

INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y BASE CARTOGRÁFICA CONTINUA. PERSPECTIVAS EN EL ÁMBITO DIGITAL

Ignasi HERMS CANELLAS* y Georgina ARNÓ PONS**

(*) Jefe del Área de Geología y Recursos. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). www.icgc.cat. Ignasi.Herms@icgc.cat

(**) Responsable del grupo de Hidrogeología y Geoterminia. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). www.icgc.cat. Georgina.Arno@icgc.cat

1. INTRODUCCIÓN

Hace tan solo unos 30 años los informes hidrogeológicos, en sí mismos, constituían la única vía para perpetuar en el tiempo los datos recopilados y los mapas hidrogeológicos la forma de presentar los resultados que el tratamiento de estos datos había generado. Las herramientas de captura y almacenaje de la información eran limitadas lo que a su vez restringía la posibilidad de planificar la recogida masiva de datos hidrogeológicos. Por otro lado, la dependencia de algunos datos hidrogeológicos del factor “tiempo” puso en duda la utilidad de la cartografía hidrogeológica sistemática durante un largo periodo de tiempo como herramienta para la caracterización del medio hídrico.

El avance de las nuevas tecnologías y la aparición de nuevas aplicaciones que no sólo nos permiten disponer de los datos recopilados de manera ágil y eficiente, sino facilitar su explotación con muy distintas finalidades, mejoran este proceso y permiten superar los límites que hasta el momento había tenido la cartografía hidrogeológica. Hoy en día los Sistemas de Información Geográfica (SIG) suponen una herramienta fundamental y de gran utilidad en el apoyo a las tareas relacionadas con la investigación, los proyectos de ingeniería con incidencia sobre el medio hídrico y la generación de cartografía temática.

Los actuales sistemas de captura, organización, digitalización y carga de datos en sistemas gestores de bases de datos relacionales y geoespaciales, así como las posibilidades de compartir esta información a través de la red permiten dibujar un futuro lleno de posibilidades donde los datos puestos al servicio de los usuarios cada vez toman más protagonismo.

En este sentido, las plataformas que integran las aplicaciones Web y la tecnología SIG han revolucionado la manera de representar y compartir el conocimiento geográfico. La tecnología ha evolucionado y los usuarios de SIG pueden ahora tener una visión ampliada de cómo explotar su información geográfica de manera abierta al mundo.

Por otro lado, esta interoperabilidad está permitiendo que el acceso, manipulación, actualización e intercambio de información geográfica en la web pueda darse de forma muy

transversal entre múltiples usuarios, gracias a la definición de estándares abiertos e interoperables.

En definitiva, la evolución de las nuevas tecnologías ha puesto al alcance, nuevas herramientas y nuevas perspectivas de usabilidad de la información geográfica o espacial de que disponemos. En el campo de la hidrología subterránea, y en concreto respecto a la cartografía hidrogeológica, supone un gran avance respecto a las posibilidades disponibles hace tan sólo unas décadas y la superación de algunas barreras.

Este nuevo contexto ha cambiado, a su vez, el modelo de consumo de la información. El nuevo entorno digital, extremadamente dinámico, de rápida evolución y abierto a todo tipo de posibilidades, requiere una nueva visión por parte de los profesionales hidrogeólogos y una formación adicional en tecnologías de la geoinformación. Sin duda, **un nuevo reto** para las generaciones actuales y futuras.

2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES

2.1. Cartografía, mapas, series y base cartográfica continua

Un mapa es una representación simplificada, gráfica, métrica y en dos dimensiones de las características de una porción delimitada del espacio en tres dimensiones. Al conjunto de mapas de una misma temática, adyacentes entre sí, de igual área y escala de representación se le llama serie cartográfica.

Las medidas de los elementos sobre un mapa o una serie cartográfica y las medidas de estos en la realidad se relacionan mediante la escala. Así, una escala 1:25.000 significa que cada centímetro del papel se corresponde con 250 m de la realidad.

Ahora bien, la revolución digital que se ha producido en los últimos tiempos y la posibilidad de compartir geoinformación a través de la red utilizando la información en formato ráster y especialmente en formato vectorial, han hecho cambiar estos conceptos.

Por un lado, la escala de representación fundamental en las publicaciones en formato papel, deja de tener la misma significación en el momento en que la información es servida a través de aplicaciones SIG en la web que permiten visualizar los datos, no a una escala determinada (como establecía el formato papel) sino hacerlo en el rango permitido por el gestor y servidor de los datos. Así pues, la escala deja de tener un sentido estrictamente numérico para pasar a ser una indicación sobre la resolución máxima y mínima de la información.

Además, la posibilidad de servir los datos en formatos vectorial y ráster a través de estas aplicaciones SIG en la web ha propiciado la aparición de un nuevo concepto llamado “base cartográfica continua”. En este caso la cartografía no se sectoriza, no existen hojas o cortes que delimiten unidades de representación como en el caso de las series cartográficas, sino que permite al usuario explotar la información cartográfica del ámbito y extensión que considere.

Las bases cartográficas continuas se sustentan en Bases de Datos Geográficos (BDG) donde los datos están organizados de tal manera que pueden servir para la realización de análisis y gestión del territorio a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2.2. Tipos de información hidrogeológica, usos y usuarios

La información hidrogeológica se podría definir como el conjunto de datos que caracterizan el medio hídrico tanto desde el punto de vista cuantitativo como desde el punto de vista cualitativo. Es decir todos aquellos parámetros que definen cómo es el subsuelo, qué contiene el sistema acuífero y cuál es su estado piezométrico e hidroquímico.

A partir de aquí la información hidrogeológica puede clasificarse, por ejemplo, en función del nivel de interpretación que hayan sufrido los datos. En este sentido, Struckmeier W.F. & Margat, J. (1985) propusieron subdividir la información hidrogeológica en cuatro niveles interpretativos (datos básicos más tres niveles crecientes de interpretación) teniendo en cuenta además la naturaleza de los datos: hidrogeológicos o relativos al subsuelo, relativos a las características del agua subterránea o antropogénicos (Tabla 1).

TIPO DE CONTENIDOS NIVEL DE INTERPRETACIÓN	HIDROGEOLÓGICOS	AGUA SUBTERRÁNEA	ANTROPOGÉNICOS
DATOS BÁSICOS (Resultado de observaciones y mediciones)	Localización de PA Características afloramientos Profundidad de techo acuífero Grosor del acuífero Características del acuífero	Datos NP Caracterización de fuentes de agua pH, Cond, Temp, contenido iónico	Localización de PA Depósitos antrópicos Profundidad de los pozos Datos de explotación Descensos
PRIMER NIVEL DE INTERPRETACIÓN (Resultado de un tratamiento simple e interpolación de los datos)	Límites hidrogeológicos Geometría del acuífero Isohipsas (Líneas de profundidad) Isopacas (Líneas de igual grosor)	Líneas equipotenciales Divisorias subterráneas Direcciones de flujo del agua Límites de acuíferos Isobatas de sistema hídrico Isolíneas de T, Cond, pH, etc.	Posición de los tramos ranurados Localización de posibles focos contaminantes Capacidad de medida de explotación de los pozos Conos de descenso
SEGUNDO NIVEL DE INTERPRETACIÓN (Resultado de un tratamiento complejo de modelación)	Formaciones hidrogeológicas Parámetros acuíferos Análisis granulométrico Clasificación hidrogeológica	Límites de nivel freático, confinado o surgente Direcciones y velocidades de flujo Relación entre ríos y piezometrías	Recargas inducidas Drenajes artificiales Capacidad de campo
TERCER NIVEL DE INTERPRETACIÓN (Para la toma de decisiones)	Riesgo de fracaso en perforaciones Posibilidad de pérdidas Zonas desprotegidas del acuífero	Calidad del agua subterránea Vulnerabilidad Áreas de protección	Productividad esperable Extracción media unitaria Posibilidad de inyección Contaminación

Tabla 1. Modificado de Struckmeier W.F. & Margat, J. (1985). *Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend. Table 5. Features represented on hydrogeological maps and degree of their interpretation.*

El mayor hándicap de algunos datos hidrogeológicos es su dependencia respecto del factor tiempo. La posición del nivel piezométrico, el estado químico de las aguas o el espesor saturado de un acuífero son variables dinámicas que siempre tienen que ir acompañados de una referencia sobre cuál es el período de tiempo para el que se consideran representativos estos datos.

La información hidrogeológica obtenida mediante estudios, trabajos y/u operaciones, llevados a cabo mediante técnicas de exploración directas o indirectas puede ser usada con distintas finalidades. La correcta lectura de esta información y de los productos que se derivan de ella requiere de un nivel técnico especializado para su correcto entendimiento (Figura 1).

Aun así, los usuarios a quien puede ir dirigido este tipo de información dibujan un amplio abanico de posibilidades. En primer lugar a la **administración pública** de cualquier país, comunidad o provincia y muy especialmente a los organismos encargados de gestionar el territorio y la ejecución de obras públicas, así como a aquellos que tienen la misión de administrar los recursos hídricos y velar por su preservación.

Derivado de la planificación y la gestión que se realiza desde la administración pública se genera un volumen importante de trabajos relacionados con el medio hídrico que asume el **sector privado** (ingenierías y consultoras técnicas en general).

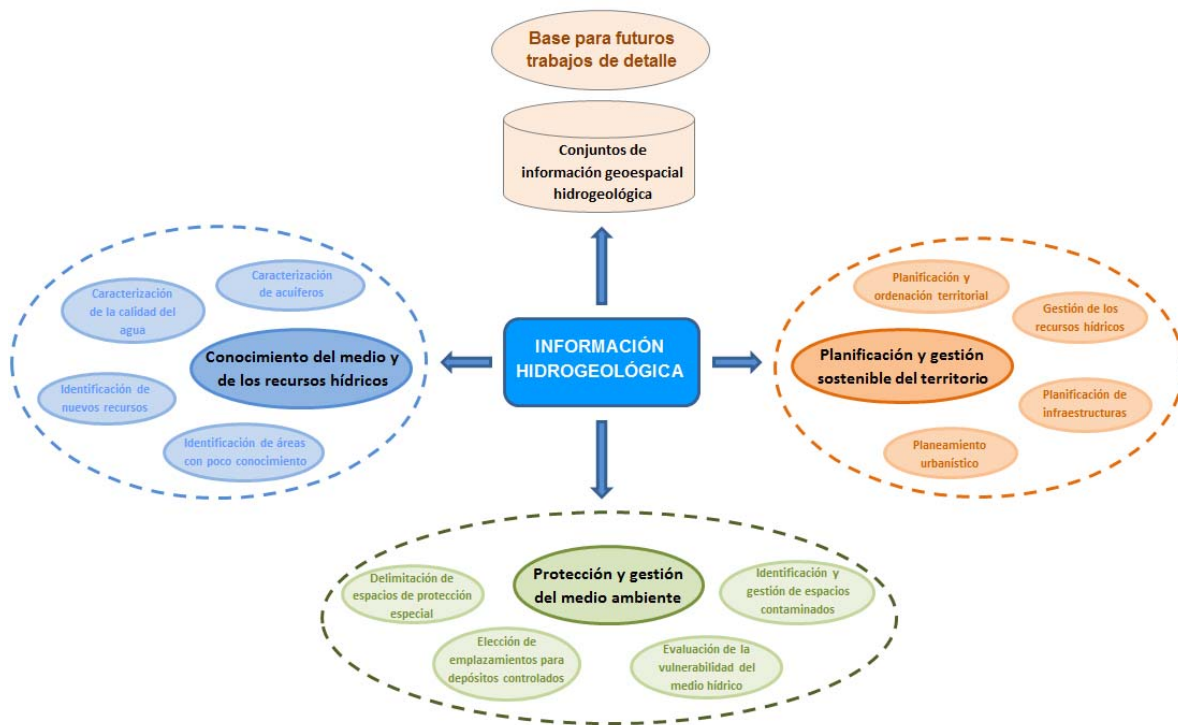


Figura 1. Usos de la información hidrogeológica. ICGC, 2015.

En determinados ámbitos son las propias **empresas de ingeniería** las que necesitan de datos y estudios hidrogeológicos para la correcta ejecución de las obras que pueden intersectar con el medio hídrico. Los **centros docentes y de investigación** que llevan a cabo proyectos y estudios específicos que requieren partir de una información de base más genérica sobre la cual desarrollar sus objetivos.

Los datos hidrogeológicos también son de interés para el estudio e implementación de otras disciplinas relacionadas como la geotermia o los aprovechamientos de aguas minerales y termales.

3. EXPLOTACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA

3.1. La cartografía hidrogeológica

La cartografía hidrogeológica es un producto geotemático que constituye una herramienta para la representación de las condiciones y distribución de las aguas subterráneas y su relación con las aguas superficiales.

Según Struckmeier, Wilhem F. & Margat, J. (1995), en el ámbito de las ciencias de la tierra los mapas hidrogeológicos representan el nexo de unión entre las geociencias y la ciencia del agua y pueden representar un amplio abanico de parámetros tanto del subsuelo como del agua.

Las cartografías hidrogeológicas pueden presentarse como figuras de apoyo en estudios e informes técnicos, como mapas o series cartográficas, entendidos como un documento gráfico y métrico de representación bidimensional de una porción del territorio. Un mapa es siempre una imagen incompleta, una construcción selectiva y representativa de una realidad, que debe ser claro y legible, pero también debe representar hechos complejos. Puede también definirse como una base cartográfica continua y digital donde se agrupan conjuntos de datos geoespaciales organizados jerárquicamente con el objetivo de dar una visión integrada del territorio.

El desarrollo de la cartografía hidrogeológica es relativamente reciente. Hasta la década de 1940 los mapas hidrogeológicos eran utilizados como una herramienta para dar a conocer el comportamiento hidrogeológico de las diferentes unidades litológicas del subsuelo de una manera cualitativa (Vrba, J., 2000). Un ejemplo de este tipo de cartografía lo encontramos en el “*Mapa Hidrogeológico de los alrededores de Villafranca del Penedés*” publicado en el año 1947 a una escala de 1:25.000 (Figura 2).

A partir de este momento y hasta la década de los 1950, la cartografía hidrogeológica empieza a diferenciarse como una disciplina con entidad propia y se empiezan a generar mapas que incluyen datos sobre la posición del nivel piezométrico, inventarios de puntos de agua, direcciones de flujo y datos hidroquímicos. Empieza entonces una época de expansión en este ámbito respecto a la generación, calidad e incorporación de nuevos datos en los mapas hidrogeológicos. Es en este momento cuando se incorporan los primeros diagramas, cortes hidrogeológicos y bloques tridimensionales así como esquemas a menor escala y memorias explicativas de los fenómenos y elementos representados en el mapa.

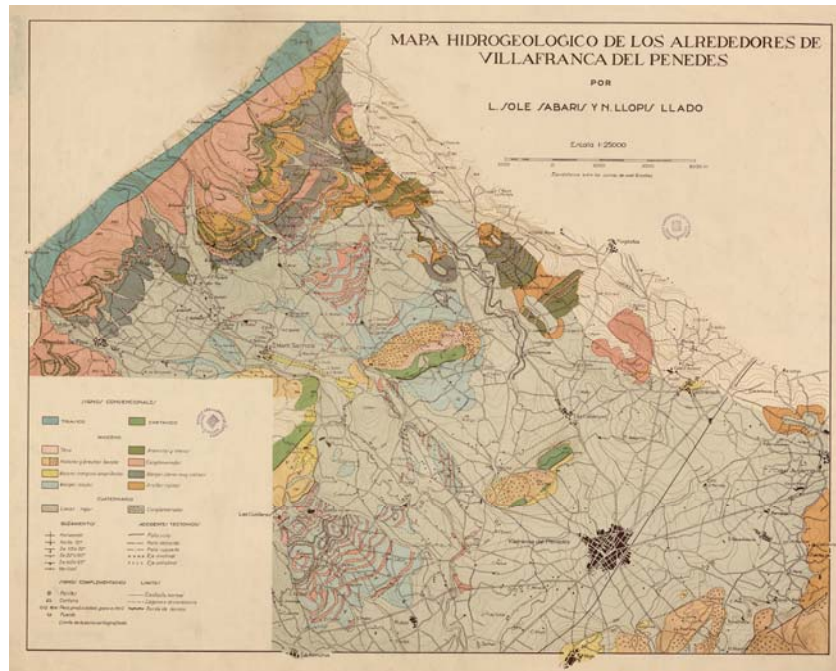


Figura 2. Mapa Hidrogeológico de los alrededores de Villafranca del Penedés. Publicado en 1947 a escala 1:25.000 por L. Solé Sabarís y N. Llopis Lladó. El mapa, de carácter geológico, contiene información puntual sobre localización de pozos productivos y pozos estériles así como la localización de fuentes de agua.

A partir de principios de los 1960, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) y la Asociación Internacional de Hidrología Científica inician las tareas para coordinar y unificar a nivel internacional el contenido, leyenda, simbología y métodos de representación de los mapas hidrogeológicos. De este trabajo se derivan diversos documentos como la *Leyenda Internacional para Mapas Hidrogeológicos* realizada por la UNESCO (1970).

En este contexto, en el año 1966 a través del Plan de Desarrollo Económico y Social, el en aquel entonces “Instituto de Geología Económica” del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) publica el *Mapa Hidrogeológico de la provincia de Albacete de la zona de Santa Quiteria*. En él se publican puntos de observación e información más elaborada como piezometrías, características químicas del agua en cuanto a cationes y aniones principales y una evaluación cualitativa del nivel de permeabilidad de las rocas.

Entre las décadas de 1970 a 1990 la cartografía hidrogeológica en soporte papel y a escalas siempre iguales o inferiores a 1:50.000 adquiere su mayor nivel de expansión en todo el mundo con la publicación de mapas hidrogeológicos en Europa, USA, Canadá y en países de África y América del sur.

En 1980 y en el estado español, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) empieza a editar dos series cartográficas a escala 1:200.000 y 1:50.000 que se corresponden con mapas hidrogeológicos basados en las normas de la UNESCO-IAH. Las dos series, incluían una memoria explicativa de las formaciones geológicas y los principales acuíferos, así como información relativa a la climatología, recursos disponibles y cortes hidrogeológicos entre otra mucha información. Ninguna de las dos series fue finalmente completada, según

Garcia, S. (2003), por la falta de datos de suficiente detalle para hacer frente a la escala de trabajo 1:50.000 y al coste que representa su elaboración.

Desde finales del siglo XX hasta la actualidad, la evolución histórica de la cartografía hidrogeológica está ligada al desarrollo tecnológico que se produce a nivel de recopilación de datos con la introducción de nuevos métodos de exploración, a nivel de tratamiento de la información con el uso de métodos estadísticos y modelizaciones numéricas y a nivel de sistematización de la información con la incorporación de organizadores de bases de datos digitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En paralelo a este avance tecnológico las tareas de coordinación y unificación a nivel internacional continúan hasta el año 1995 cuando un grupo de expertos de la Comisión de Mapas Hidrogeológicos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) publica el volumen *Hydrogeological Maps: A guide and a Standard Legend* (Struckmeier, W. et al., 1995), donde se define la información hidrogeológica de partida para la realización de la cartografía hidrogeológica así como una propuesta sobre la estructura del mapa y la representación de cada uno de sus elementos (Figuras 3 y 4).

En el año 2007, el Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya (ICGC) inicia la serie a escala 1:25.000 del mapa hidrogeológico de Cataluña que conlleva la ejecución de trabajos de campo para la localización y caracterización de los puntos y fuentes de agua y el posterior tratamiento de los datos para la realización de piezometrías, estimaciones cualitativas de la permeabilidad de los materiales, determinación de la facies hidroquímica predominantes y análisis de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos (Figura 5).

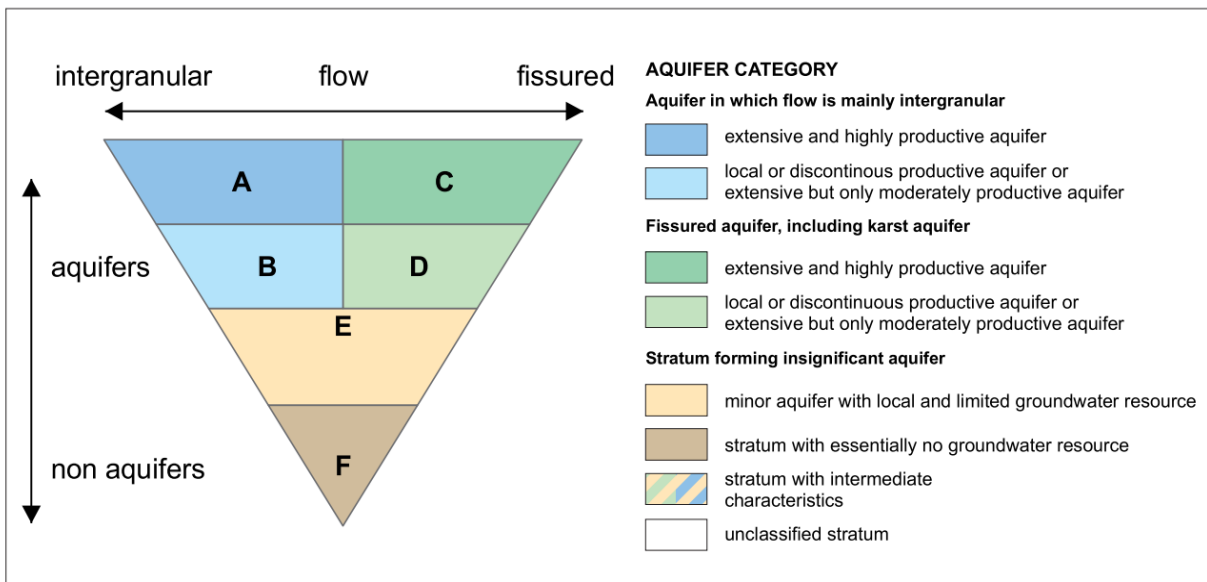


Figura 3. Sistema de clasificación de acuíferos propuesto por Struckmeier, W. et al. (1995).

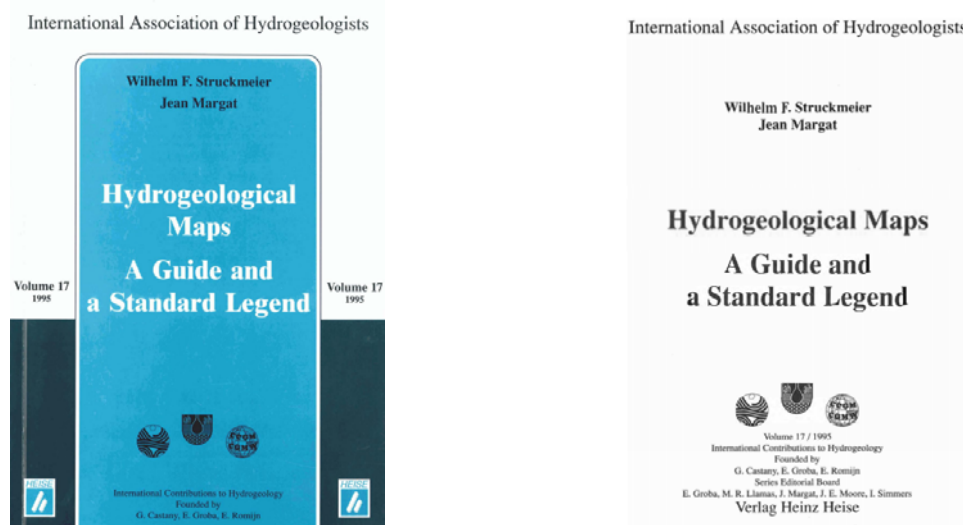


Figura 4. Publicación “Hydrogeological Maps:A guide and a Standard Legend” (Struckmeier, W. et al., 1995).

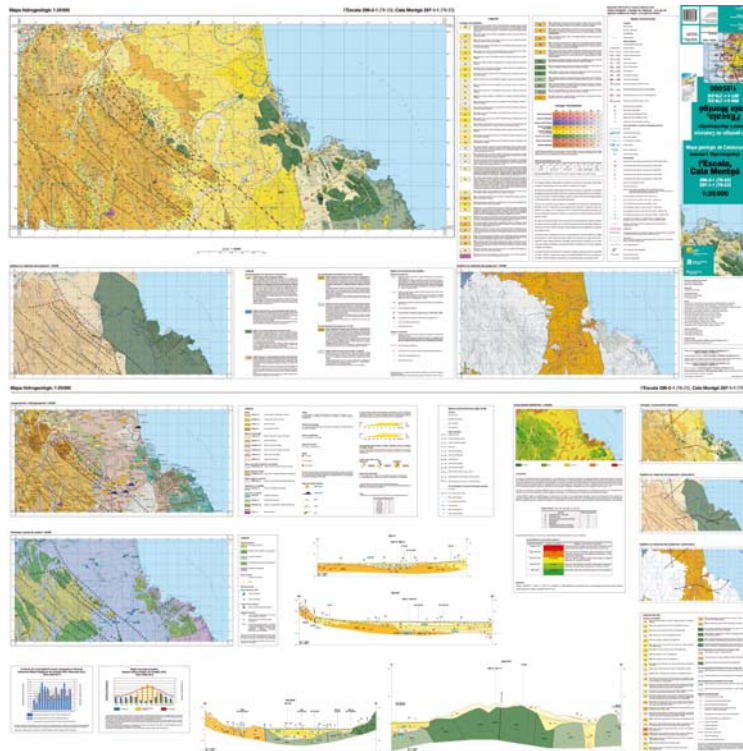


Figura 5. Mapa Hidrogeológico de Catalunya a escala 1:25.000. Hojas 78-23 y 79-23 de l’Escala y Cala Montgó. ICGC, 2014. Se representa información sobre la permeabilidad y tipos de porosidad de las rocas, distribución de acuíferos, datos piezométricos y químicos referidos a un espacio temporal, cortes hidrogeológicos y una estimación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos.

Aun así, muchos autores consideran que la cartografía hidrogeológica presenta deficiencias en cuanto a la actualización y vigencia de los datos e incluso se considera que en el tiempo

que transcurre desde la realización, edición y distribución de los mapas hidrogeológicos, estos pueden haber quedado obsoletos.

Por eso, y de manera muy significativa desde finales del siglo XX, la tendencia en materia de cartografía hidrogeológica es la implementación total del soporte digital en la información y uso de los SIG, así como la incorporación cada vez más significativa de la tercera dimensión y la variable “tiempo” en los datos.

Por ejemplo, en consonancia con los nuevos tiempos y las nuevas tecnologías en georreferenciación y tratamiento de datos, a nivel europeo el Ministerio de la Región Wallonie (Bélgica) lidera un proyecto de cartografía digital hidrogeológica. Éste se inició en el año 1999 para la caracterización de las aguas subterráneas a escala 1:25.000 con el objetivo de disponer de una base cartográfica continua e información hidrogeológica asociada. El proyecto preveía cubrir toda la superficie de la región y ser dinámico, es decir, la incorporación periódica de información actualizada a través de internet. <http://environnement.wallonie.be/cartosig/cartehydrogeo/>.

En las últimas décadas los Sistemas de Información Geográfica están evolucionando gracias al desarrollo tecnológico de la informática e internet desarrollando aplicaciones que permiten desplegar los mapas en la web e incluso permiten al usuario realizar ciertos análisis. Es decir, las aplicaciones SIG en la web hacen que actualmente internet sea la mejor herramienta para publicar un documento tan dinámico y dependiente del tiempo como la información hidrogeológica.

En este sentido, diversos organismos disponen ya de servicios online llamados “WebGIS” o SIG en la web a través de los cuales sirven datos hidrogeológicos. Uno de ellos es la CHEBRO (*Confederación Hidrográfica del Ebro*), que a partir del portal SAIH permite la consulta en tiempo real del nivel de agua en diversos piezómetros así como datos de calidad del agua superficial y datos pluviométricos, entre otros (Figura 6).

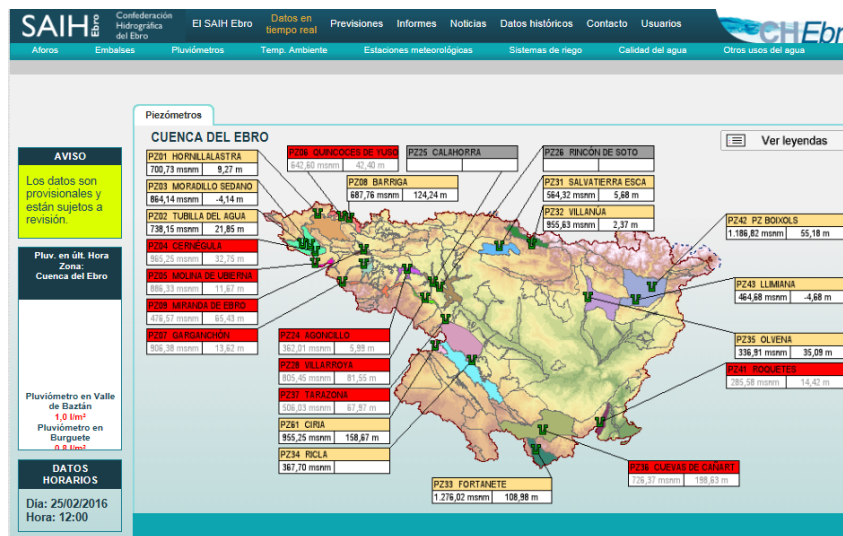


Figura 6. Imagen del portal SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) de la CHEBRO, donde pueden consultarse datos hidrogeológicos en tiempo real.

3.2. Explotación de datos hidrogeológicos a través de la red

Actualmente, la cartografía hidrogeológica continúa siendo una buena herramienta de síntesis de las características del medio hídrico. Pero el desarrollo e implementación de las nuevas tecnologías y la integración de los SIG al mundo digital, ha propiciado un cambio de modelo de explotación de la información hidrogeológica superando algunas barreras que limitaban la actualización, almacenaje y explotación de la misma. Así pues, hoy en día el uso de la información hidrogeológica en formato digital puede tratarse desde dos perspectivas:

- A nivel local; el usuario genera, consume y explota sus datos a través de un gestor de BBDD i un software SIG desde su propio escritorio.
- Vía World Wide Web (WWW); la información que generan diversos usuarios es compartido a través de la red mediante **geoservicios y aplicaciones SIG en la web** y a la vez explotada por múltiples usuarios que pueden realizar consultas, descargar los datos o cruzarlos con otras capas de información provenientes de otras fuentes de información. Los organismos que disponen de competencias en esta materia generan datos hidrogeológicos y ponen a disposición de los usuarios la información a través de **visores geográficos**.

En otros casos las aplicaciones “**Web Mapping**” permiten al usuario generarse su propio mapa, o **mapas a la carta**, utilizando los datos de los que éste o una fuente externa disponga y compartirlos a través de la red.

3.2.1. Geoservicios y aplicaciones SIG en la web

En este ámbito aparece el concepto de la **interoperabilidad**. La interoperabilidad se define como la capacidad de los sistemas de información y de los procedimientos a los que éstos dan soporte, de compartir datos y posibilitar el intercambio de información y conocimiento entre ellos.

Para que la interoperabilidad sea posible, es necesario que se establezcan criterios de normalización y equivalencia entre los datos de manera que la información cumpla unos determinados estándares. Este concepto no es exclusivo para la geoinformación, sino todo lo contrario; puede ser aplicable a cualquier campo y conjuntos de información que se desee compartir a través de la red. Por lo tanto es necesario que en cada disciplina exista un organismo dedicado a la coordinación y creación de estos estándares.

En el caso de la geoinformación el organismo competente en esta materia es el *Open Geospatial Consortium* (OGC - <http://www.opengeospatial.org>). Esta asociación formada por más de 500 organizaciones comerciales, gubernamentales, sin ánimo de lucro y centros de investigación, se originó en el año 1994 y tiene por objetivo fomentar el desarrollo e implementación de estándares abiertos sobre la información geoespacial, el procesamiento de datos GIS y el intercambio de datos. Es decir, el *Open Geospatial Consortium* (OGC) busca la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* y de la *World Wide Web (WWW)*, todo ello con el objetivo de facilitar el intercambio de información geográfica (Figura 7).

Los conjuntos de información geográfica distribuidos en la red que cumplen con estos estándares se denominan **geoservicios** y los servidores de visualización y descarga de esta geoinformación a través de la red se denominan **aplicaciones SIG en la web**.

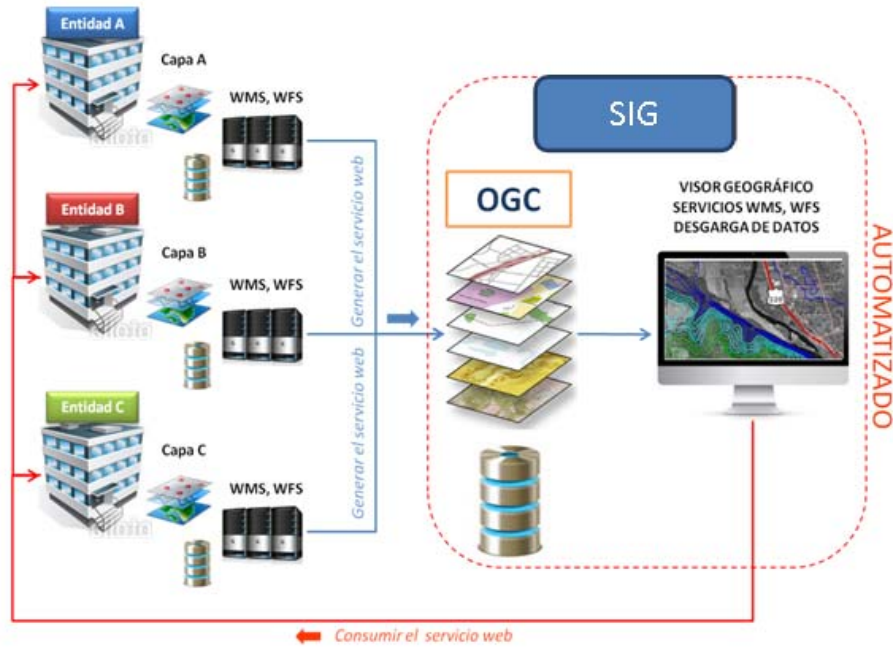


Figura 7. Esquema conceptual del papel que desarrolla la OGC entre los organismos que generan información geográfica (entidades) y los visores geográficos que se alimentan de esta información.

Fuente: Blog Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE) <http://www.icde.org.co/>

A nivel de estandarización de la geoinformación, es necesario nombrar la directiva **INSPIRE** que pretende implementar una infraestructura de datos espaciales de la Unión Europea (UE) en pleno funcionamiento y aplicación el año 2019. Esto permitirá el intercambio de información espacial del medio ambiente entre las organizaciones del sector público y facilitará un mejor acceso público a la información espacial en toda Europa, incluyendo información de tipo hidrogeológica (<http://inspire.ec.europa.eu/>).

El modelo INSPIRE sobre agua subterránea, describe dos elementos básicos: a) el sistema formado por la roca (invariable en el tiempo) que incluye unidades hidrogeológicas, acuíferos, acuitardos, acuícludos y acuífugos y b) el sistema de aguas subterráneas (variable en el tiempo), es decir las masas de agua. A estos dos sistemas se le añaden objetos hidrogeológicos complementarios como los pozos de agua. Cada uno de estos sistemas está formado por un conjunto de variables que se relacionan entre sí. INSPIRE define como organizar este tipo de información mediante modelos de datos como el que se muestra en la Figura 8.

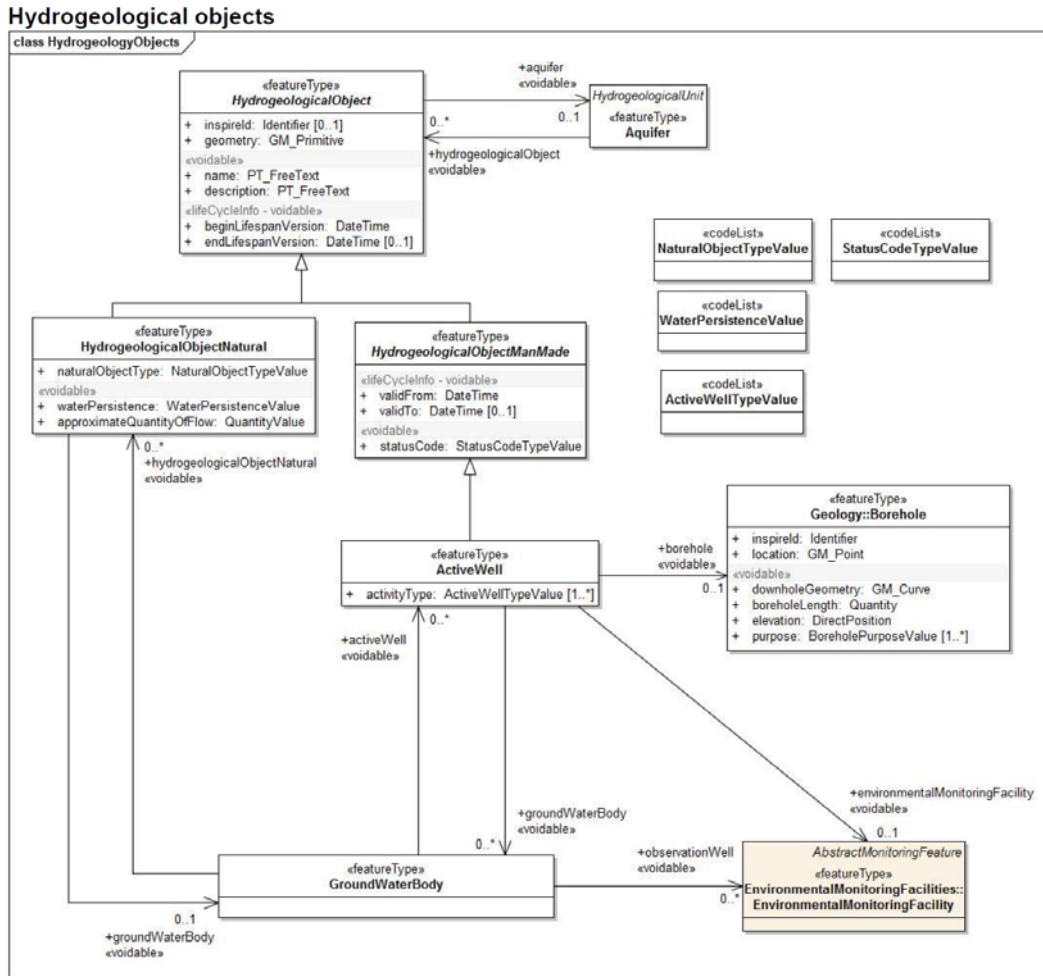


Figura 8. Diagrama UML explicativo del modelo de datos de los objetos hidrogeológicos que define la normativa INSPIRE. Fuente: <http://inspire.ec.europa.eu/>

La aplicación de esta normativa afectará la manera de difundir los datos. A nivel hidrogeológico el documento “D2.8.II.4 Data Specification on Geology – Technical Guidelines” define los conceptos principales sobre lo que es un sistema acuífero de qué está formado y cómo es necesario organizar, y nombrar la información hidrogeológica asociada para que esta puede ser compartida entre todos los estados miembros.

3.2.1.1. Tipos de geoservicios

Un geoservicio es un servicio web específico que permite el acceso a la información geográfica ubicada en los servidores de los organismos productores, de una forma estándar y a través de cualquier aplicación compatible. Para la generación y utilización de los geoservicios o servicios SIG en la web se utilizan lenguajes y protocolos estándares definidos por el Open Geospatial Consortium (OGC). Los geoservicios más comunes regulados por la OGC son:

- **WMS (Web Map Service)**: es el servicio para publicar cartografía más utilizado. Produce mapas de datos referenciados espacialmente de forma dinámica a partir de información

geográfica sin que se acceda a los datos en sí mismos, sólo a una representación gráfica de ellos.

El usuario puede conectarse a estos servicios a través de su software SIG o des de una plataforma SIG online añadiendo una dirección URL proporcionada por el servidor de los datos.

- **WFS (Web Feature Service):** en este caso este formato permite al usuario no sólo visualizar los datos sino también consultarla libremente y desarrollar todo tipo de análisis de los datos. Además permiten la descarga de capas de información geográfica en formato vectorial.

Como en el caso anterior, el usuario puede conectarse a estos servicios a través de su software SIG o des de una plataforma SIG online añadiendo una dirección URL proporcionada por el servidor de los datos.

- **WCS (Web Coverage Service):** es un servicio análogo al WFS pero con ficheros tipo ráster. Permite al usuario final trabajar con los datos de origen y consultar el valor de los atributos almacenados en cada píxel.
- **CSW (Catalogue Service Web):** se trata de una especificación para la publicación y el acceso a catálogos digitales de metadatos.
- **WFS-G:** son servicios de nomenclátor que permiten localizar un fenómeno geográfico mediante su nombre. Es decir, se trata de un diccionario geográfico que contine información sobre el nombre de lugares y su localización.

Un ejemplo del uso de este tipo de servicios SIG en la web aplicados a la hidrogeología lo encontramos en el *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR - Federal Institute for Geosciences and Natural Resources)*. Añadiendo como capa de información WMS desde cualquier software SIG de escritorio con acceso a Internet la URL <https://www.bgr.de/Service/grundwasser/huek200/?> es posible consultar los mapas hidrogeológicos generados por esta institución.

El *Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)*, pone a disposición de los usuarios un conjunto de geoservicios en formato WMS y WFS a través de la URL <http://geoservices.brgm.fr/geologie>, que permiten visualizar y sobreponer diversas capas de información de carácter geológico.

El *British Geological Survey (BGS)* pone a disposición de los usuarios toda la geoinformación de que dispone, incluyendo información hidrogeológica, a través de servicios WMS. Además, permite la consulta y descarga de información geológica a través de servicios WFS. <http://www.bgs.ac.uk/data/services/wfs.html>.

3.2.1.2. Aplicaciones SIG en la web

Las aplicaciones SIG en la web o WebGIS son plataformas SIG online que permiten la visualización de todo tipo de geoinformación. De manera entendedora, una aplicación SIG en

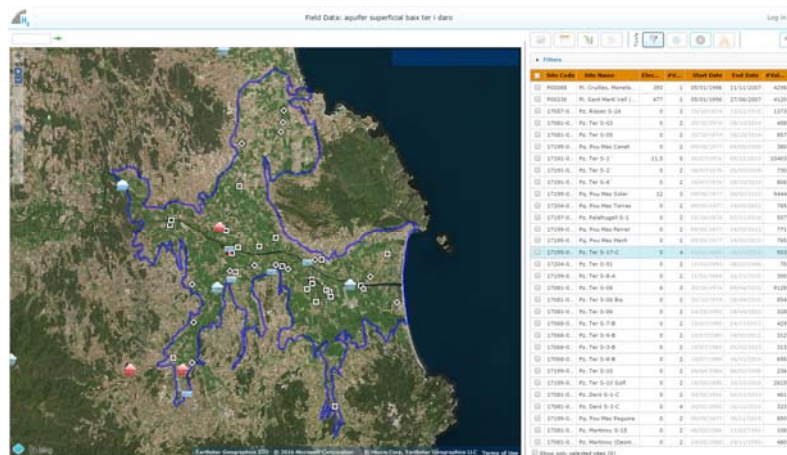
la web traslada a la web lo que en un escritorio local está constituido por un software GIS y una base de datos asociada. Así pues, es necesario que las aplicaciones SIG en la web se construyan gracias a un servidor especializado que soporte formatos SIG y genere geoservicios (WMS, WFS, etc.).

Existen varias posibilidades para construir esta arquitectura SIG en la web mediante software libre o de licencia. En cualquier caso, disponer de este tipo de arquitectura permite garantizar que la información hidrogeológica que se distribuye o que se consume es compatible con todo tipo de aplicaciones y plataformas SIG *online* y también *offline*, pero sobretudo permiten descentralizar la información y prever la actualización de los datos siempre que sea necesario.

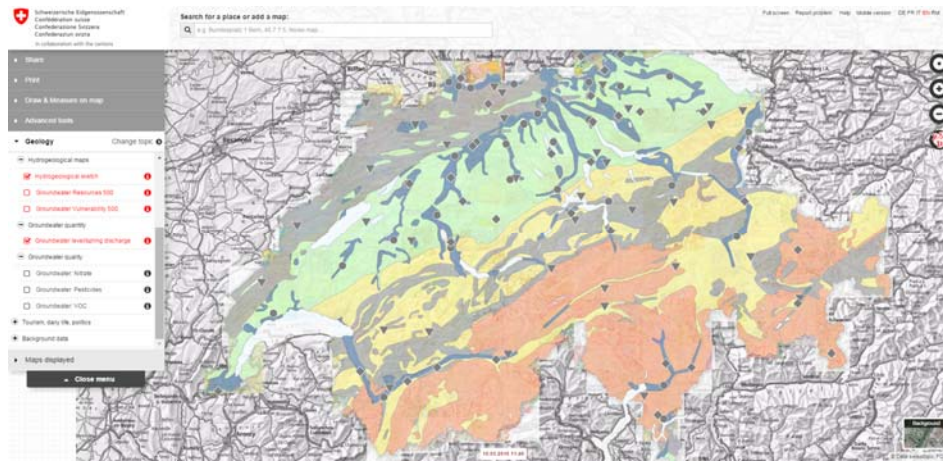
Existen en todo el mundo múltiples iniciativas con un objetivo común: dar a conocer y permitir la consulta de datos hidrogeológicos a través de visores geográficos (un tipo de aplicación SIG en la web) en los que podemos visualizar los datos desagregados procedentes de diferentes fuentes de información. La mayor parte de estos servicios de visualización, consulta y análisis de información geográfica están destinados a particulares y a profesionales y ofrecen diversas utilidades y herramientas de visualización y navegación que permiten al usuario interactuar con la información publicada.

La mayor parte de estas iniciativas provienen de organismos públicos que se encargan de recopilar, organizar y/o generar nuevos datos hidrogeológicos para ponerlos al alcance de los usuarios potenciales. Algunos de ellos permiten incluso la descarga de los datos que se están visualizando. Tan sólo algunos ejemplos de este tipo de visores a nivel nacional e internacional podrían ser:

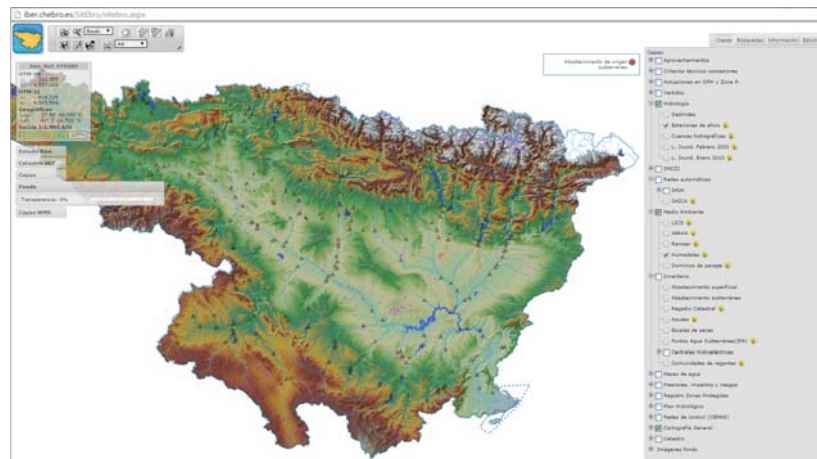
- *Global Aquifer Control. Agència Catalana de l'Aigua*. Servicio de información sobre el estado de los acuíferos de Catalunya. <http://gac.cloudapp.net/aca>



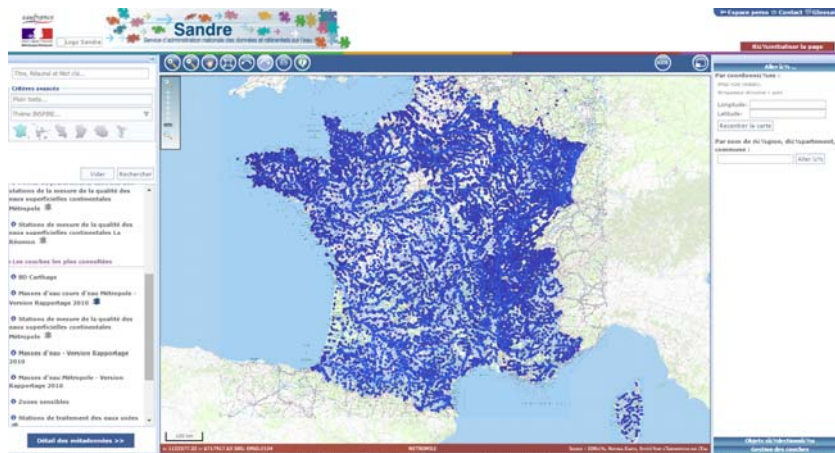
- *Hydrological Atlas of Switzerland*. Publicado por la *Federal Office of Topography*. <http://www.hades.unibe.ch/en/>



- Visor geográfico de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHEBRO). <http://iber.chebro.es/SitEbro/sitebro.aspx>



- Visor del *Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (Eaufrance)*. Se presenta como el único punto de acceso a toda la información pública sobre el agua y el medio acuático en general de Francia. <http://www.sandre.eaufrance.fr>



3.2.2. Mapas hidrogeológicos a la carta o “Wep Mapping”

Desde el punto de vista de un usuario que disponga de información hidrogeológica georeferenciada propia o externa, hoy en día las nuevas tecnologías permiten otro tipo de explotación de los datos; la generación de **mapas a la carta** mediante plataformas online.

Mediante un acceso a internet y sin necesidad de disponer de un software específico, este tipo de servicios permiten al usuario crearse sus propios mapas utilizando formatos convencionales de tipo vectorial o ráster (Figura 9).

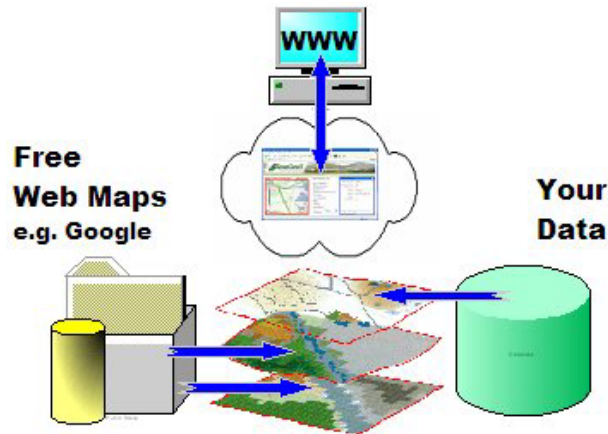


Figura 9. Esquema conceptual de la elaboración de un mapa personalizado a través de la red.
Fuente: www.esdm.co.uk

En este sentido el ICGC (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*) está implementando **INSTAMAPS**. Una herramienta de acceso gratuito que permite visualizar y analizar geoinformación generando un mapa único con datos propios o con datos externos (geoservicios) (Figura 10).

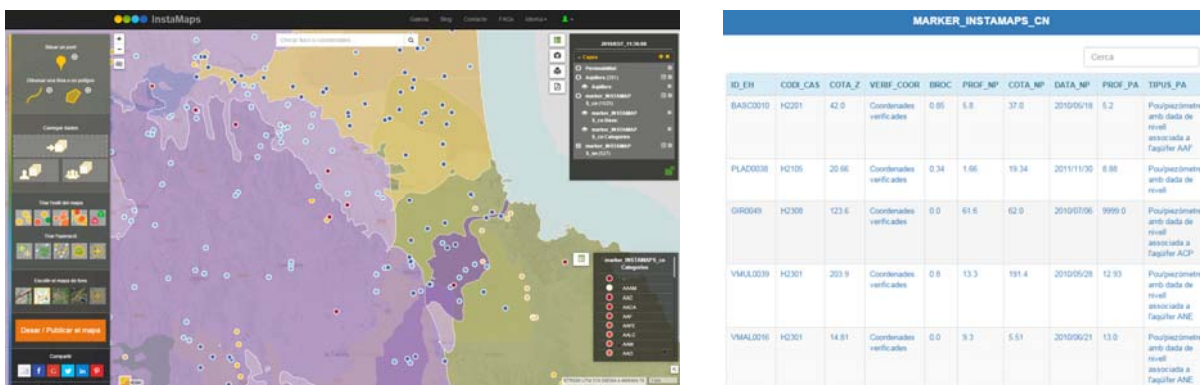


Figura 10. Imagen del portal INSTAMAPS. Ejemplo de mapa creado con la base cartográfica continua e información hidrogeológica principal del Mapa Hidrogeológico de Catalunya 1:25.000 realizado por el ICGC. <http://www.instamaps.cat/>.

Una vez generado el mapa que el usuario desea, éste puede decidir compartirlo en la red a todo el público en general o a usuarios predeterminados, a través de una URL o desde un directorio público que disponga de acceso a la galería de mapas de la misma aplicación.

El mismo tipo de concepto está disponible a través de otros servidores como ArcGIS mediante su aplicación “*Make your map*” (<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html>), a través de “*ikiMap, Share your maps*” (<http://www.ikimap.com/es>) o de *Scribble Maps* (<https://www.scribblemaps.com/>) que se definen como redes sociales orientadas a crear y compartir de forma sencilla y rápida mapas personalizados y cartografía en internet, aunque las posibilidades en cuanto a visualización y edición de datos pueden ser limitadas.

4. PROSPECTIVA

En esta nueva era de la geoinformación y su distribución vía web, la información hidrogeológica puede ser servida y distribuida en formato digital e incluso actualizada en caso necesario a través del uso de servidores de datos centralizados de fácil acceso y mantenimiento. Con ello se han superado alguna de las barreras que la cartografía hidrogeológica planteaba como herramienta de síntesis del estado cuantitativo y cualitativo de los sistemas hídricos.

Aun así, el avance hacia la distribución de geoservicios y aplicaciones SIG en la web ha sido diferente en función del tipo de geoinformación que se considere. Mientras es posible disponer de información planimétrica y topográfica en formato digital de cualquier lugar del mundo, la información hidrogeológica está todavía hoy en vías de transformación. Empiezan ya a existir un buen número de organismos que utilizan sus portales web para la distribución de datos hidrogeológicos pero todavía existe mucha información por poner a disposición del usuario final. A día de hoy la tecnología ha avanzado suficiente para poner a nuestra disposición las herramientas necesarias y ahora debemos centrar nuestros esfuerzos en aprovecharla y en transformar nuestra información para hacerla compatible con el resto del mundo.

El futuro de la información hidrogeológica y su base cartográfica continua se centra en la creación de contenidos 3D explotables por los usuarios potenciales, que permitan superar la barrera del “espacio” dibujado en 2D que la representación de los mapas clásicos supone hoy en día.

Por otro lado, la implementación de monitoreos en tiempo real, tanto de parámetros cuantitativos como la posición del nivel piezométrico y cualitativos sobre la calidad del agua, es el camino que permitirá trabajar hacia contenidos 4D e incorporar la variable “tiempo” a la distribución de datos hidrogeológicos.

Finalmente, ya en el campo de la geología y la hidrogeología ha llegado el concepto de “*MobileGIS*” para referirse a la adquisición de datos en campo mediante dispositivos móviles. Este tipo de aplicaciones permiten la captura y almacenaje de datos en el mismo momento en que se realiza la observación.

No hay duda que en este nuevo contexto del siglo XXI en el que la tecnología avanza más allá del puro conocimiento hidrogeológico, el sector va a necesitar cada vez más profesionales especializados que dispongan de una visión integrada no sólo sobre cómo realizar la caracterización hidrogeológica del territorio sino también sobre las posibilidades de explotación y gestión de los datos que obtenga.

5. REFERENCIAS

- ANON (1958). *Methods used in the production of hydrogeological maps, showing the occurrence, quantity and quality of groundwater*. – Proceed. Sess. Comm. eaux souterraines, Assoc. Int. Hydrol. Sc., Assembl. gén. Toronto (1957), II: 23–104; Gentbrugge.
- ANON (1963). *International Legend for Hydrogeological Maps. Légende Internationale des Cartes Hydrogéologiques*. Lista de los Signos Convencionales de los Mapas Hidrogeológicos. – UNESCO Document NS / NR / 20., 32 pp.; Paris.
- ANON (1970). *International Legend for Hydrogeological Maps*. – UNESCO / IASH / IAH / Institute of Geol. Sciences, 101 pp.; London.
- ANON (1977). *Hydrogeological maps. A contribution to the International Hydrological Decade. Studies and reports in hydrology*, 20 : 204 pp.; UNESCO / WMO, Lausanne.
- AVRAAM, M. (2009). Geoweb, web mapping and web GIS. <http://michalisavraam.org/2009/03/geoweb-web-mapping-and-web-gis/>
- BRODARIC, B. et al. (2011). *Groundwater Information Network: Recent developments and future directions*. Geohydro 2011. Joint Meeting of the Canadian Quaternary Association and the Canadian Chapter of the International Association of Hydrogeologists. Quebec City, Quebec.
- BROVELLI, M.A.; MITASOVA, H.; NETELER, M. & RAGHAVAN, V. (2012). *Free and open source desktop and Web GIS solutions*. Applied Geomatics, 4(2), 65-66.
- COX, E.; JAMES, A. et al. (2013). *Groundwater Visualisation System (GVS). A software framework for integrated display and interrogation of conceptual hydrogeological models, data and time-series animation*. Journal of Hydrology, 491, 56-72.
- DEL POZO, M.; GARCÍA, A. & VEGA, L. (2006). *The Hydrogeological mapping of the Geological and Mining Institute of Spain: from the paper to the net. 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Earth Information and Systems Water*. Presentación oral.
- GÓMEZ SÁNCHEZ, M. et al (2001). *Diseño y desarrollo de un sistema de información del agua subterránea en España (SIAS)*. VII Simposio de Hidrología. Murcia, 2 de mayo al 1 de junio 2001.
- IGE (1964). *Mapa Hidrogeológico de la Provincia de Albacete*. 163, zona de Santa Quiteria.
- KMOCH, A. & KLUG, H. (2014). *Visualization of 3D Hydrogeological Data in the Web*.
- LÓPEZ, J.; GÓMEZ, M.; DE MERA, A.; RODRÍGUEZ, I.C.; HERNÁNDEZ, R.; IGLESIAS, A.; PRIETO, Á. y TORRADO, D. (2005). *Implantación del Sistema de Información del Agua Subterránea en Internet (SIAS-WEB). Aplicación al ámbito de la Comunidad Autónoma de Andalucía*. J.A. López-Geta, J. C. Rubio y M. Martín Machuca (Eds.), VI Simposio del Agua en Andalucía. IGME. pp 939-950
- MARTURIÀ, J.; DE PAZ, A. et al. (2011). *Geoservicios del IGC: núcleo de los servicios de datos del GEOÍNDEX*. II Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales. Barcelona 9, 10 y 11 de Noviembre de 2011.
- PENG, Z.R. & TSOU, M.H. (2003). *Internet GIS*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- PÉREZ CERDÁN, F.; MANCEBO MANCEBO, M.J.; GONZÁLEZ CLAVIJO, E. y PRIETO MARTÍN, Á. (2013). *Introducción a los lenguajes geocientíficos. Aplicación en el proyecto OneGeology-Europe*. Boletín Geológico y Minero, 124 (1): 63-95. ISSN: 0366-0176
- SÁNCHEZ DE LA TORRE, Luis M. (1964). *Mapa hidrogeológico de la Provincia de Albacete*. 163, Zona de Santa Quiteria. Departamento de hidrogeología (CSIC)
- SOLÉ SABARÍS, L. y LLOPIS LLADÓ, N. (1947). *Mapa Hidrogeológico de los alrededores de Villafranca del Penedés*. Escala 1:25.000.
- STRUCKMEIER W.F. & MARGAT, J. (1995). *Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend*. International Contributions to Hydrogeology. Volumen 17. 177 págs.
- VRBA, J. (2000). *Historia, situación actual y tendencias en cartografía hidrogeológica*. Boletín Geológico y Minero. Volumen 111. I.T.G.E. 125-133.