castelló. Castellón.

Diputación Provincial de Alicante (1990). Alicante. Mapa del Agua. Escala 1:150.000. Edita: Diputación Provincial de Alicante. Servicio de Ingeniería, Vías y Obras. Colabora: Instituto Tecnológico Geominero de España.

Diputación Provincial de Granada – Instituto Tecnológico Geominero de España (1990). Atlas hidrogeológico de la provincia de Granada.

DUCH, C.; HERNÁNDEZ, M. F., y PERIANES, V. (1995). Mapa hidrogeológico de Castilla y León. Edita: Junta de Castilla y

León, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección General de Urbanismo y Calidad Ambiental.

Ente Vasco de la Energía (1996). Mapa Hidrogeológico del País Vasco, E: 1/100.000. Edita: Ente Vasco de la Energía. Bilbao.

GALOFRE, A. (1976). Mapas hidrogeológicos. En: *Hidrología subterránea*. Custodio, E. y Llamas, M.R. Eds. Editorial Omega. Barcelona.

GARCÍA VERA, M.A. (1997). Balance de la unidad hidrogeológica de Gallocanta 7.03. (Plan Hidrológico). Confederación Hidrográfica del Ebro. Oficina de Planificación Hidrológica. Director del estudio: Víctor M. Arqued Esquí. Documento inédito.

Generalitat de Catalunya (1992). Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya 1:250.000. Col·lecció 1:250.000. Institut Cartogràfic de Catalunya – Servei Geològic de Catalunya. Barcelona.

Generalitat Valenciana (1998). Accesibilidad potencial a los recursos hídricos en la comunidad valenciana. Serie cartografía temática. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Direcció General de Urbanisme, i Ordenació Territorial. Servei d'Informació Territorial i Divulgació.

Instituto Geológico y Minero de España (1982). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:50.000. Daimiel, 760 (19-30). Primera serie. Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1991a). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:200.000. León, 19 (4-3). Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1991b). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:200.000. Madrid, 45 (5-6). Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1995a). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:200.000. Teruel, 47 (7-6). Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1995b). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:200.000. Daroca, 40 (7-5). Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1995c). Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:200.000. Barcelona, 40 (7-5). Primera edición. Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España – Excelentísima Diputación Provincial de Burgos (1998). Atlas del Medio Hídrico de la Provincia de Burgos. Editado por el Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

LÓPEZ GETA, J.A.; LAYNA, P.; BALLESTER, A.; MARTÍN, J.M.; SANZ, E., y DE LA PEÑA, J. (sin fecha). El agua subterránea en Soria. Mapa hidrogeológico. Edita: Instituto Tecnológico Geominero de España. Dirección de Aguas Subterráneas y Geología Ambiental. Madrid.

MARTÍNEZ TORRES, L.M. (1995). Principales tipos de mapas geóticos. Guía de mapas temáticos para el análisis del medio físico. Servicio Editorial. Universidad del País Vasco. Bilbao.

Ministerio de Medio Ambiente (1999). Delimitación de las Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Oficina de Planificación Hidrológica. Asistencia técnica: INTECSA. Dirección del estudio: Víctor M. Arqued Esquía y Javier San Román Saldaña. Documento inédito.

MUNNÉ, A. y PRATS, N. (1999). Regionalización de la cuenca del Ebro para la asignación de Ecodistritos y posterior determinación de los umbrales de calidad biológica. Confederación Hidrográfica del Ebro. Oficina de Planificación Hidrológica. Zaragoza. Documento inédito.

STRUCKMEIER, W. F. y MARGAT, J. (1995). Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. En: *International contributions to hydrogeology*, vol. 17. Verlag Heinz Heise. Hannover.