Vuelos virtuales 3D de la cuenca del Ebro: una herramienta cartográfica para el conocimiento de su territorio

José Ángel Losada García *
Pablo Alfonso Matute **
Ramón Salanova Aznar **

* Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro. P.º de Sagasta, n.º 24-28. E-50071 Zaragoza. España.
C/e: <jlosada@chebro.es>
** ECAS Técnicos Asociados S.L.P. Avda. César Augusto, n.º 3, 3.º B. E-50004 Zaragoza. España.
C/e: <ecas@ecas.es>

«—¿Dónde estamos, tío?
—Horizontalmente a unos mil seiscientos kilómetros de Islandia. No me equivocaré más que un poco, si acaso.
—¿Y siempre al sudeste?
—Sí. La brújula así lo indica, pero por cierto, he anotado un hecho curioso.
—¿Cuál?
—La aguja, en lugar de inclinarse hacia el Polo, como ocurre en el Hemisferio Boreal, se levanta por el contrario.
—Lo cual quiere decir que el centro de atracción magnética se encuentra situado entre la superficie del globo y este lugar.
—Exacto. Y si llegásemos bajo las regiones polares, veríamos la aguja en posición vertical.
—Y, ¿a qué profundidad nos hallamos?
—A unos ciento noventa y dos kilómetros. Miramos el mapa.
—Lo cual nos sitúa bajo las montañas de Escocia, en los montes Grampianos»

Julio Verne (*Viaje al centro de la Tierra*)

Mapas dinámicos 3D: La revolución de la cartografía

A lo largo del último lustro hemos asistido a una auténtica revolución cartográfica: a caballo de las nuevas tecnologías de la información geográfica y de su popularización –ejemplarmente prodigada por *Google Earth* (fig. 1)– se ha estandarizado un nuevo género de atlas digital que trasciende la rigidez del soporte del mapa tradicional en 2D. Así, «globos», «escenarios», «vuelos» y otros formatos e interfaces cartográficos digitales han irrumpido con fuerza en internet (la geoweb: información geográfica en la web) y en diversas aplicaciones desktop específicas, presentando una nueva y sorprendente imagen cartográfica del mundo, más próxima a su configuración y texturas reales, siempre distinta –dinámica– en su virtualidad, sobre la que analizar y escudriñar el territorio o simplemente pasear la vista.

Estas nuevas cartografías dinámicas en 3D, que encuentran su lugar entre los sistemas de información geográfica (SIG) y la realidad virtual, constituyen, a través de un lenguaje visual enormemente atractivo (ortofotografías en relieve que recrean el territorio), unas interesantes, novedosas y potentes herramientas que pueden aplicarse, entre otras cuestiones de interés, a la planificación territo-

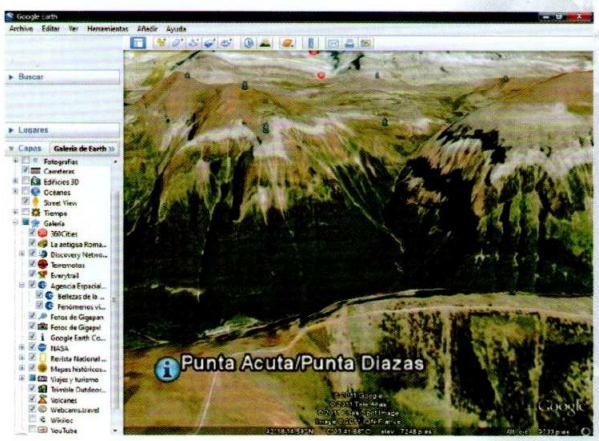

Figura 1. Google Earth*: vista del valle de Ordesa y del macizo de Mondarruego (el observador se supone situado sobre la sierra de las Cutas).*

Figura 2. «Aprender juntos para gestionar juntos. La mejora de la participación pública en la gestión del agua» *(HARMONICOP, 2005). El dibujo de portada es toda una declaración de intenciones sobre lo que la participación pública ha de ser.*

rial y sectorial, la ordenación del territorio, el fomento de la participación pública, la simulación del impacto producido por las obras civiles, el análisis de la dinámica de los cambios en los usos del suelo, el estudio del paisaje o la conservación de la biodiversidad.

En el caso que nos ocupa –la aplicación de vuelos virtuales 3D al conocimiento del territorio hídrico de la demarcación hidrográfica del Ebro– se partió del firme convencimiento de que *«las técnicas de geovisualización virtual como medio de comunicación y difusión de información se empiezan a manifestar como herramientas novedosas para activar los procesos de transmisión de información, comprensión y participación ciudadana. Con la utilización de estas técnicas, se pretende dar a conocer proyectos de gran trascendencia para el medio ambiente y la calidad de vida de los ciudadanos, en un formato más asequible y comunicador. La difusión de los proyectos utilizando técnicas de participación digital permitirá a su vez activar los procesos de comprensión y participación ciudadana, utilizando canales propios de la web 2.0, los cuales servirán de mucha ayuda en la comprensión y retroalimentación de la información de los proyectos»* (MONZÓN ROQUE, 2008).

Figura 3. Los vuelos virtuales 3D en el territorio de la cuenca del Ebro: reunión de participación pública en la cuenca hidrográfica del Huerva (2006).

Empleo de los vuelos virtuales 3D en el proceso de participación pública del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro 2010-2015

Debemos situar en 2006 el origen de los vuelos virtuales 3D de la cuenca del Ebro. En ese año, la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) se encuentra inmersa en la redacción de la Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Ebro 2010-2015, una de cuyas piezas angulares es la puesta en marcha de un amplio y ambicioso proceso de participación pública concebido como una oportunidad para el acercamiento al territorio y sus gentes, motivando una participación activa que conlleva involucrar en las decisiones relativas a la planificación hidrológica no solamente a las partes tradicionalmente más interesadas, sino a una representación más amplia y diversa de la sociedad, con la implicación de cientos de participantes pertenecientes a todos los sectores –agentes sociales y ambientales, agentes económicos y usuarios del agua, ayuntamientos y otras administraciones e instituciones– y territorios de la cuenca; este proceso de participación es clave, pues de sus reuniones emergen buena parte de las propuestas que se incluyen en el Programa de Medidas (conjunto de actuaciones y medidas adoptadas que llevan al cumplimiento de los objetivos del Plan Hidrológico de la cuenca; entre estos, por ejemplo, lograr el buen estado de las masas de agua en el horizonte de 2015) de la

Matriz de decisión 1: Aplicabilidad de los métodos y herramientas en los procesos de participación

Dentro de cada método, pueden usarse diferentes herramientas. La matriz de decisión 2 proporciona una visión general sobre un método específico. De nuevo, ■ significa aplicabilidad alta, ● aplicabilidad media y ▲ aplicabilidad baja.

Herramienta IC	GIS	Herramienta kit gráfico	Mapas	Gestión de comentarios	Kit de planificación	Cuestionario	Modelos de simulación	Modelos mentales, espaciales y mapas	Sitio web
Tormenta de ideas	●	■	■	■	●	▲	▲	■	▲
Jurado de ciudadanos	■	■	■	■	■	■	▲	▲	■
Grupo de enfoque	■	■	■	■	■	●	●	▲	●

Figura 4. Los sistemas de información geográfica (GIS) y la cartografía (mapas) presentan una aplicabilidad media-alta en los procesos de participación pública.

*Figura 5. Página web «*Vuelos Virtuales 3D: El territorio hídrico de la cuenca del Ebro*» (http://vuelos3d.chebro.es/).*

Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico. Pues bien, en la puesta en práctica del proceso de participación pública se hace evidente la conveniencia de utilizar, como herramientas de apoyo en las múltiples reuniones celebradas en el territorio de la demarcación, diversos productos y soluciones cartográficas basadas en el empleo de los sistemas de información geográfica (SIG) y la realidad virtual aplicada a la cartografía. Se siguen con ello las recomendaciones de la Comisión Europea en relación a la implementación de la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE y la necesidad de promover la participación activa (información, consulta e implicación de los agentes sociales, económicos y ambientales involucrados en la gestión del agua) en el proceso de planificación hidrológica (HARMONICOP, 2005) (fig. 2).

Con estos antecedentes se decide programar la generación de este tipo de aplicaciones de cartografía dinámica en 3D para cada una de las subcuencas hidrográficas (32 en total: todo el territorio de la demarcación a excepción de las cuencas internas de la Comunidad Foral de Navarra) sobre las que se habría de realizar el correspondiente proceso de participación pública. En este empeño, la C.H.E. cuenta con el eficaz apoyo de la empresa ECAS Técnicos Asociados S.L.P., que ofrece una dilatada y solvente experiencia en este tipo de soluciones tecnológicas, aplicadas con éxito a otros o similares ámbitos y sectores de actividad (ECAS, 2009a y 2009b). Se analiza y valora el software específico disponible en ese momento en el mercado y se escoge una aplicación cartográfica que permite visualizar y sobrevolar territorios en tres dimensiones, simulando el vuelo de forma sencilla e intuitiva, y ofreciendo la posibilidad de consultar cualquier tipo de

Figura 6. Resultados (parciales) de la búsqueda del término «Benasque» en el buscador de «infos» y lugares de http://vuelos3d.chebro.es/. Pulsando sobre el enlace «Visualizar» sería posible volar, automáticamente, al lugar que se desee.

Figura 7a. Consulta interactiva de las coordenadas (X, Y) y la altimetría (Z) de un punto cualquiera del territorio (en la imagen, en el bosque galería que se asienta sobre la cola del embalse de Mezalocha, en el río Huerva).

Figura 7b. Cálculo interactivo de una superficie estimada (en la imagen, en el bosque galería que se asienta sobre la cola del embalse de Mezalocha, en el río Huerva).

Figura 8a. Leyenda de los vuelos virtuales 3D, que muestra el contenido de algunas de sus capas temáticas: fotografías de campo, red de aforos, depuradoras, expedientes de concesión, etc. Apréciense las etiquetas flotantes («infos») que aparecen sobre el territorio, ubicando cada uno de los elementos de las capas.

Figura 8b. Capacidad interactiva de los vuelos virtuales 3D: visualización de fotografías de campo que complementan y mejoran la información territorial ofrecida por los propios vuelos.

información georreferenciada, que puede ser añadida en forma de capas temáticas o hipervínculos a diversos tipos de documento. Un *plug-in* gratuito, de sencillo manejo y descargable desde la Web de la CHE (*http://vuelos3d.chebro.es/*), garantiza el acceso y visualización universal de los escenarios virtuales 3D generados.

La puesta en escena de los vuelos virtuales 3D en las primeras reuniones de participación pública, celebradas en el río Huerva –que se escoge como cuenca piloto–, en «gran formato» gracias a su proyección con cañón sobre una pantalla, pone de manifiesto lo oportuno de utilizar este tipo de herramientas, que amenizan y dinamizan las intervenciones y debates y posibilitan una correcta y sencilla interpretación geográfica y un adecuado reconocimiento territorial por parte de todos los asistentes, facilitando la ubicación de las actuaciones y medidas en cada caso propuestas, así como la identificación de los problemas a «tiempo real», es decir, en el lugar y tiempo en que se realizan cada una de las reuniones de participación (fig. 3). Podemos decir, por consiguiente, en un sentido literal y real que trasciende cualquier virtualidad, que previamente a su publicación en la web de la CHE, los vuelos virtuales 3D «visitaron» el propio territorio que representaban, pues fueron trasladados a los locales que acogieron las reuniones de participación pública, celebradas en entornos y lugares simbólicos próximos al río, sentidos y claramente percibidos y vividos por la población local.

Se evidencia así, en cualquier caso, la importancia que los documentos técnicos y guías metodológicas de participación pública otorgan a la cartografía y sistemas de información geográfica (en sentido laxo: mapas tradicionales, pero también herramientas de *web-GIS* y *web-mapping*, vuelos virtuales 3D, etc., que combinan el lenguaje visual espacial con la capacidad de difusión digital de la información), al asignarles un alto índice de aplicabilidad en todas y cada una de las fases del proceso de participación pública (HARMONICOP, 2005): 1.ª) preparación de la documentación inicial y herramientas para la participación, 2.ª) proceso de participación y

Figura 9. Morfologías de montaña y meandros en Aguas Tuertas, cabecera del río Aragón Subordán (Huesca). Obsérvese el mallado (modelo digital del terreno) que sirve de base a las ortofotografías y que es la razón del efecto 3D.

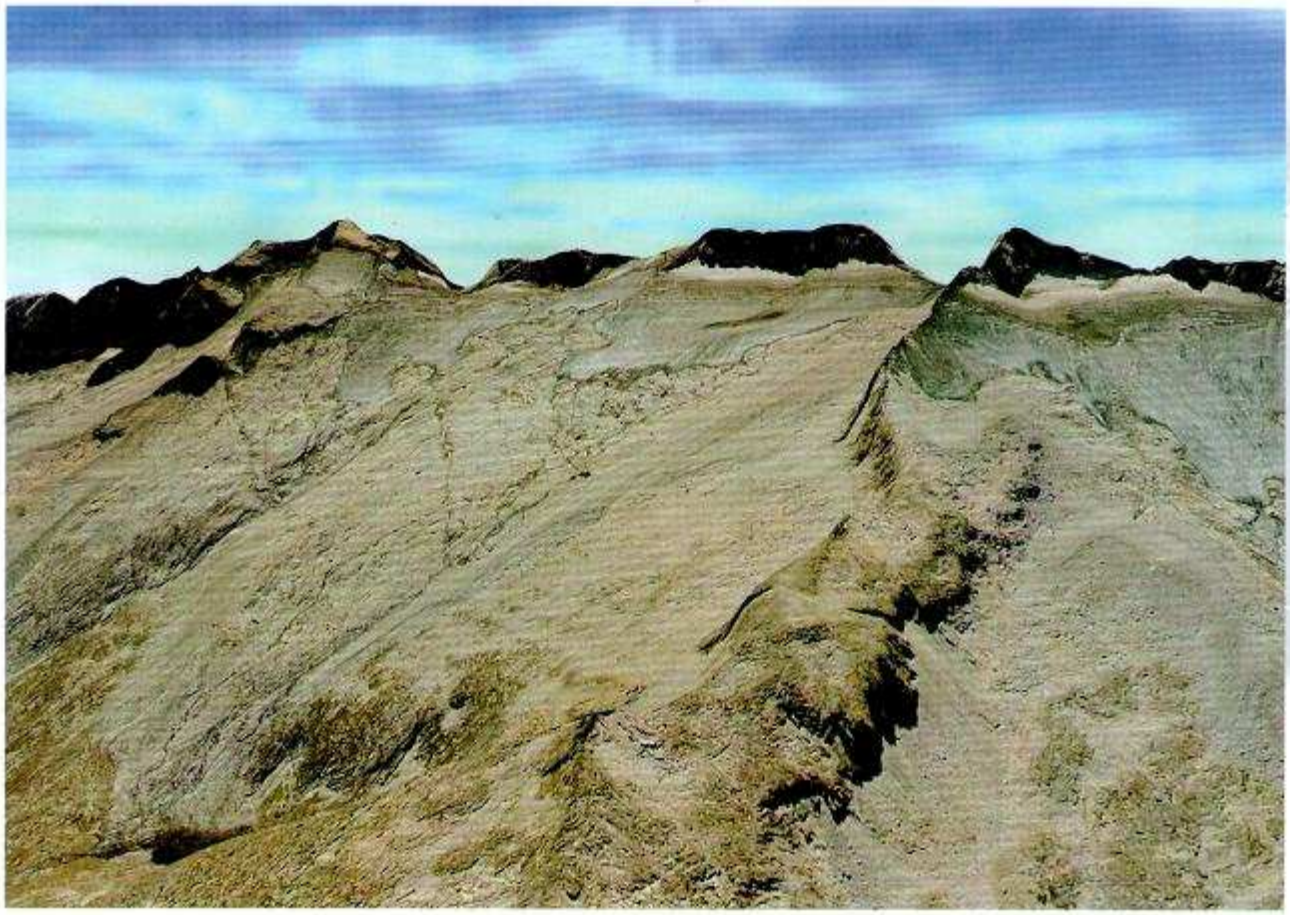

Figura 10. Macizo del Aneto, en la cabecera del río Ésera (Huesca). Morfologías glaciares —hielo, séracs, morrenas— perfectamente visibles.

Figura 11. Meandros encajados sobre relieves de cobertera: Alto Ebro (Orbaneja del Castillo, Burgos).

Figura 12. Meandros encajados sobre plataforma miocénica: Río Ebro (Sástago-Escatrón, Zaragoza).

Figura 13. Laguna de Gallocanta (Zaragoza-Teruel) en el entorno de su cuenca endorreica. Orlas salinas y paisaje cultivado.

Figura 14. Galacho de Juslibol (Zaragoza). Bosque de ribera, láminas de agua (graveras inundadas y río Ebro), cortado yesífero y estepa, espacios cultivados.

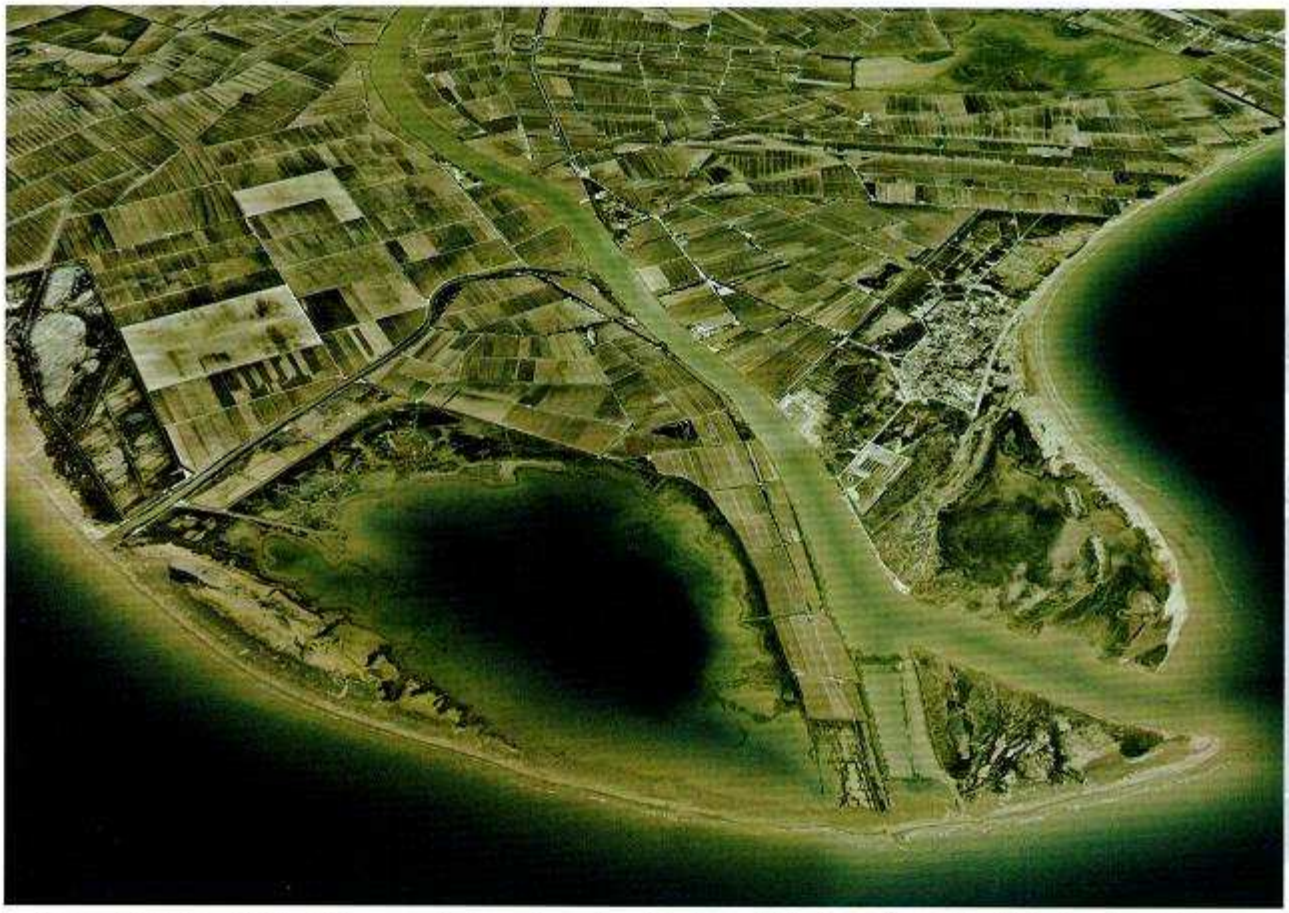

Figura 15. Delta del Ebro (Tarragona). Desembocadura del río en el Mediterráneo, isla de Buda, cabo de Tortosa y línea de costa.

Figura 16. Relieves en cuesta (pliegues tumbados) en margen derecha del alto Huerva. Fonfría (Teruel).

3.ª) elaboración de documentación final (fig. 4).

Vuelos virtuales 3D de la C.H.E.: el territorio hídrico de la cuenca del Ebro

Formalmente, los vuelos virtuales 3D son archivos de cartografía dinámica válidos para su visualización y consulta desde la web de la CHE (www.chebro.es), acceso directo «Vuelo Virtual 3D», o directamente, desde la dirección http://vuelos3d.chebro.es/, página web que forma parte del conjunto de visores, herramientas, servicios y productos cartográficos alojados en el denominado «Geoportal SITEbro» de la C.H.E. (*http://iber.chebro.es/geoportal/ index.htm*), y en la que fueron publicados a medida que iban siendo generados. Desde dicha página es posible acceder a un escenario o vuelo virtual 3D para cada una de las subcuencas hidrográficas en las que se distribuyó el ámbito de la demarcación a lo largo del proceso de participación pública (fig. 5). Además, y para acceder directamente a un lugar concreto de la cuenca del Ebro sin necesidad de tener que conocer previamente el vuelo virtual correspondiente a la subcuenca del río en que dicho lugar se localiza, se ha diseñado un potente «buscador de infos y lugares», ubicado en esa misma Página, que cuenta con un completo nomenclátor de topónimos y lugares de la cuenca del Ebro desde donde podemos buscar prácticamente cualquier enclave, sitio o lugar de interés que, una vez identificado y localizado, será posible invocar y visualizar directamente lanzando el vuelo virtual 3D correspondiente desde la misma lista de resultados desplegada en pantalla (fig. 6).

Los vuelos virtuales 3D tienen una clara vocación multipropósito: inicialmente utilizados en el proceso de participación pública, son igualmente válidos para cualquier usuario –investigador, técnico, docente, particular o ciudadanos en general– y consulta de carácter territorial referida al ámbito geográfico de la cuenca del Ebro. Su fundamento cartográfico o «mapa base» queda definido por el mosaico de ortofotografías aéreas procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA, Instituto Geográfico Nacional), en color natural, que ofrecen el detalle visual y la precisión planimétrica del territorio, y que se superponen sobre un modelo digital de elevaciones (capa cartográfica o malla que representa la distribución regular de la variable altimetría; en el caso que nos ocupa, la resolución de dicha capa es de 20 x 20 metros, es decir, existe un valor de cota altimétrica por cada cuadrado de 20 metros de lado del terreno) que aporta la visualización del territorio, fidedignamente reproducida, en 3D. Pero es importante matizar que los vuelos virtuales no son meras recreaciones, vídeos o películas del territorio, sino que, muy al contrario, constituyen un producto cartográfico de gran rigor técnico, sobre cuya superficie es posible, interactivamente y en todo momento, la adquisición de la posición (coordenadas X e Y) o la consulta del valor de altimetría (Z) de cada uno de los puntos del escenario, así como la estimación de áreas, longitudes o perfiles transversales de cualquier punto del terreno (figs. 7a, b), quedando así plenamente integrados, desde el punto de vista conceptual y funcional, con los sistemas de información geográfica (SIG).

Ese mapa base (modelo digital de elevaciones + ortofotografía) se enriqueció con toda una serie de capas cartográficas adicionales que contienen temáticas propias de las diversas competencias de la C.H.E. (redes de control de cantidad –aforos, SAIH– y de calidad –Control del Estado de las Masas de Agua, CEMAS– de

los recursos hídricos, inventarios de expedientes de concesión y de vertidos, depuradoras, inventario de azudes, registro de zonas protegidas, fotografías de campo, etc.) y que de manera más clara y evidente contribuían, representadas al efecto como «puntos de información» o «infos» sobre el territorio, a fomentar la participación pública y la transmisión de contenidos territoriales de interés para la gestión del agua (figs. 8a, b).

Para tener una cierta idea de la magnitud de la información territorial almacenada en los vuelos virtuales 3D de la cuenca del Ebro baste señalar que son cerca de 60.000 los «infos» (puntos de interés sobre el territorio, que muestran información temática o enlazan con documentos multimedia o fotografías) que, repartidos en 45 diferentes categorías, suman entre todos los escenarios; así mismo, existen cerca de 8.000 fotografías de campo, accesibles a través de 3.000 puntos distribuidos por todo el ámbito de la cuenca, y cerca de 20.000 topónimos o lugares clasificados en 18 diferentes categorías.

La navegación a través de cada uno de los escenarios que conforman los vuelos puede realizarse de dos modos complementarios: vuelo libre (utilizando, para ello, el teclado y el ratón del ordenador y las herramientas de navegación existentes en la propia interfaz de la aplicación, que simula la cabina de un avión) y de manera guiada, pulsando, a tal fin, sobre cualquiera de los «infos» (etiquetas con la denominación, nombre o topónimo de los elementos cargados en cada una de las capas existentes en los escenarios virtuales). En definitiva, la navegación a través de los vuelos virtuales, que admite muchas otras opciones y configuraciones de visualización (por ejemplo, mediante la programación de vistas y visitas guiadas en las que el usuario sigue un recorrido temático fijo previamente establecido, al tiempo que se le presentan diferentes ficheros multimedia), es sumamente intuitiva y sencilla. Todas las opciones de configuración y manejo quedan explicadas y recogidas en un breve tutorial que está disponible para su consulta una vez se instala el visualizador gratuito.

A pesar de que su propia virtualidad y carácter interactivo y dinámico infieren infinitas posibilidades de visualización a estas cartografías 3D (en función de su diferente altura y velocidad de vuelo, perspectiva e inclinación, azimut, grado de acercamiento a la superficie, etc.), nos ha pareci-

Figura 17. Ibón de Cregüeña (Huesca), en primer plano, alojado en recuenco de sobreexcavación glaciar del macizo granítico de la Maladeta. Al fondo, valle de Benasque, con los embalses de Paso Nuevo y Linsoles.

do oportuno, a modo de simple botón de muestra, ofrecer una serie de capturas de pantalla (figs. 9-17) que, aunque estáticas, ilustran la calidad gráfica de estas herramientas cartográficas y ponen de manifiesto la diversidad territorial, paisajística y ambiental de la cuenca del Ebro en relación a las masas de agua que alberga. Nótese que las calidades visuales de las imágenes –y, por consiguiente, de los vuelos desde los que éstas han sido captadas– traducen fielmente las estructuras de cada uno de los espacios geográficos funcionales, es decir, del territorio (depresiones, corredores fluviales, espacios de montaña...), pero también se perciben con claridad las diversas configuraciones –con sus organizaciones y formas de ocupación singulares, sus texturas y morfologías concretas– que generan, en el transcurso del devenir histórico, las culturas humanas superpuestas al territorio: los tipos de paisaje.

Finalmente, y a modo de resumen, podemos señalar que la experiencia adquirida a lo largo de estos años en la aplicación de los vuelos virtuales 3D como herramientas de difusión de conocimiento territorial en el proceso de participación pública del Plan Hidrológico de la demarcación del Ebro 2010-2015 nos permite espigar, entre otras, las siguientes ideas/conclusiones:

- La aplicación de la Directiva Marco del Agua (gestión a escala de masa fluvial) puede influir en la ordenación del territorio.
- Hay que aproximarse mucho al territorio y sus gentes para tomar decisiones que sean comprensibles y aceptadas por los diferentes colectivos sociales.
- Es imprescindible corresponsabilizar a todas las administraciones en el cumplimiento y coordinación de la Directiva Marco del Agua. Las implicaciones de la Directiva en las medidas a tomar para mantener el buen estado ecológico de las masas de agua rebasan el campo de competencias de la propia Administración Hidráulica, afectando a elementos y aspectos medioambientales, socioeconómicos y de ordenación del territorio.
- La correcta aplicación de la Directiva Marco del Agua no será posible si no se involucra en el proceso a las distintas administraciones, usuarios y sectores interesados. Por ello, se desea realizar todo el esfuerzo necesario en fomentar las actividades de participación pública dirigidas en este sentido.
- En todos estos procesos, la cartografía y la tecnología SIG (vuelos virtuales 3D en nuestro caso) juegan un importante papel de conocimiento y transmisión de información territorial relacionada con la gestión del agua y la planificación hidrológica en la cuenca del Ebro.

Epílogo

Hace escasos días estuvimos en el Moncayo. Allí acudimos con la intención de remontar el barranco de Morca, una de las fuentes del Huecha, que es un sensacional microcosmos alojado en el flanco norte de la soberbia montaña ibérica, y que cobija en su fondo –formaciones en galería– y laderas –espesas masas vegetales– un agreste bosque que se nos ofrece a la sazón, en sus mejores tintes otoñales: encinas, sauces, fresnos, robles –albar, rebollo–, rodales de haya, esporádicos tejos, acebos y esbeltos pinos silvestres configuran una bóveda arbórea multicolor que no deja pasar los rayos del sol. A nuestro regreso, hemos abierto el vuelo virtual 3D de la cuenca del Huecha y, sobrevolando lo andado, hemos recreado nuestro viaje, remontando el río a través de las tierras de Vera de Moncayo, Veruela y Maderuela. Evidentemente, no es la excursión en sí, es sólo su memoria visual, pero de algún modo el ciclo se ha cerrado, hemos completado nuestro periplo: el barranco y sus bosques con las cumbres moncaínas presidiendo el horizonte están ahí, a escala humana y casi al alcance de la mano... Los vuelos virtuales invitan a recorrer el territorio, a hacer paisaje.

Referencias bibliográficas

ECAS. 2009a. Nuevas tecnologías: conocer Aragón mediante vuelos virtuales 3D. Cartografía dinámica en 3D para visualización de las 13 rutas turísticas por Aragón. *Aragón turístico y monumental. Revista del Centro de Iniciativas Turísticas (SIPA)*, **366**, pp. 61-64.

ECAS. 2009b. Vuelo virtual 3D por Riegos del Alto Aragón. *Riegos del Alto Aragón. Revista de la comunidad general de riegos del Alto Aragón*, **26**, pp. 17-18.

HARMONICOP. 2005. *Aprender juntos para gestionar juntos. La mejora de la participación pública en la gestión del agua*. Universidad de Osnabrück, Instituto de Investigación de Sistemas Medioambientales. (Disponible en http://www.harmonicop.uos.de/HCOPmanualespanol.pdf)

MONZÓN RÓQUE, M. R. 2008. Utilización de técnicas de geovisualización virtual 3D para activar los procesos de transmisión de información, comprensión y participación ciudadana. *In*: HERNÁNDEZ, L. y PARREÑO, J. M. (eds.) *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 325-339.