

HISTORIA, SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS EN CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

Por J. Vrba (*)

RESUMEN

El mapa hidrogeológico constituye la fase final en el proceso de caracterización del medio hidrogeológico, reflejando el nivel de conocimiento geológico, hidrológico e hidrogeológico del territorio estudiado. En este artículo se resume la evolución de la cartografía hidrogeológica y sus tendencias futuras. Se exponen los criterios para clasificar los mapas hidrogeológicos, se analizan las posibilidades de la cartografía temática como un producto técnico y comercial y se valora el contenido general de los mapas hidrogeológicos y su representación. Finalmente se evalúan los métodos de elaboración de los mapas hidrogeológicos, así como un análisis de la utilidad de las nuevas tecnologías y su aplicación a la realización y actualización de la cartografía hidrogeológica.

Palabras clave: Mapas hidrogeológicos, Mapas temáticos, Mapas generales.

ABSTRACT

The hydrogeological map constitutes the final phase in the process of characterization of hydrogeological features, showing the level of geological, hydrological and hydrogeological knowledge of the studied area. In this paper the evolution of the hydrogeological cartography and their future tendencies is summarized. The approaches are exposed to classify the hydrogeological maps, the possibilities of the thematic cartography are analyzed as a technical and commercial product and it is valued the general content of the hydrogeological maps and their representation. Finally the methods of elaboration of the hydrogeological maps are evaluated, as well as an analysis of the utility of the new technologies and their application to the realization and bring up to date of the hydrogeological cartography.

Key words: Hydrogeological maps, Thematic maps, General maps.

INTRODUCCIÓN

El mapa hidrogeológico es la fase final del proceso de reconocimiento y estudio hidrogeológico. El nivel científico del mapa hidrogeológico refleja el nivel de los conocimientos geológicos, hidrológicos y particularmente hidrogeológicos del territorio estudiado. Un mapa hidrogeológico de buena calidad no se puede elaborar en un territorio con reconocimientos hidrogeológicos escasos.

El objetivo del mapa hidrogeológico es la visualización y presentación gráfica y numérica de datos relativos a la litología del ambiente rocoso y la estructura tectónica, la dinámica y la zonalidad del sistema de aguas subterráneas y los

parámetros cuantitativos y cualitativos que los caracterizan, así como la recopilación y el tratamiento de los datos e informaciones obtenidas en el proceso de investigación, observación y cartografía hidrogeológica.

Medio rocoso y agua subterránea forman un sistema tridimensional en el cual los valores de las variables cambian en el espacio y en el tiempo. Su representación supone incluir en el concepto del mapa la dimensión vertical. Los cortes hidrogeológicos, los diagramas isométricos o los bloques ayudan a visualizar dicha dimensión vertical.

Un comportamiento holístico en la política, estrategia y gestión de desarrollo y protección de los recursos de agua subterránea:

- refleja su valor social, económico y ecológico

(*) Korandova 32. 14700 Prague 4 (Czech Republic)

- considera la conexión estrecha entre aguas subterráneas y superficiales
- presta similar atención a los aspectos cuantitativos y cualitativos.

EVOLUCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

La historia de los mapas hidrogeológicos, como tales, puede considerarse que empieza en la década de 1940.

Hasta 1940 - Mapas hidrogeológicos primitivos, basados estrictamente en los mapas geológicos. La interpretación hidrogeológica se hacía según la litología de las rocas y su permeabilidad deducida (areniscas = permeables, esquistos = impermeables, etc).

Los siguientes 60 años de desarrollo de la cartografía hidrogeológica se pueden dividir en las siguientes etapas:

1940 - 1950 - Los mapas hidrogeológicos se han separado ya de los mapas geológicos. Junto con los mapas geofísicos, hidro-geoquímicos y otros, forman la categoría de los mapas especiales derivados del mapa geológico. Aparte de la interpretación hidrolitológica de las rocas, tal como se hacía en la etapa previa, se expresan fenómenos hidrogeológicos, tales como niveles de agua subterránea, dirección del flujo, pozos y manantiales importantes.

1950 - 1960 - Sigue la ampliación de las magnitudes hidrogeológicas y del sistema del agua subterránea presentadas en los mapas. Comienza a representarse cartográficamente la calidad del agua y sus tipos hidroquímicos, utilizando métodos puntuales, líneas o diagramas; el mapa hidrogeológico se complementa, aparte de la leyenda, con esquemas de pequeña escala del mismo territorio, como mapas de transmisividades, conductividades eléctricas, tipos hidroquímicos de los acuíferos principales, isobatas, etc. En la parte inferior de las hojas del mapa hidrogeológico se ubican los cortes hidrogeológicos. Simultáneamente a la hoja hidrogeológica se publican notas explicativas y memorias. Se puede decir que el diseño de la hoja del mapa

hidrogeológico establecida en esta época es la que se utiliza hasta el presente.

1960 - 1980 - A principios de los años sesenta, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos y la Asociación Internacional de Hidrología Científica iniciaron las actividades con el objetivo de buscar, a nivel internacional, una coordinación y un consenso sobre el contenido de los mapas hidrogeológicos, leyendas, la unificación de los símbolos y los métodos de presentación de los fenómenos hidrogeológicos y del agua subterránea. Se logró un acuerdo internacional en el año 1963, y UNESCO publicó la propuesta de leyenda de los mapas hidrogeológicos. Al mismo tiempo (1962-1964) un grupo de hidrogeólogos de los países de Europa Central formó la primera hoja -BERN- de la edición del mapa hidrogeológico de Europa a escala 1:1.500.000. De ella se han preparado cuatro versiones. La última, que clasifica las rocas según su permeabilidad y los acuíferos según su productividad, fue aceptada como prototipo de la edición europea de los mapas hidrogeológicos a escala 1:1.500.000. Hasta ahora se han publicado 30 hojas. La edición terminará en un futuro próximo.

Basándose en la experiencia de las primeras hojas hidrogeológicas del mapa europeo, en el año 1970 UNESCO publicó, la leyenda internacional para mapas hidrogeológicos en cuatro idiomas.

En el período 1960-1980 varios países, particularmente muchos europeos, publicaron mapas sinópticos del territorio estatal, como Francia, Alemania, Checoslovaquia y España (Mapa Hidrogeológico Nacional - 1972). Numerosos países europeos también iniciaron la publicación de programas de mapas hidrogeológicos a escala media (por lo general a escala 1:200.000).

1980-presente - Este período se caracteriza por un desarrollo muy significativo, tanto en los contenidos de los mapas como en métodos y técnicas de elaboración. Los procedimientos más importantes en el desarrollo de los mapas hidrogeológicos son los siguientes:

- Publicación de la leyenda revisada del mapa hidrogeológico (UNESCO, 1983).

- Publicación de una nueva leyenda estandarizada para los mapas hidrogeológicos, preparada por el Grupo de Expertos de la Comisión de Mapas Hidrogeológicos de la AIH, en el marco del Programa Hidrológico Internacional (UNESCO, 1995).
- Incorporación de técnicas de teledetección para precisar los límites cartográficos de las unidades litológicas y de las estructuras tectónicas y geomorfológicas importantes, identificar sitios o áreas de contaminación del suelo, zona no saturada y agua subterránea, etc.
- Formación de mapas especiales con objetivos específicos derivados del mapa hidrogeológico, tales como mapas de vulnerabilidad, protección y contaminación.
- Introducción de métodos de diseño asistidos por ordenador (CAD) y sistemas de información geográfica (SIG).
- Organización de bases de datos digitales hidrogeológicas, hidrológicas, climáticas y geológicas, que incluye su recopilación, transmisión, almacenamiento, tratamiento y gestión. Visualización en forma gráfica o numérica con asistencia de los SIG.
- Utilización de métodos multivariantes estadísticos, adaptados para el análisis de conjuntos de datos obtenidos en las redes de observación del agua subterránea y superficial nacionales, regionales y locales.

Tendencias futuras - Se prevé un aumento del uso de los mapas temáticos de escalas grande y media, en su mayoría en formato digital, con contenidos que respondan a las peticiones de los diversos grupos de usuarios. Los programas de realización de mapas hidrogeológicos generales a escala media seguramente concentrarán sus esfuerzos en las zonas económicamente importantes o con presencia de acuíferos significativos. Por razones técnicas y económicas, parece que no tienen futuro actualmente los programas de esos mismos mapas con la finalidad de cubrir todo el territorio estatal.

Particularmente por la asistencia de los SIG y otros sistemas similares se desarrollan métodos

de presentación en los mapas de la tercera dimensión del sistema de agua subterránea, particularmente mediante diagramas de bloques.

Aumentará la precisión de los mapas porque las series de progresión de datos de observación de las variables crece con el tiempo, y por lo tanto los datos serán más representativos.

La puesta a disposición de los mapas hidrogeológicos por Internet y la publicación de los mismos mediante soporte digital influyen en la rápida y amplia diseminación de la información sobre cartografía hidrogeológica, y en caso de que el contenido de los mapas sea provechoso para los usuarios, aumentará significativamente su uso y venta.

CLASIFICACIÓN DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

Existen varios criterios para la clasificación de los mapas hidrogeológicos. Los principales son: tipo, objetivo, escala, contenido y formato.

Entre los criterios de clasificación existen estrechas relaciones. El tipo del mapa depende de su objetivo. Dicho objetivo tiene una influencia decisiva en la selección de la escala y en el contenido del mapa, particularmente en caso de los mapas temáticos. La escala controla el contenido del mapa y entre otros influye en la selección de los métodos de elaboración del mismo.

Tipo de mapa - Mapa hidrogeológico general y mapas temáticos, de objetivo único o multiobjetivo, derivados del mapa hidrogeológico, como mapas de vulnerabilidad, protección, contaminación, accesibilidad, potencial de los recursos de aguas subterráneas y otros. Los mapas temáticos derivados del mapa hidrogeológico son distintos ya que no presentan parámetros individuales del sistema de agua subterránea, es decir, sólo tienen en cuenta aquellas características de los parámetros del agua subterránea que influyen o se relacionan con la vulnerabilidad, protección, contaminación o accesibilidad.

Objetivo del mapa - Científico, técnico y ecológico, de planificación, decisión, administración, gestión, educación e información.

Escala del mapa - Escala pequeña, 1:1.000.000 y menor: mapas generales sinópticos del territorio nacional o continental

Escala media, 1:200.000 a 1:500.000: mapas generales publicados como hojas individuales o más frecuentemente como programas con contenido y leyenda unificados, o atlas. Con menor frecuencia, mapas temáticos como el mapa de vulnerabilidad, protección y otros.

Escala grande, 1:100.000 y mayor: mapas generales publicados como hojas individuales para las áreas de gran importancia hidrogeológica, ecológica o económica (acuíferos extensos productivos, humedales) y particularmente varios tipos de mapas temáticos con contenido relacionado a la solicitud del usuario. Los técnicos, planificadores, ejecutivos, gestores, políticos y el público, son grupos que requieren y necesitan obtener diferente información del mapa. Esto supone una actuación flexible y operativa del hidrogeólogo para cumplir con las exigencias del usuario en cuanto al contenido del mapa.

Contenido del mapa - Los mapas hidrogeológicos generales reflejan los aspectos naturales, tales como condiciones hidrogeológicas, sistemas acuíferos y potencial de los recursos del agua subterránea. Los mapas temáticos reflejan diversa influencia humana, real y posible sobre el sistema del agua subterránea.

Formato del mapa - Hojas individuales, mapas en formatos estandarizados (programas o ediciones, atlas), parte del informe y otros.

Las memorias o notas explicativas son una parte inseparable de todos los tipos de mapas hidrogeológicos. Explican cómo leer y entender el mapa y contienen importantes datos e informaciones que no se pueden incluir en el mapa para no complicar su legibilidad. Particularmente en los mapas temáticos se definen los límites del uso del mapa. Muchas veces estos límites del uso del mapa están impresos en el mismo como parte de leyenda.

En el proceso de desarrollo de los mapas hidrogeológicos se ha producido un aumento notable número de sus usuarios. Esto se refiere particu-

larmente a los mapas hidrogeológicos temáticos con distintos objetivos.

En principio, en los años 1940-60, los usuarios del mapa eran en su mayoría hidrogeólogos.

Posteriormente, el contenido más sofisticado del mapa determinó un uso del mismo más extenso y un mayor número de usuarios: además de hidrogeólogos, también ingenieros del agua y planificadores.

Actualmente los mapas hidrogeológicos generales y temáticos se aprovechan de forma muy amplia. Los utilizan hidrogeólogos, ingenieros del agua, ecólogos, planificadores, ejecutivos y gestores. De forma simplificada, el mapa sirve para informar al público y los mapas sinópticos se emplean con fines educativos.

En varios países europeos los mapas hidrogeológicos generales y los mapas de vulnerabilidad, protección y recursos potenciales de agua subterránea son documentos importantes en ordenación y planificación del uso del territorio a nivel nacional, regional o local.

EL MAPA HIDROGEOLÓGICO COMO UN PRODUCTO TÉCNICO Y COMERCIAL

Sin duda en el futuro, y ya en la actualidad, la mayor parte de los mapas hidrogeológicos serán mapas temáticos derivados del mapa hidrogeológico general y preparados según demanda de los diversos grupos interesados. Esto significa que el mapa es un producto comercial, cuyo valor es evaluado por el inversor basándose en el análisis coste/beneficio, o en otras palabras, evaluando si la inversión en el mapa se corresponde con las informaciones adecuadas.

En el caso de los programas nacionales del mapa hidrogeológico general no se puede esperar que se reduzca la inversión estatal en la producción de los mismos. El objetivo principal de este tipo de mapas es científico, social y ecológico.

La elaboración del mapa es un proceso interactivo que exige un esfuerzo cooperativo entre los que realizan el mapa y los que lo usan. Esto requiere una comunicación bilateral, particular-

mente al principio del proceso de preparación del mapa, cuando se definen el objetivo y el contenido del mismo.

Desde el punto de vista de las técnicas de construcción del mapa, el hidrogeólogo debería aprovechar todas las ventajas, facilidades y posibilidades que ofrecen los métodos SIG y CAD, en comparación con el uso de los métodos tradicionales manuales. Aquéllos son más baratos y efectivos y permiten:

- introducir cambios y complementos según las observaciones y exigencias del usuario hasta la última fase de preparación del mapa,
- combinar diversas capas de información (asociadas a la base de datos alfanuméricos digitales) según el objetivo del mapa,
- una rápida actualización del mapa en caso de conseguir nuevos conjuntos de datos.

El mapa hidrogeológico es útil si presenta los datos e informaciones exigidos de una forma clara, simple y comprensible, para que el usuario pueda extraer unas conclusiones apropiadas. Una excesiva simplificación de datos en los mapas o una sobrecarga de los mismos puede confundir o inducir a error al usuario. Asimismo, una definición imprecisa del objetivo del mapa, una baja precisión de la evaluación de los datos o una pobre cartografía, pueden dar lugar a un uso del mapa escaso o erróneo.

A pesar de que los mapas son sólo uno de los componentes del proceso de reconocimiento hidrogeológico, constituyen un producto imprescindible y el más visible, y pueden crear una idea falsa al usuario si los acepta sin capacidad crítica.

La incertidumbre es inmanente en todo el proceso de elaboración del mapa hidrogeológico. El nivel de incertidumbre refleja el nivel de conocimiento de las condiciones hidrogeológicas y del sistema del agua subterránea. Por esa razón, los parámetros que se consideran importantes para un determinado tipo de mapa hidrogeológico deben ser fijados con la mayor precisión posible, para reducir de esta manera la incertidumbre a un nivel aceptable.

Las memorias o las notas explicativas del mapa informan al usuario sobre el nivel de precisión de las informaciones que el mapa presenta y sobre los límites de uso del mapa, para tratar de evitar de esta manera errores en su interpretación.

En conclusión, el hidrogeólogo debe tener conciencia de que el mapa no es sólo un producto técnico, sino también un producto comercial. En cuanto el usuario, basándose en un análisis coste/beneficio, evalúe positivamente lo que el mapa le aporta, cabe esperar su interés en la cooperación futura, lo que trae nuevas posibilidades para el trabajo del hidrogeólogo.

SELECCIÓN DE LOS DATOS Y MÉTODOS PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA HIDROGEOLÓGICO

No se trata aquí de analizar en detalle las informaciones, datos y métodos necesarios para elaboración del mapa, sino sólo apuntar algunos aspectos cuya importancia está a veces sobrestimada o subestimada. Se hace referencia a los mapas de base que facilitan las informaciones más importantes para confeccionar el mapa hidrogeológico, a la autenticidad y representatividad de los datos, y a los métodos que hacen que un mapa hidrogeológico conserve su buena legibilidad aún siendo más complejo.

MAPAS

Los mapas topográficos, geológicos y del suelo influyen significativamente en la calidad de los mapas hidrogeológicos.

El mapa topográfico debe ser una representación precisa de la superficie del terreno y del sistema hidrográfico, como base para definir los límites de las cuencas, las áreas de recarga y descarga del agua subterránea, la red fluvial y otros elementos de importancia hidrogeológica. Las imágenes de satélites y las fotografías aéreas sirven para precisar y actualizar el mapa topográfico e identificar los límites de las unidades hidrológicas y las estructuras geológicas regionales (fallas, lineamientos, anticlinales, cuevas, horsts) de importancia hidrogeológica.

En el mapa geológico las unidades litológicas y las estructuras tectónicas tienen mucha importancia para las interpretaciones hidrogeológicas. La litología y el nivel de consolidación de las rocas determinan el tipo de permeabilidad y la transmisividad de las mismas, y su capacidad de recargar, transmitir, almacenar y descargar agua subterránea. La estructura tectónica influye en la geometría del acuífero y en las condiciones de contorno (zonas de flujo preferencial y permeabilidad de las fallas, barreras, drenajes) e indica la posibilidad de fenómenos postvolcánicos, como el CO₂ que contienen algunas aguas minerales.

La litología y la estructura tectónica facilitan la implementación hidrogeológica en relación con la complejidad del sistema acuífero (mono o multicapa, homogéneo o heterogéneo) y las condiciones hidrodinámicas (sistema freático, semi-confinado o confinado).

El mapa del suelo representa la distribución, tipo, espesor y composición del suelo. Ayuda a evaluar su influencia en la recarga de los acuíferos y a valorar la "*capacidad atenuante del suelo*" respecto a los contaminantes, lo cual tiene una influencia muy significativa para determinar la vulnerabilidad del agua subterránea y su representación cartográfica.

La evaluación e interpretación de los fenómenos topográficos, hidrográficos, geológicos y edafológicos permite establecer la base de soporte de la información hidrogeológica en el territorio cartografiado. Por esta razón, del análisis de los mencionados mapas se desprende un valioso conjunto de informaciones que juegan un papel muy importante en el proceso de la cartografía hidrogeológica.

DATOS

La elaboración del mapa hidrogeológico requiere un conjunto de datos meteorológicos, hidrológicos e hidrogeológicos que sean representativos del territorio que se cartografía. Los datos básicos de series largas se obtienen en las estaciones de las redes de observación estatales.

El conjunto de los datos de precipitación, temperatura y evaporación -aspectos meteorológicos- y

de escorrentía del flujo superficial y caudal de base -aspecto hidrológico- son indispensables para el balance hidrológico y para el cálculo de los recursos de agua subterránea. Ambos aspectos forman una parte importante del contenido del mapa hidrogeológico, que representa la productividad de los acuíferos y el potencial de los recursos hídricos.

Para preparar un mapa hidrogeológico coherente y lo más exacto posible se requiere disponer de un conjunto de datos hidrogeológicos homogéneos, compatibles y representativos, regularmente distribuidos en el territorio cartografiado. En la realidad uno se enfrenta muchas veces a:

- insuficiencia de los datos, particularmente de los acuíferos profundos,
- irregular distribución territorial y zonal de los datos de pozos de reconocimiento y observación,
- poca confianza en los datos obtenidos de los pozos, con escasa documentación hidrogeológica y detalles de su construcción,
- incompatibilidad entre las técnicas de medición, observación y análisis de los datos en el campo y en el laboratorio,
- insuficiencia de datos periódicos sobre las magnitudes variables para su evaluación a largo plazo y, en cambio, predominio de datos de muestreo y de mediciones individuales de poca representatividad.

Una profunda evaluación y tratamiento de los datos disponibles tiene gran importancia científica y económica. Las deficiencias observadas en los datos representativos y confiables definen la extensión de los reconocimientos complementarios a realizar en el campo (perforación de nuevos pozos, ensayos de bombeo, toma y análisis de muestras de agua, etc.), que en conjunto son costosos.

Por esta razón, la decisión final sobre qué datos se almacenan en el banco de datos para su posterior análisis e implementación deberá tomarla un experto con experiencia en este campo y con buen conocimiento hidrogeológico del territorio

cartografiado. El proceso de tratamiento de los datos no se puede subestimar y dejar en las manos de los técnicos o hidrogeólogos con insuficiente experiencia.

MÉTODOS

Los métodos de representación cartográfica de las informaciones hidrogeológicas dependen del objetivo, tipo y escala del mapa. Tienen prioridad los métodos que facilitan la representación de los datos e informaciones en una sola hoja, pero siempre conservando su buena legibilidad. Esto último es más fácil en los mapas temáticos que reflejan propiedades intrínsecas específicas de las aguas subterráneas (vulnerabilidad, accesibilidad), o impacto antrópico existente (contaminación) o posible (protección, riesgo).

La metodología de realización cartográfica de los mapas hidrogeológicos generales es más complicada porque su finalidad es representar el sistema de agua subterránea en toda su complejidad. Considerado el acceso holístico al desarrollo y protección de las aguas subterráneas, es deseable expresar en una hoja del mapa los datos hidrológicos, de distribución de los acuíferos y de evaluación cuantitativa y cualitativa de los acuíferos. Este tipo de mapas es particularmente muy ventajoso para la planificación, administración y gestión de las aguas subterráneas. La separación de las informaciones hidrológicas y de potencial de los recursos de agua subterránea en dos hojas puede llevar a interpretaciones erróneas a los no especialistas en hidrogeología. Este concepto no se refiere a los atlas, que permiten expresar condiciones hidrogeológicas y de potencial de los acuíferos y de los recursos de agua subterránea mediante un conjunto de mapas generales y temáticos.

En una sola hoja del mapa se pueden utilizar los dos medios cartográficos más importantes: colores y tramas o sobrecargas, de la siguiente forma:

- Gammas de colores.- representan acuíferos y rocas según su permeabilidad (porosidad, fisuración, karstificación, sin acuíferos).
- Intensidad de colores.- representan productivi-

dad de los acuíferos (expresada en tres grupos, p.e. según el caudal específico: >1 ; 1 a 5 ; $< 5 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$).

- Tramas o sobrecargas.- representan litologías.
- Colores de las tramas o sobrecargas.- se utilizan para la delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga de las aguas subterráneas.

Los símbolos puntuales se emplean para localizar en el mapa pozos (círculos rojos) o manantiales (círculos violetas). Pueden diferenciar por su diámetro los pozos según su caudal específico, o el caudal promedio en caso de los manantiales, y por su color el tipo químico del agua (la mitad del círculo violeta indica manantial o rojo indica pozo, con diversos colores para la otra mitad del mismo, indicando el tipo químico del agua).

La representación de otros aspectos y magnitudes en el mapa puede seguir la guía y leyenda de la AIH/UNESCO (1995).

En los esquemas o mapas auxiliares impresos en el borde de la hoja, a pequeña escala se representan isoyetas, transmisividades, utilización de agua, caudal explotado, etc. Datos tales como evolución de niveles piezométricos, diagramas hidroquímicos e histogramas de precipitación forman parte de las memorias. No parece oportuno incluir los mismos en la hoja porque necesitan texto explicativo complementario.

No es necesario considerar como una metodología obligatoria las guías de la AIH/UNESCO (1994, 1995), particularmente en caso de los mapas de escala grande y media. El hidrogeólogo debería adoptar una actitud pragmática y, en función de las condiciones hidrogeológicas, objetivo y escala del mapa, encontrar los métodos más convenientes para su elaboración.

PROBLEMAS PRESENTES Y DESARROLLO FUTURO DE LOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

Durante los últimos decenios se han producido cambios significativos en la definición y cartografía de las unidades litológicas y las estructuras tectónicas, así como en las técnicas de construcción de mapas. Después de una época de prepa-

ración manual de los mapas se ha entrado en la época de la cartografía digital. Los métodos CAD y SIG, y sus correspondientes programas, basados en digitalización de los datos, aceleran de forma significativa su tratamiento y visualización y contribuyen a la elaboración y edición del mapa y según objetivos determinados.

También la actualización de los mapas, con la ayuda de las técnicas mencionadas, es mucho más rápida y menos costosa en comparación con los métodos tradicionales. Las técnicas digitales también facilitan la visualización tridimensional.

El papel del hidrogeólogo en todo el proceso de realización del mapa es fundamental. Su tarea es dirigir el proceso de generación, transmisión, procesamiento, almacenamiento y gestión del sistema de la base de datos, eliminar los datos erróneos y de poco valor o representatividad, y comprobar los resultados gráficos (kriging) implementados por cálculos matemáticos, ya que los sistemas asistidos por ordenador no reconocen propiedades específicas (inconsistencia y heterogeneidad) del medio geológico e hidrogeológico.

Otro cambio significativo en la evolución de los mapas hidrogeológicos es la obtención de mapas temáticos con objetivos diversos a partir del mapa hidrogeológico general.

Particularmente, el crecimiento del impacto humano en la calidad de los recursos hídricos ha propiciado que sea interesante delimitar los atributos de vulnerabilidad, protección, contaminación y riesgo, y buscar métodos para su evaluación y representación cartográfica en los mapas. En el caso de los atributos cuantitativos de los recursos de agua subterránea, en los mapas se presenta el potencial y la accesibilidad de los mismos. Los atributos mencionados no podrían ser representados en un mapa hidrogeológico general por cuanto supondrían una sobrecarga de datos que repercutiría en una pérdida de legibilidad.

En el presente existen diferentes tipos de mapas específicos de un objetivo o multiobjetivo, lamentablemente de baja uniformidad en la formulación de los contenidos y en la forma de

representación gráfica de los parámetros seleccionados.

Los problemas presentes y el desarrollo futuro de ambos tipos de mapas hidrogeológicos se pueden sintetizar como sigue:

Mapas temáticos

- Aclarar y precisar el contenido de los mapas temáticos, particularmente la disparidad entre los mapas de vulnerabilidad, protección y contaminación de las aguas subterráneas. Por ejemplo, muchos mapas contemporáneos de vulnerabilidad, por su contenido son en realidad mapas de contaminación.
- Unificar, por lo menos a nivel nacional, los símbolos y leyendas en los principales mapas hidrogeológicos para hacerlos comprensibles a los usuarios.
- Establecer normativas que especifiquen los contenidos y las leyendas de los diversos tipos de mapas hidrogeológicos individuales.
- Especificar los límites de uso de los mapas temáticos en las memorias o directamente en las hojas.

Mapas generales

- Para facilitar la elaboración de los mapas hidrogeológicos generales, concentrar en un banco de datos los datos hidrogeológicos, hidrológicos y de suelo, y una selección de los datos meteorológicos disponibles en las redes nacionales de observación.
- Antes de publicar hojas individuales, y especialmente en el caso de un programa de publicación del mapa hidrogeológico general a una escala determinada, hacer una investigación de mercado potencial para tener idea de la demanda del mismo para conseguir un cierto rendimiento económico de los mapas.
- Establecer una normativa de tipo legal que obligue a las empresas a enviar los datos de los reconocimientos hidrogeológicos (particu-

lamente de los pozos de profundidad superior a 10 m) al banco central de datos.

Una vez definido el programa de elaboración y publicación de las hojas, determinar el tiempo de realización del programa (10 años como máximo) y no permitir cambios en los contenidos y en leyenda del mapa durante la ejecución del mismo.

Para ambos tipos de mapas

- Como hidrogeólogos, hacer el mayor esfuerzo para que el mapa hidrogeológico general y algunos tipos de mapas temáticos pasen a ser una parte integral de los documentos a considerar en los procesos de planificación territorial, a todos los niveles gubernativos.
- Dado que la mayor diferencia que existe entre los mapas geológicos y los hidrogeológicos son los fenómenos variables, cuyos valores cambian en el espacio y en el tiempo, la repre-

sentación de estas variables en mapas hidrogeológicos es un asunto clave que determina la calidad del mapa. Por este motivo se propone establecer en el territorio cartografiado redes de puntos de observación periódica a corto plazo (mapas temáticos) o a plazo largo (mapas generales), los puntos existentes de la red nacional de observación de aguas subterráneas, y añadir nuevos puntos complementarios. Deben excluirse los objetos de poca representatividad, con observaciones únicas o esporádicas, o con insuficiente documentación hidrogeológica.

REFERENCIAS

STRUCKMEIER, W. F. y MARGAT, J (1995): Hydrogeological maps – a guide and a standard legend. Inter. Contributions to Hydrogeology, International Association of Hydrogeologists. Heise, vol 17.

VRBA, J., ZAPOROZEC, A (1994): Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Inter. Contributions to Hydrogeology, International Association of Hydrogeologists, Heise, vol 16.