

Un paseo virtual por el Arco Ibero Armoricano

A virtual tour of the Ibero-Armorican Arc

D. Pastor-Galán¹, G. Gutiérrez-Alonso¹, A. B. Weil² y J. Fernández-Suárez³, S.T. Johnston⁴ y J.B. Murphy⁵

1 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de los Caídos s/n, 37008 Salamanca, Spain. dpastorgalan@usal.es

2 Department of Geology, Bryn Mawr College, Bryn Mawr, PA 19010, U.S.A.

3 Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense e IGEO-CSIC, 28040 Madrid, Spain

4 School of Earth & Ocean Sciences, University of Victoria, PO Box 3065 STN CSC, Victoria BC Canada V8P 4B2

5 Department of Earth Sciences, St. Francis Xavier University, Chapel Square, Antigonish, Nova Scotia, Canada, B2G 2W5

Resumen: Los contenidos dinámicos, como las animaciones, videos, representaciones 3D, etcétera son herramientas muy útiles para ilustrar los procesos geológicos, puesto que estos también son dinámicos. El avance de la tecnología ha hecho accesible la realización de este tipo de contenidos al público en general. Las revistas científicas permiten desde hace algún tiempo este tipo de contenidos, algunas en repositorios de datos y otras, más novedosas, incluyendo estos contenidos en el artículo en formato digital. Los investigadores tenemos la responsabilidad de desarrollar este tipo de contenidos para divulgar nuestra investigación, tanto en foros científicos como en clases o conferencias. Presentamos una aplicación web con contenidos dinámicos que ilustran los últimos descubrimientos realizados en el Arco Ibero Armoricano que muestran la compleja evolución en el tiempo de este oroclinal, su marco tectónico a escala local, regional y global y sus implicaciones en la modificación de la litosfera.

Palabras clave: contenido dinámico, animaciones, reconstrucciones 3D, oroclinal, Arco Ibero Armoricano.

Abstract: *Dynamic content features, such as animations, videos or 3D representations are useful tools to explain dynamic geological processes. Modern technologies permit development of animations that are more illustrative and instructive than the classic static figures traditionally used in scientific papers. In addition, the use of supplemental files in traditional journals, and especially within new electronic journals, permit inclusion of interactive content as an analogue to the dynamic nature of geological processes. It is the responsibility of researchers to develop this content in order to divulgate and teach our investigation. We present a web application containig dynamic animations based on the new interpretations of the Ibero-Armorican orocline in order to illustrate the complex evolution and timing of orocline formation, its tectonic setting on a regional and global-scale, and its implications for the modification of the lithosphere during orogeny.*

Key words: *dynamic content, animations, 3D reconstructions, orocline, Ibero-Armorican Arc.*

INTRODUCCIÓN

Desde su comienzo, las ciencias de la tierra siempre han estado muy unidas a las artes visuales. Es bastante anómalo encontrar un estudio geológico sin una detallada información visual (mapas, diagramas, cortes, columnas estratigráficas) que complementa, enriquezca y facilite la comprensión de las ideas más complejas. Hasta mediado el siglo XX, las ilustraciones en artículos de ciencias naturales consistían en ilustraciones, dibujos, o incluso pinturas a la acuarela (Merriam, 2009) y las clases y conferencias se impartían con ayuda de una pizarra. Muchas observaciones de campo se presentaban de esta manera. Así, muchas veces la ilustración no mostraba la observación real sino la interpretación del autor, haciendo los artículos muchas veces demasiado

subjetivos. La libreta de campo de un geólogo es todavía una buena colección de dibujos es esquemas pero en los artículos modernos, las charlas y las clases, estas figuras se han sustituido por fotografías digitales y figuras realizadas por ordenador. Además, la mejora de la tecnología ha permitido la generalización de presentación de diapositivas digitales que, cuando se utilizan correctamente, mejoran la comprensión de temas complicados por la audiencia. Sin embargo, en la gran mayoría de los artículos modernos y en las presentaciones ya sea en conferencias o clases, las figuras siguen siendo estáticas, es decir, se presentan series de secuencias de eventos discretos que no representan de forma suficientemente precisa la realidad dinámica de los procesos geológicos en tiempo y en espacio. Sin embargo, gracias el rápido avance de las tecnologías, ahora es sencillo generar figuras

dinámicas e interactivas, animaciones, videos, reconstrucciones en 3D y un largo etcétera de posibilidades que ilustran más robustamente todos los procesos geológicos y con ello nos ayudan a divulgar más sencillamente los avances en las ciencias de la Tierra. En este artículo usamos una aplicación web pensada para ilustrar mediante animaciones, videos, reconstrucciones 3D y figuras interactivas el desarrollo de cadenas de montañas (orógenos) curvados (e.g. van der Voo, 2004). La aplicación ha sido desarrollada en inglés para llegar al máximo de audiencia posible. La tecnología usada tanto para las animaciones y las figuras interactivas como para la aplicación es flash por su accesibilidad y facilidad a la hora de dibujar, hacer animaciones y programar funciones. Las reconstrucciones 3D se hicieron utilizando distintos paquetes de software. Para la modelización de imágenes de tomografía se usó un software diseñado en la universidad de Frankfurt para uso propio, para la elaboración de bloques diagrama se uso PETREL, mientras que para el dibujo y animación 3D se usó Blender.



FIGURA 1. Ejemplo de posible menú de la aplicación que permite navegar por los distintos aspectos tratados sobre el arco Ibero Armoricano. Cada uno de los enlaces lleva a un submenú (Fig. 2) donde, además de un pequeño texto explicativo, se pueden elegir el contenido dinámico.

GEOLÓGIA DE LOS ORÓGENOS CURVADOS Y EL ARCO IBEROARMORICANO

Los orógenos curvados, tanto modernos como antiguos, son muy comunes en todas partes del mundo.. La evolución de estos orógenos curvados se ha debatido desde el siglo XIX (Suess, 1885), aunque ha sido desde el desarrollo de la tectónica de placas cuando ha tenido más presencia (Carey, 1955; van der Voo, 2004). En este artículo seguimos la más reciente y sencilla clasificación para los orógenos curvados (Weil y Sussman, 2004). Ésta se basa en la cinemática de la formación de los arcos orogénicos y los tres términos que describe son: (1) arcos primarios, que son aquellos que no sufren rotaciones de eje vertical durante la formación del orógeno; (2) arcos progresivos, que son aquellos que sufren la rotación de eje vertical al mismo tiempo que se forma el orógeno y (3) arcos secundarios u oroclinales, que son arcos que han sido rotados

posteriormente a la formación del orógeno. Los oroclinales están entre las estructuras más grandes que se han formado en la Tierra desde que se tiene registro.

El Arco Ibero Armoricano es una gran estructura situada aproximadamente en el centro del cinturón Varisco del oeste de Europa, que es un complejo orógeno a escala continental (con unos 1000 kilómetros de ancho y 8000 de largo) que se formó después de varias colisiones continuadas en el tiempo, entre 420 millones de años (m. a.) y 310 m. a. antes del presente. La deformación Varisca representa la clausura de al menos dos (o incluso cuatro) océanos entre Laurentia, Báltica, Gondwana y muchas otros microcontinentes durante la amalgamación del supercontinente Pangea.

El Arco Ibero Armoricano se caracteriza por mostrar una curvatura de unos 180° de las estructuras variscas en su núcleo (Weil *et al.*, 2001). Esta curvatura se puede seguir desde la Bretaña francesa y el sur de las islas británicas, a través del mar Cantábrico y adentrándose en el oeste peninsular, donde finalmente desaparece bajo la cobertera mesozoica y cenozoica o es truncado por la cadena de montañas Bética. Suess (1885) ya reconoció la forma de arco de las estructuras y lo bautizó como la “Rodilla Astúrica” (Suess, 1885). Desde la observación geométrica inicial de Suess, esta porción del orógeno Varisco ha sido objeto de muchos estudios y un intenso y fructífero debate científico con el objetivo de comprender cuándo y cómo se formó este orógeno curvado (Julivert and Marcos, 1973; Pérez-Estaún *et al.* 1988; Weil *et al.*, 2001; Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004; Pastor-Galán *et al.*, 2011). En los últimos años y gracias a una importantísima base de datos paleomagnética y estructural (Weil *et al.*, 2001; Pastor-Galán *et al.*, 2011) se ha establecido que el Arco Ibero Armoricano es un oroclinal (arco secundario) que se formó inmediatamente después de la orogenia Varisca (entre hace 310 y 300 m. a.). Algunas de las últimas interpretaciones consideran este oroclinal como parte de un doble oroclinal que continuaría en la zona centro Ibérica.

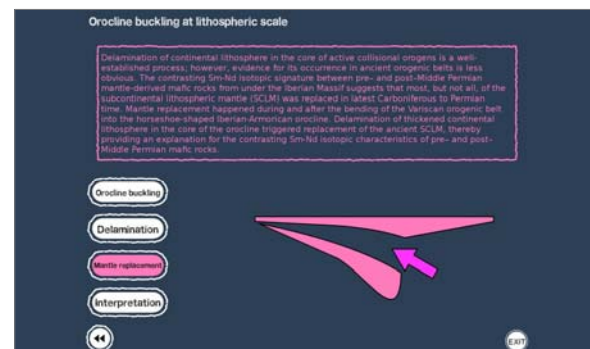


FIGURA 2. Submenú mostrando un pequeño texto explicativo además de poder elegir entre los distintos contenidos dinámicos para este apartado.

Gutiérrez-Alonso *et al.*, (2004) sugirieron un mecanismo de deformación litosférico para explicar la formación de esta estructura. El mecanismo de deformación propuesto para el Arco Ibero Armoricano es la deformación tangencial longitudinal (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004). Así, el arco externo sufrió extensión, mientras que el arco interno sufría acortamiento. Este mecanismo explica tanto la formación de cizallas post-orogénicas en el arco externo como la interferencia de pliegues observada en el arco interno (Julivert y Marcos, 1973). Además, un plegamiento litosférico de esta envergadura produciría una importante raíz litosférica en el núcleo del oroclinal, que se desestabilizaría y finalmente se hundiría en el manto astenosférico, mientras que en el arco externo esta litosfera se adelgazaría considerablemente. Ambos procesos permitirían el ascenso de la astenosfera, y consecuentemente de un flujo de calor muy elevado, como el que se ha observado en el Arco Ibero Armoricano (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004).

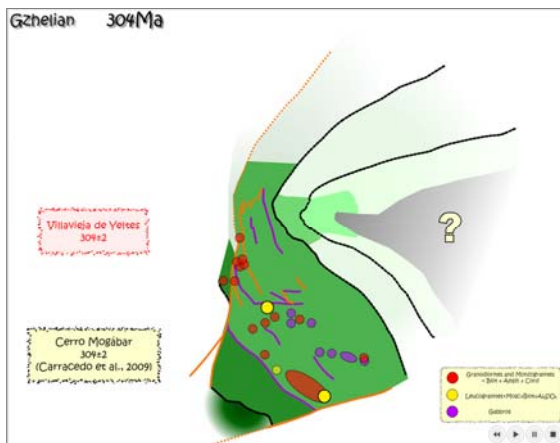


FIGURA 3. Captura de una de las animaciones. Todas las animaciones tienen unos controles situados en la parte inferior con los que se puede volver a la aplicación, parar la animación, empezarla de nuevo etcétera.

EL PASEO VIRTUAL

El paseo virtual que sugerimos consta de una aplicación web (Fig. 1) por medio de la cual se puede navegar a través de los distintos procesos que formaron el Arco Ibero Armoricano y de las consecuencias que su formación tuvo en la corteza superior, en la corteza inferior y en la litosfera mantélica.

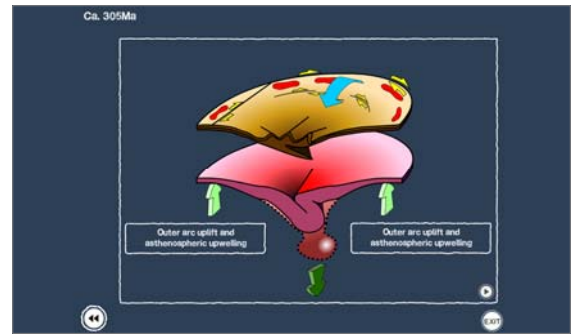


FIGURA 4. Captura de una figura dinámica. Al pasar el ratón por las distintas partes de la figura aparecen bocadillos de texto explicando qué es cada la zona pinchada. Esto permite almacenar una mayor cantidad de información en cada figura ocupando menos espacio y permitiendo un mayor tamaño para la parte gráfica de la figura.

Este menú, nos dirige a distintos submenús (Fig. 2) donde encontraremos pequeños textos explicativos y podemos seleccionar entre las animaciones (Fig. 3), figuras interactivas (Fig. 4) o modelos 3D disponibles (Fig. 5).

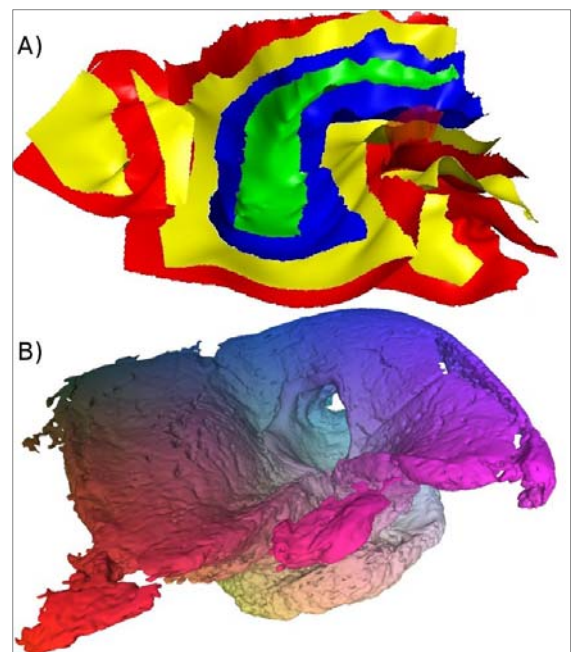


FIGURA 5. Dos capturas de las reconstrucciones 3D que podemos encontrar dentro de la aplicación. A) Reconstrucción 3D del manto de Somiedo. B) Resultado de la reconstrucción 3D de un modelo análogo de desprendimiento litosférico realizado con distintas clases de plastilina.

El paseo virtual consta de siete animaciones que explican la cinemática y la evolución litosférica del Arco Ibero Armoricano, seis representaciones 3D y tres videos, que muestran los resultados de la modelización análoga realizada para comprender los procesos litosféricos que se interpretan como ocurridos durante la formación del oroclinal, y cinco figuras interactivas

que muestran, entre otros aspectos, los modelos sugeridos para la formación litosférica.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte del proyecto IGCP de la UNESCO, No. 574. Agradecemos la financiación del proyecto ODRE II, CGL2009-1367 del Ministerio de Ciencia e Innovación. DPG está financiado por un contrato PIRTU de la Junta de Castilla and León.

REFERENCIAS

- Carey, S. W. (1955): The orocline concept in geotectonics. *Proceedings of the Royal Society of Tasmania*, 89: 255-288.
- Gutiérrez-Alonso, G., Fernández-Suárez, J., y Weil, A.B. (2004): Orocline triggered lithospheric delamination: *Geological Society of America Special Paper*, 383: 121-131.
- Julivert, M. y Marcos, A. (1973): Superimposed folding under flexural conditions in the Cantabrian Zone (Hercynian Cordillera, northwest Spain). *American Journal of Science*, 271: 353-375.
- Merriam, D.F. (2009): A LOST ART: Geological Illustrations. *GSA Today*, 19 (11): p. 30-34.
- Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J.L., Marquinez, J., Aller, J., Álvarez-Marron, J., Marcos, A., y Pulgar, J.A. (1988): A thin-skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: The Cantabrian Zone (Variscan Armorican Arc). *Tectonics*, 7: 517-537.
- Pastor-Galán, D., Gutiérrez-Alonso, G. y Weil, A.B. (2011): Orocline timing through joint analysis: Insights from the Ibero-Armorican Arc. *Tectonophysics*, 507 (1/4): 31-46.
- Suess, E. (1909): *The Face of the Earth*, traducido del alemán (Suess, E. 1885. *Das antlitz der erde*. F. Tempsky, Vienna) por H.B.C. Sollas y W.J. Sollas, 672 p. Clarendon, Oxford.
- Van der Voo, R. (2004): Paleomagnetism, oroclines, and growth of the continental crust. *GSA Today*, 14 (12): 4-9.
- Weil, A.B. y Sussman, A. (2004): Classifying curved orogens based on timing relationships between structural development and vertical-axis rotations. *Geological Society of America Special Paper*, 383: 1-17.
- Weil, A.B., van der Voo, R., y van der Pluijm, B.A. (2001): Oroclinal bending and evidence against the Pangea megashear: The Cantabria-Asturias arc (northern Spain). *Geology*, 29: 991-994.