

Experiencia de realidad virtual en el anticlinal Boixols-Sant Corneli, un ejemplo pionero de difusión y conservación del patrimonio geológico.

Virtual reality experience in the Boixols-Sant Corneli anticline, a groundbreaking example of dissemination and conservation of geoheritage.

X.M. Pellicer¹, G. Rivas², A. Sellés³, J.A. Muñoz⁴, J.A. Muñoz², O. Ferrer², O. Gratacós², G. Puras¹, N. Verdeny¹ y A. Galobart³

1 Geoparc Mundial de la UNESCO Orígens. Soldevila 3 baixos, 25620 Tremp. xmir@geoparcorigens.cat

2 Institut de Recerca GEOMODELS. Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès s/n, 08024 Barcelona.

3 Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafon. Columnes s/n, Edifici Z, Campus de la Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès.

4 Digivisión. Avenida Once de Septiembre 1, Edificio Zenit 4ªA, 43202 Reus.

Resumen: Se plantea la creación de un museo natural abierto utilizando métodos de realidad virtual y aumentada (VR/AR) sobre reconstrucciones geológicas en el territorio del Geoparque Mundial de la UNESCO Orígens. El objetivo es proporcionar una experiencia emocional al público para la comprensión de sistemas geológicos y paleoecológicos, así como su impacto en el paisaje, la actividad humana y la historia. Para lograr estos objetivos, se combinarán reconstrucciones científicas con tecnologías de producción de realidad virtual para generar escenarios virtuales geológicos, paleontológicos e históricos de 11 localidades. En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre la reconstrucción del modelo de emplazamiento del anticlinal de Boixols-Sant Corneli, sitio catalogado como *Global Geosite*. Se incluyen también modelos 3D restituidos con su correspondiente interpretación paleogeográfica, entre los que destacan los del Cretácico Superior habitados por los últimos dinosaurios de Europa. La producción de animación utiliza tecnologías que permiten la superposición de imágenes virtuales sobre imágenes reales para visualizar en teléfonos inteligentes o gafas VR. Estos modelos deberían ayudar a la comprensión de la evolución del paisaje geológico tanto a nivel universitario como divulgativo y contribuir a posicionar el patrimonio geológico como motor de desarrollo rural sostenible.

Palabras clave: patrimonio geológico, dinosaurios, realidad virtual, anticlinal Boixols-Sant Corneli.

Abstract: *An open natural museum using virtual and augmented reality (VR/AR) methods based on geological reconstructions of the UNESCO Global Geopark Orígens territory is envisaged. The aim is to provide an emotional experience to the public for the understanding of geological and paleoecological systems, as well as their impact on landscape and human activity. To achieve these objectives, scientific reconstructions will be combined with virtual reality production technologies to generate virtual geological, paleontological and historical scenarios of 11 selected sites. The first results on the reconstruction of the virtual reality model of the Boixols-Sant Corneli anticline, catalogued as Global Geosite, are presented here. These also include timelapse 3D models restitutions with their corresponding paleogeographic interpretations, among which those of the Upper Cretaceous inhabited by the last dinosaurs of Europe. Animation production uses technologies that allow the superimposition of virtual images over real images to display on smartphones or VR glasses. These models will help to understand the evolution of the geological landscape both at the university and divulgation level and contribute to positioning the geoheritage as a tool for the sustainable rural development.*

Keywords: *geoheritage, dinosaurs, virtual reality, Boixols-San Corneli anticline.*

INTRODUCCIÓN

Cuando se evalúa la causa de los principales problemas ambientales, a menudo se detecta como un denominador común la desconexión de la humanidad de la naturaleza (Pásková et al., 2021). La falta de cultura en la sociedad sobre las dinámicas que operan en el planeta es significativa. Probablemente esto es debido a la complejidad de los a menudo abstractos conceptos geológicos y a los métodos utilizados para

difundirlos, que conlleva que el bajo nivel de comprensión e interés por parte de los responsables de la formulación de políticas ambientales, de los profesionales de tecnología visual, de los alumnos de educación primaria y secundaria o del público en general. En las últimas décadas hay un creciente interés por promover la interpretación holística del patrimonio natural (p. ej., Carvalho, 2014; Crofts, 2019) y esta es una de las tareas en la que los geoparques mundiales de la UNESCO invierten más energía.

Uno de los principales objetivos de los geoparques consiste en fortalecer la conexión humana con la Tierra a través de un geoturismo atractivo, el cual se ha convertido en uno de los principales temas del desarrollo del turismo sostenible (Farsani et al., 2011). Las redes de geoparques trabajan intensamente en el intercambio de experiencias entre territorios y en el desarrollo de una rica diversidad de servicios para los visitantes. Sin embargo, no existe todavía un enfoque coherente para divulgar la interpretación del patrimonio geológico. Este a menudo se muestra a través de expertos que describen al público cómo se formaron las rocas y los paisajes. Este método permite visualizar el momento presente en un área limitada, pero para comprender la evolución de un paisaje se requiere gestionar lapsos de tiempo de millones de años y cambios a escala regional, no visibles en el paisaje. La transferencia de esta información a la sociedad ha sido un desafío recurrente en la difusión del patrimonio geológico.

El Geoparque Orígens está considerado como un laboratorio natural visitado por científicos de todo el mundo. Sus espectaculares paisajes presentan una amplia variedad de elementos geológicos que lo convierten en un paraíso para la comprensión de los diferentes procesos que dieron forma a la Tierra y, más concretamente, a los sistemas montañosos. Se trata de una zona extremadamente bien estudiada con ejemplos como el perfil geofísico ECORS (Muñoz, 1992), clave para develar la interpretación geológica del origen y la evolución de la orogenia pirenaica, y que proporcionó información muy valiosa sobre la formación de cadenas montañosas en todo el mundo. Por otro lado, el campo de la paleontología acumula más de 100 años de investigación en este territorio y ha proporcionado datos sobre 250 millones de años de historia evolutiva de su fauna y flora. Entre estos, los sinápsidos y arcosaurómorfos del Pérmico Inferior, el extremadamente rico paleoecosistema del Cretácico Inferior, varias especies de dinosaurios recién descubiertas del Cretácico Superior y linajes de mamíferos modernos del Paleoceno. En conjunto, centenares de trabajos científicos que ilustran la importancia de este territorio y que contienen los datos necesarios para realizar interpretaciones geológicas científicamente correctas a la vez que atractivas.

El proyecto VIGEOCULT, en el que se engloba este trabajo, propone la creación de un museo abierto natural utilizando las nuevas metodologías de realidad virtual y aumentada (RV/RA) sobre reconstrucciones geológicas 4D. Se plantea el diseño de una plataforma digital para desarrollar aplicaciones que permitan crear experiencias de juego con fines educativos, de difusión y promoción turística a través de VR/AR. El objetivo final es ofrecer al usuario una experiencia inmersiva completa conduciéndolos a través del territorio

mientras aprenden sobre geología, paleontología, actividad humana, creencias o tradiciones de forma interactiva.

En este contexto, se propone una experiencia de realidad virtual desde el Mirador de Pas de Finestres (Fig. 1), sitio frecuentado por grupos de geólogos de todo el planeta para visualizar la estructura del anticlinal Boixols-Sant Corneli, catalogado como *Global Geosite* bajo el término anticlinal de Abella. Esta estructura forma el frente de la lámina cabalgante Boixols-Sant Corneli, unidad estructural significativa del Pirineo Central constituida por rocas del Mesozoico, e incorpora todos los elementos necesarios para evaluar el potencial de la RV/RA como método de transmisión del conocimiento geológico. Un registro geológico continuo desde el Cretácico Inferior hasta el Paleoceno, un contexto sedimentológico con secuencias pre, sin y post-deformación alpina muy bien preservadas; una geometría 3D de la estructura con variaciones estratigráficas y estructurales laterales y verticales, una buena comprensión de las condiciones paleoambientales marinas y continentales; un registro paleontológico extenso y detallado, especialmente sobre los dinosaurios que habitaron esta zona; y una cartografía geológica y geomorfológica de detalle.



FIGURA 1. Vista del anticlinal de Boixols-Sant Corneli desde el punto de realidad virtual.

MÉTODOS

El proceso para la producción de las animaciones de RV/RA incluye la recopilación de datos relevantes para la producción de modelos evolutivos de la zona desde finales del Triásico, pasando por las secuencias marinas del Cretácico a las facies continentales, el Paleógeno y hasta el presente, con especial atención a la reconstrucción de las condiciones paleoambientales y a la interacción de la fauna con el paisaje. También incluye la digitalización del entorno por medio de fotogrametría de alta resolución y escaneo 3D de afloramientos utilizando vuelos de drones y estaciones terrestres.

La reconstrucción digital de los paisajes geológicos a nivel científico se ha realizado mediante paquetes informáticos para la producción de modelos 3D de

estructuras geológicas. El programa comercial Gocad permite la producción de reconstrucciones geológicas en 3D. Los modelos a escala regional se basan en datos disponibles de superficie y del subsuelo (p. ej., Muñoz et al., 2018), asimismo se han generado nuevos cortes geológicos a escala local para la producción de modelos 3D de detalle y a alta resolución. Por otra parte, los modelos analógicos a escala llevados a cabo en el laboratorio de Geomodels han contribuido a reconstruir la evolución cinemática de las estructuras geológicas (p. ej., Ferrer et al., 2017). Estos modelos se han restituído para cada momento en el tiempo geológico y posteriormente se les aplica el modelo paleogeográfico que incorpora los diferentes paleoambientes.

Por otra parte, los modelos científicos de la fauna y flora de finales del Cretácico se basan en una extensa base de datos con modelos analógicos y digitales de restos fósiles de flora y fauna. Estos incluyen icnitas, huevos o coprolitos que ayudan a comprender la relación de la fauna con su entorno, a la vez que contribuyen a la realización de modelos paleoambientales de alta precisión. También se incluye información relativa a sus características osteológicas (forma de los huesos), proporciones biométricas (forma del esqueleto), presencia de tejidos blandos y su función (p. ej., tendones osificados, impresiones musculares), aspecto y textura externa (p. ej., aspecto de la piel fósil o patrones de coloración en plumas), limitaciones de movilidad y estrés biomecánico (p. ej., flexibilidad de cola y cuello o movimiento de la boca al masticar) y modelos de locomoción basados en rastros y huellas fósiles.

La animación de las escenas virtuales, en base a los modelos geológicos y paleontológicos aportados por el equipo científico son procesados por el equipo de modelado y de animación mediante software especializado en efectos visuales. Este “trasvase” de información desde los softwares técnicos y científicos a softwares artísticos es un camino inexplorado que el proyecto VIGEOCULT está recorriendo. El resultado final son imágenes y animaciones fotorealísticas (Fig. 2) de gran impacto visual y rigurosidad científica, que sirven para alimentar producciones audiovisuales y motores RV/RA. A través de la superposición de imágenes virtuales sobre las reales, utilizando dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas y gafas de RV, se ofrece al usuario una experiencia de visita inmersiva.

RESULTADOS

La prueba piloto ha generado una experiencia virtual completa que contribuye a evaluar las dificultades asociadas al proceso de producción de materiales transferibles desde un formato científico a un formato cinematográfico. Las series restituídas del

anticlinal de Boixols, sus correspondientes modelos paleogeográficos y corte geológico se han producido prestando especial atención a la etapa comprendida entre el Cretácico Inferior y el Paleoceno temprano, periodo en el que se producen los movimientos tectónicos divergentes y convergentes que determinan la geometría del frente de cabalgamiento. Paralelamente, las faunas de finales del Cretácico se modelan con base en la información disponible sobre la anatomía y biomecánica de los taxones seleccionados.

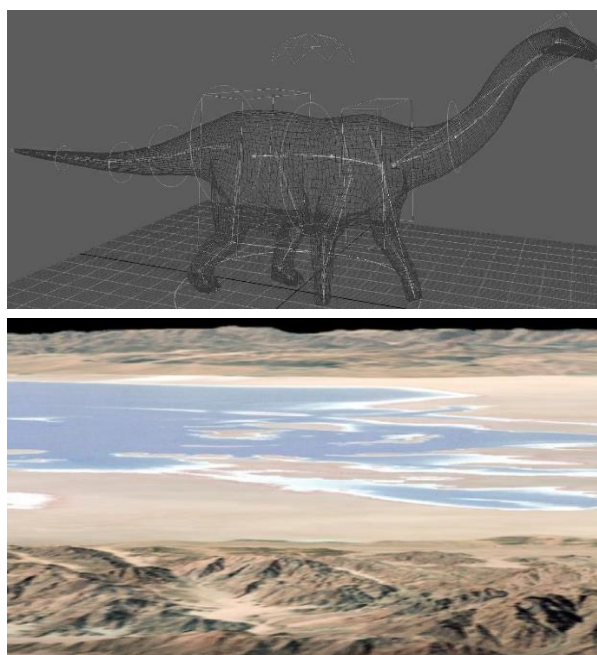


FIGURA 2. Arriba - Modelo de trabajo de animación de titanosaurios; Abajo - Recreación 3D del paisaje durante el Triásico Superior.

Todos estos elementos forman parte de los materiales que se entregan a los equipos de modelado y animación cinematográfica para la producción del modelo evolutivo. Otro elemento son las imágenes aéreas 4K recopiladas a través de vuelos con dron que permiten generar una versión digital a alta resolución del paisaje. Esta es la imagen que el usuario se encuentra al inicio de su experiencia, para seguidamente retroceder en el tiempo hasta finales del Triásico. A partir de este momento, se inicia una experiencia cronológica que avanza hacia el presente. Esta se acelera en períodos de menor actividad geológica y se ralentiza en los momentos que se considera que la comprensión de los procesos geológicos que se suceden, requiere de un mayor tiempo de exposición; y se detiene para mostrar momentos clave, como por ejemplo la interacción de los dinosaurios con su entorno.

DISCUSIÓN

Las tareas de investigación y las acciones de difusión generan una enorme cantidad de información

en una amplia variedad de formatos: fotografías, ortofotos, ilustraciones, vídeos planos, vídeos 360°, nubes de puntos, modelos virtuales, escenarios virtuales, simulaciones virtuales, etc. Por otro lado, existe una creciente demanda para ver y disfrutar de contenidos utilizando tecnologías de realidad virtual y aumentada, ya sea in situ, a través de localizaciones al aire libre, o de forma remota, desde cualquier lugar del planeta. El trabajo que aquí se presenta ilustra como el uso de nuevas tecnologías como el modelado 3D y la RV/RA ofrecida a través de dispositivos digitales ayuda a transmitir de forma simple y atractiva mensajes complejos y aproximan las Ciencias de la Tierra a la sociedad.

Los expertos en neuroeducación coinciden en que para adquirir conocimientos hay que emocionarse. La tecnología está transformando la forma de aprender en el aula y muchas escuelas se están interesando por la realidad virtual. La recreación de escenas de RV/RA permite a estudiantes, y al público en general, sentir los contenidos en lugar de simplemente leerlos o escucharlos. Además, la tecnología digital es una herramienta excelente para preservar y transmitir de forma eficiente el patrimonio a todos los niveles. Esta tecnología permite la concepción, diseño y producción de simulaciones virtuales de procesos geológicos de alta calidad y realismo, así como el análisis y desarrollo de las tecnologías, necesarias para incorporar las simulaciones sobre aplicaciones de RV/RA. La experiencia del anticlinal Boixols-Sant Corneli ilustra cómo emocionar y educar al público, ya sea desde el Mirador de Pas de Finestres donde el usuario se enfrenta al paisaje como remotamente a través de una pantalla.

Cabe destacar también que la experiencia generada se puede adaptar con fines educativos a todos los niveles, desde nivel de grado a nivel de escuela primaria. Mientras que, en el ámbito de la divulgación, esta es una excelente herramienta para atraer turismo al territorio y animarlo a conocer sitios poco visitados. La experiencia del anticlinal de Boixols-Sant Corneli se considera como una de las salas de un museo de realidad virtual al aire libre que se proyecta que abarque todo el territorio del geoparque con la producción de experiencias complementarias distribuidas y conectadas a través de rutas temáticas. Al final de estas, se planea el usuario sea capaz de comprender los procesos de formación de los paisajes que le rodean, a la vez que les proporcione una nueva manera de entender y relacionarse con el entorno.

CONCLUSIONES

El área del Geoparque Orígens es un laboratorio natural considerado un paraíso para la comprensión de los procesos geológicos. Sin embargo, la transferencia

de esta información a la sociedad continúa siendo un desafío. La metodología y los resultados presentados abren la puerta a una nueva forma de divulgar las Ciencias de la Tierra, a la vez que establecen una metodología para transferir datos científicos a formato cinematográfico para la construcción de experiencias de realidad virtual.

El trabajo presentado forma parte de un proyecto de realidad virtual basado en la comprensión de los procesos geológicos y se prevé que estas experiencias contribuyan, no solo a acercar el público a los a menudo abstractos y difíciles de transmitir conceptos geológicos, sino también a crear conciencia sobre la fragilidad del planeta y la importancia de cuidarlo.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado forma parte del Proyecto VIGEOCULT (PLEC2021-00793) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR.

REFERENCIAS

- Carvalho, C.N. (2014): Tourism in the Naturtejo Geopark, under the auspices of UNESCO, as sustainable alternative to the mining of uranium at Nisa (Portugal). *Procedia Earth and Planetary Science*, 8: 86-92.
- Crofts, R. (2019): Linking geoconservation with biodiversity conservation in protected areas. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7: 211-217.
- Farsani, N.T., Coelho, C. y Costa, C. (2011): Geotourism and geoparks as novel strategies for socio-economic development in rural areas. *International Journal of Tourism Research*, 13: 68-81.
- Ferrer, O., McClay, K. y Sellier, N.C. (2017): Influence of fault geometries and mechanical anisotropies on the growth and inversion of hanging-wall synclinal basins: insights from sandbox models and natural examples. *Geological Society, London, Special Publications*, 439(1): 487-509.
- Muñoz, J.A. (1992). Evolution of a continental collision belt: ECORS-Pyrenees crustal balanced cross-section. En: *Thrust Tectonics* (K.R. McClay, ed.). Springer, Dordrecht, 235-246.
- Muñoz, J.A., Mencos, J., Roca, E., Carrera, N., Gratacós, O., Ferrer, O. y Fernández, O. (2018): The structure of the South-Sentral-Pyrenean fold and thrust belt as constrained by surface data. *Geologica Acta*, 16(4), 439-460.
- Pásková, M., Zelenka, J., Ogasawara, T., Zavala, B. y Astete, I. (2021): The ABC Concept—Value Added to the Earth Heritage Interpretation? *Geoheritage*, 13(2): 1-25.