

## ENSEÑANZA Y DIVULGACIÓN DE LAS CIENCIAS

### GEOLOGÍA VIRTUAL: UNA EXPERIENCIA DOCENTE VIRTUAL DESDE EL ITINERARIO GEOLÓGICO REAL

#### INTRODUCCIÓN

En los estudios geológicos, la transmisión de buena parte de los contenidos requiere realizar rutas de campo, donde se observan formaciones, estructuras y litologías, para comprender la génesis del paisaje y la relación espacio-temporal de los procesos geológicos que han actuado sobre él.

Como es sabido, el empleo de las últimas innovaciones tecnológicas y sus aplicaciones, facilita la deslocalización y destemporalización del acto del aprendizaje. Este principio puede ser aplicado incluso cuando el aprendizaje conlleva la necesaria realización de prácticas de campo, y así solventar la organización de viajes o excursiones y/o la necesidad de coincidencia física con el profesor.

Los servicios que brindan las nuevas tecnologías e Internet, como puede ser el software libre Google Earth, constituyen una extraordinaria herramienta de aprendizaje en asignaturas vinculadas al estudio de la Geología. Google Earth es un navegador terrestre que permite visualizar diferentes tipos de imágenes (satélite, relieve, 3D, etc.), georreferenciadas y a escala, de cualquier punto de la Tierra. Su campo de aplicación es tan amplio que permite la búsqueda de lugares concretos, obtención de rutas, simulación de vuelos e incluso identificación de estructuras geológicas.

La tecnología desarrollada en este navegador terrestre constituye una herramienta muy útil ya que posibilita el diseño y visualización de itinerarios que pueden ponerse a disposición del estudiante a través del propio curso virtual. Estos itinerarios virtuales permiten mostrar al estudiante detalles y explicaciones basadas en las formas del relieve y los afloramientos que se observan en campo; facilitando la adquisición de conocimientos

prácticos sin necesidad de desplazarse. La herramienta también permitiría al estudiante realizar de forma autónoma la excursión de campo, con el apoyo de la información sobre localización, imágenes y explicaciones preparadas previamente por el Equipo Docente. Además, el uso aplicado de la herramienta sentará las bases para que el estudiante pueda iniciar por sí mismo la búsqueda y el diseño de otros recorridos.

#### METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE ITINERARIOS VIRTUALES

Desde la UNED, el grupo de innovación docente GID2016-19-GECT ha desarrollado un itinerario virtual piloto, como una parte del PIE 2016-19-1 de la UNED, que ha requerido las siguientes fases de trabajo:

##### 1. Selección y diseño del itinerario

El itinerario seleccionado es el correspondiente al Geología-17 denominado “El Duero zamorano, recorrido por una historia de cientos de millones de años”, ([http://www.sociedadgeologica.es/archivos\\_pdf/geologia17/guias\\_geologia17/gdia17gui\\_zamora.pdf](http://www.sociedadgeologica.es/archivos_pdf/geologia17/guias_geologia17/gdia17gui_zamora.pdf)) coordinado por la Profesora Antón de la UNED y organizado junto con profesores de la UNED, URJC y la UCM, y con la colaboración del Centro Asociado de la UNED de Zamora e Iberdrola (*véase noticia sobre el desarrollo de esta jornada en el apartado Congresos, seminarios, reuniones científicas y cursos de verano de este mismo número*).

El Geología es una iniciativa de la Sociedad Geológica de España, de divulgación de ámbito nacional que pretende acercar a la sociedad tanto la Geología como la profesión de geólogo. Consiste en una serie de excursiones de campo guiadas por geólogos, gratuitas y abiertas a todo tipo de público. Con estas excursiones se pretende que los asistentes observen con “ojos geológicos” el entorno en el que viven, que descubran nuestro patrimonio geológico y que conozcan un poco más sobre lo que los geólogos, como científicos y profesionales, pueden aportar a la sociedad y a su bienestar. Es también una manera de sensibilizar a la población sobre la importancia y necesidad de proteger nuestro patrimonio geológico.

El itinerario planteado comienza en Zamora, ciudad situada en el borde oeste de la Cuenca Cenozoica del Duero, desde ahí se desplaza hacia el oeste, aguas abajo del río Duero, en su recorrido a través del basamento Varisco, para terminar en Miranda do Douro (Portugal). En esta zona, la red fluvial recorre, a la vez que modifica y pone al descubierto, toda una historia geológica previa que abarca cientos de millones de años. El itinerario permite además acercarnos a la geomorfología fluvial de la mano del Duero y el Esa que muestran su propia historia a través de la morfología de su curso y sus valles, y de las formas erosivas que generan, preservan o destruyen.

En este contexto, el recorrido por el Duero zamorano ilustra un camino condicionado por la tectónica y la fracturación, resultado de las orogénias Varisca y Alpina, a través de procesos metamórficos, ígneos y sedimentarios que explican la variedad de rocas presentes y la orografía del entorno. Su curso atraviesa desde rocas precámbricas formadas a kilómetros de profundidad hace cientos de millones de años, cuando el océano Atlántico aun no existía, hasta depósitos sedimentarios y formas erosivas recientes. Además, el impresionante cañón por el que transcurre el Duero en esta zona pone de manifiesto la respuesta del río a un importante cambio en el drenaje de la Cuenca del Duero, que se produce cuando la red atlántica captura la red fluvial de una gran cuenca interior, de más de 70.000 km<sup>2</sup>. En esta misma zona también se pueden observar morfologías erosivas excepcionales, formadas ante nuestros propios ojos hace menos de 100 años, que muestran la dinámica, el poder y la imponente respuesta de los procesos fluviales a modificaciones sobreimpuestas.

## 2. Modelización de los itinerarios virtuales con Google Earth

Para la realización del modelo de itinerario virtual presentado en este trabajo, se ha utilizado el software Google Earth, cuya descarga e instalación es sencilla y gratuita, siendo necesaria únicamente la visita a su página web (<https://earth.google.com/web/>). Esta aplicación está también disponible para móviles y tablet.

En Google Earth, por defecto, se muestra una capa de terreno compuesta por imágenes de satélite procedentes de diversas fuentes: Digital Globe, Landstat, U.S. Navy, GEBCO,... unidas y montadas sobre una base 3D para navegar por el mapa del mundo. Además, dispone de capas adicionales con información sobre la red de carre-

teras, lugares de interés, etc.; permite utilizar simuladores de vuelo, y “viajar en el tiempo” seleccionado la fecha de la imágenes que se quieren visualizar.

Sin embargo, en el caso de itinerarios geológicos es interesante generar una nueva capa (el mapa geológico) que, montada sobre la base topográfica de Google Earth, permita además navegar sobre la información geológica de la zona seleccionada. Para generar este soporte geológico, se ha revisado la serie de mapas geológicos publicados por el IGME (<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Default.aspx?language=es>) a diferentes escalas. A partir de las Hojas 367-368 de GEODE-Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000, se han generado la capa `geode_area_of_interest.kmz` y `geode_area_of_interest_50transp.kmz` (la misma capa con 50% de transparencia); a partir del Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000, edición 1995, se ha generado la capa `geomillon_area_of_interest` y `geomillon_area_of_interest_50transp` (con 50% de transparencia), y a partir de Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1.000.000, edición 2015, la capa `geomillon_2015_imagen.kmz`. Para el paquete publicado a los estudiantes se ha seleccionado esta última capa, que parte de la versión cartográfica más actualizada.

Para localizar con exactitud los itinerarios con base fluvial (como es el caso del itinerario seleccionado), se hace a su vez interesante generar otra nueva capa que comprenda la información hidrográfica, procedente de organismos oficiales como son la Confederación Hidrográfica del Duero ([http://www.mirame.chduero.es/DMA-Duero\\_09\\_15/index.faces](http://www.mirame.chduero.es/DMA-Duero_09_15/index.faces)) y de la Agencia de Infraestructura de Datos Espaciales de Portugal ([http://www.dgterritorio.pt/sistemas\\_de\\_informacao/snig/o\\_que\\_e\\_o\\_snig/\\_ide\\_em\\_portugal/](http://www.dgterritorio.pt/sistemas_de_informacao/snig/o_que_e_o_snig/_ide_em_portugal/)).

Así, el diseño del prototipo de itinerarios virtuales a utilizar en las posteriores rutas virtuales (a desarrollar en las fases sucesivas del proyecto de innovación educativa) comprende los siguientes ítems:

- a. Trazado de la localización del itinerario en Google Earth sobre la capa de terreno mostrada por defecto, añadiendo la selección de la capa de carreteras, provista por el propio software.
- b. Generación de una nueva capa de soporte geológico mediante la georreferenciación del mapa geológico, en este caso, de España y Portugal a escala 1:1.000.000 (IGME-LNEG, 2015), utilizando una

técnica de posicionamiento espacial mediante ArcGIS 10.3, que atribuye a una entidad, como puede ser una imagen (*raster*) o a datos vectoriales, una localización geográfica, dotando así de información espacial a los mapas. En el caso de disponer de cartografía digital correctamente georreferenciada no será necesaria su referenciación, únicamente la creación a partir de ella del correspondiente fichero kmz.

- c. Diseño de una capa de información hidrológica del río Duero y sus principales afluentes, generándose el correspondiente fichero en ArcGIS 10.3 con la hidrología superficial a escala 1:50.000.
- d. Por último, además de la localización geográfica, geológica e hidrológica de la zona, el itinerario virtual contiene una serie de paradas localizadas en superficie por una marca de posición. Estas marcas de posición incluyen pantallas explicativas e imágenes con la descripción de los elementos geológicos más relevantes de cada parada.
- e. Toda esta información se ha almacenado en un fichero kmz (formado por un archivo kml principal -ambos formatos propios de Google Earth- y otros archivos complementarios, empaquetados y comprimidos).
- f. En ese mismo lugar de almacenamiento se facilitan al estudiante los archivos pdf que presentan el itinerario (contextualización geológica) y que contienen las ayudas precisas para que pueda ampliar la

información geológica sobre cada una de las paradas.

Por tanto, para el polígono de estudio seleccionado (~5000 km<sup>2</sup> de Zamora hacia el oeste siguiendo el curso del río Duero), se ha extraído la imagen del mapa geológico georreferenciada y la hidrología. Tras incorporarse las paradas con sus correspondientes fichas explicativas, todo ello ha sido guardado en un fichero kmz que puede almacenarse en el curso virtual o en un servidor web al que tengan acceso los estudiantes (Figura 1).

Cuando el archivo kmz se descomprime en Google Earth, o en otro navegador terrestre, los archivos que contiene se despliegan según los formatos y estructura de directorio original, con sus correspondientes nombres de archivo y extensiones. Esto permite a los estudiantes acceder gradualmente a la información completa de la ruta (Figura 2), localización de los puntos de interés,

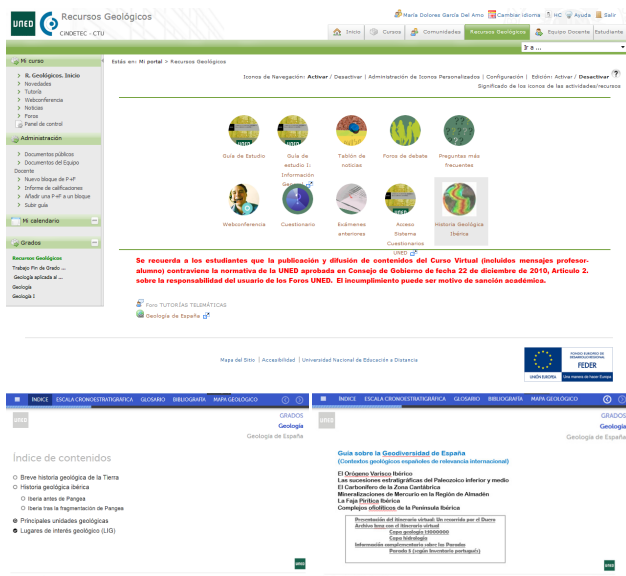


Figura 1. Pantallas de presentación de la Guía sobre la Geodiversidad en España, enlazada a los materiales previos Historia Geológica Ibérica.

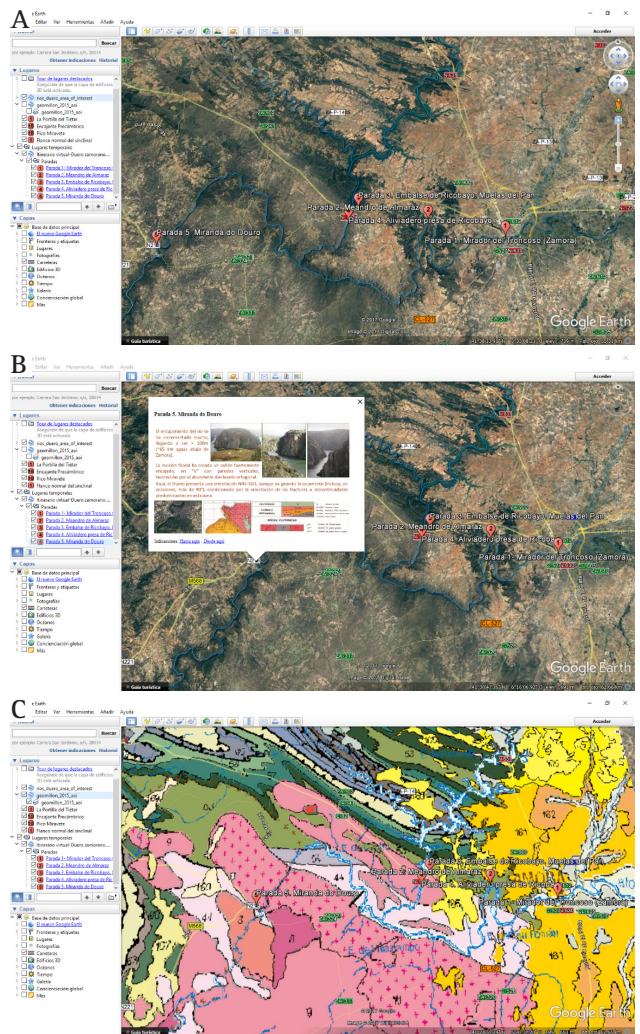


Figura 2. Pantallas de presentación del itinerario virtual diseñado en Google Earth. (A) ruta con la capa carreteras e hidrológica, (B) ejemplo de pantalla explicativa de una parada, y (C) ruta con capa geológica.



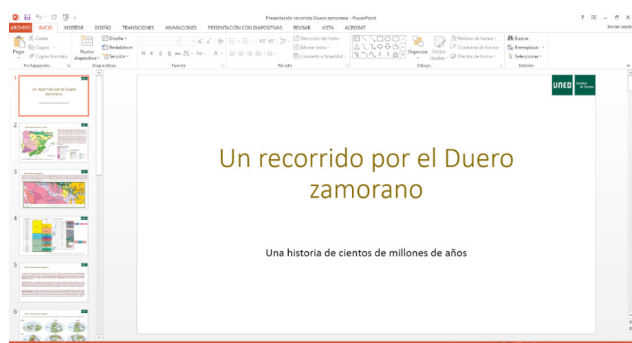


Figura 3. Pantalla de presentación del archivo que presenta el itinerario (contextualización geológica).

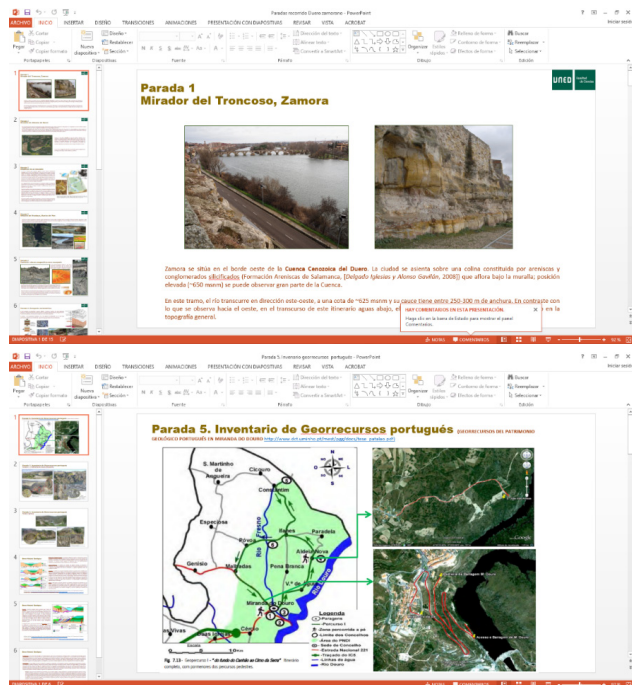


Figura 4. Pantallas de presentación de los archivos que contienen información geológica complementaria de cada una de las paradas.

itinerarios recomendados, información geológica e hidrográfica regional, fichas informativas, y explicaciones adicionales de los elementos geológicos observables en campo por paradas (Figuras 3 y 4).

## CONCLUSIONES

Este prototipo de ruta virtual abre la posibilidad de realizar diferentes itinerarios virtuales, que permitan a los estudiantes reconocer las grandes estructuras geológicas de la Península Ibérica y los lugares de interés geológico; así como adentrarse en su propia búsqueda y reconocimiento geológico virtual y/o real. De igual modo de este tipo de rutas puede ser utilizada como base para la realización de visitas de campo de forma autónoma, si necesidad de ser acompañado por un profesor.

Este material dota al equipo docente de una herramienta básica que le permite el diseño de actividades que contribuyan a la mejora de la actividad docente, lo que ayudará a reforzar el proceso de aprendizaje.

## TRABAJOS POSTERIORES

En el momento actual se está trabajando en nuevas funcionalidades para los itinerarios virtuales, que son:

1. Recorridos dirigidos con video y audio de tramos seleccionados visualizados con Street view de Google Earth (Figura 5).
2. Diseño de una nueva fase del proyecto (convocatoria PIE-UNED-2018) para la integración de contenido geológico en profundidad (cortes geológicos) en Google Earth, a lo largo de zonas o estructuras de interés geológico.



Figura 5. Vista con Street View de los pliegues disarmónicos en La Portilla del Tiétar (PN Monfragüe).

En los estudios geológicos, además de la cartografía de los mapas (2D), se realiza una serie de cortes geológicos que ayudan a resolver la estructura, introduciendo de esta forma la dimensión de profundidad (3D). La realización de una cartografía geológica, como cualquier otro trabajo geológico, lleva consigo una interpretación tridimensional de la disposición y estructura de las formaciones geológicas diferenciadas, cuyos modelos geológicos 3D son una aproximación muy cercana a la realidad.

Usando la inclinación, rotación y zoom en Google Earth, los estudiantes pueden ver la tercera dimensión con una claridad extraordinaria, ya que ciertas imágenes de Google Earth ilustran con gran precisión estructuras geológicas como pliegues, fallas, contactos litológicos o capas inclinadas. Sin embargo, muchos estudiantes principiantes de geología quedan desconcertados ante la visión 3D y presentan grandes dificultades para comenzar a visualizar estas las estructuras.

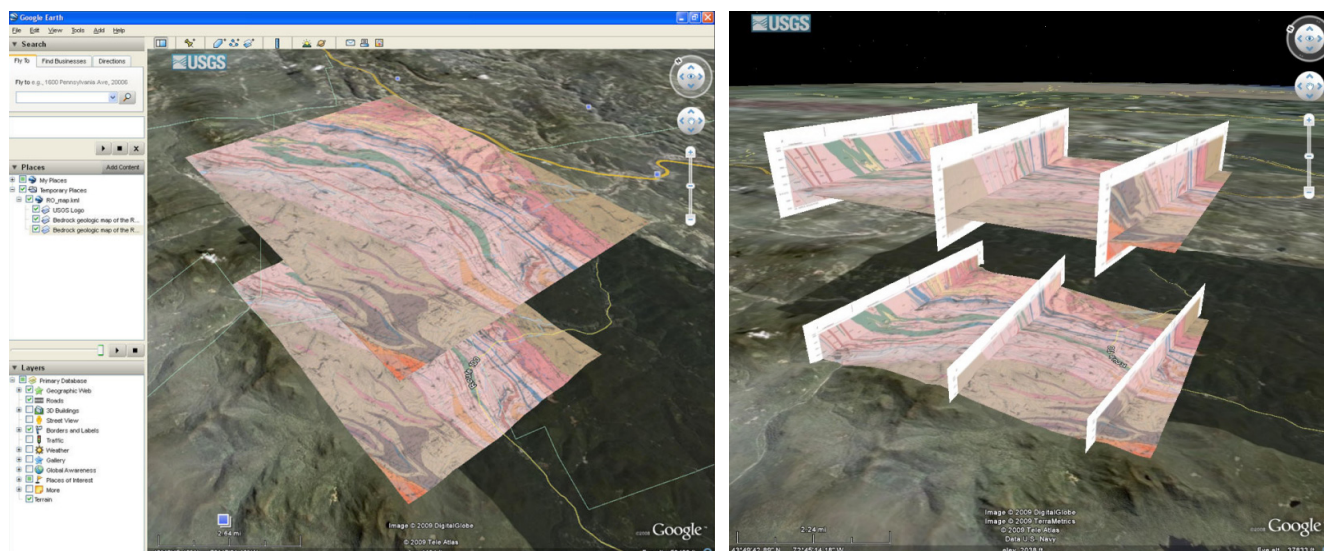


Figura 6. Pantallas de Google Earth mostrando los mapas geológicos y, sobre ellos, dos conjuntos de cortes geológicos. Fuente: Walsh G.J., 2009, <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1229/pdf/ofr2009-1229.pdf>.

Google Earth es una herramienta mucho más potente de lo que podría suponerse, y en combinación con otros softwares, permite realizar tareas muy interesantes. Su combinación con otros programas puede permitir elaborar mapas geológicos tridimensionales a partir de la planta y cortes geológicos de un mapa preexistente (Figura 6), pudiendo visualizarse la geología en 3D sobre la superficie. Esta posibilidad, facilita enormemente la visualización tridimensional de la geología a observadores que tengan inicialmente una capacidad de visión espacial poco desarrollada.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- [1] Carcavilla L, Durán JJ, López-Martínez J (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas* 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria.
- [2] Martínez E (2017). La importancia de las rutas geológicas en la educación en geociencias. *Tierra y Tecnología* nº49. <http://dx.doi.org/10.21028/emm>.
- [3] Pozo JS, Piñeiro A (2013). Estudio práctico de geología empleando software libre. *Revista de Forma-*

ción e Innovación Educativa Universitaria Vol. 6, Nº 4, 216-224.

- [4] Pampliega E (2013). Salidas de campo. Tutorial Google Earth <http://icog.es/cursos/index.php/salidas-de-campo-tutorial-google-earth>.
- [5] Interpretación geológica en Google Earth: Primeros pasos <http://www.elblogdemifamiliayotrosanimales.com/2012/01/interpretacion-geologica-en-google-hm>.
- [6] Walsh GJ (2009). A Method for Creating a Three Dimensional Model from Published Geologic Maps and Cross Sections. Open-File Report 2009-1229 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1229/pdf/ofr2009-1229.pdf>.
- [7] [http://serc.carleton.edu/sp/library/google\\_earth/how.html](http://serc.carleton.edu/sp/library/google_earth/how.html).

Dolores García del Amo  
 Loreto Antón López  
 Candela Pastor Martín  
 Área de Geología  
 Dpto. de Ciencias Analíticas