

El uso de la Tomografía Computarizada (TC) como técnica sedimentaria: aplicación en testigos oceánicos de la Cuenca Interior de Galicia (NW margen Ibérico)

The use of the Computerized Tomography (CT) as a sedimentary technique: application in oceanic cores from the Galicia Interior Basin (NW Iberian margin)

Anxo Mena ⁽¹⁾, Pablo Aguiar ⁽²⁾, José Daniel Barreiro ^(3,4), Guillermo Francés ⁽¹⁾, Marta Pérez-Arlucea ⁽¹⁾, Andrés Barreiro-Lois ^(3,4) y Alfredo Iglesias ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Departamento de Xeociencias Mariñas e O. T., Facultade de CC. do Mar Universidade de Vigo, 36310, As Lagoas-Marcosende, Vigo. anxomena@uvigo.es, gfrances@uvigo.es, marlucea@uvigo.es

⁽²⁾ Fundación IDICHUS. Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela, 15706, Santiago de Compostela. pablo.aguiar.fernandez@sergas.es

⁽³⁾ Servicio de Diagnóstico por Imaxe, Hospital Veterinario Universitario Rof Codina, 27002, Lugo. josedaniel.barreiro@usc.es

⁽⁴⁾ Departamento de Ciencias Clínicas Veterinarias, Facultade de Veterinaria. Universidade de Santiago de Compostela, 27002, Lugo. andres.barreiro@usc.es

⁽⁵⁾ Departamento de Física de Partículas, Facultade de Física. Universidade de Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela. alfredo.iglesias@usc.es

ABSTRACT

The no-destructive techniques of core analyses are being more employed due to the quality and quantity of data that can be obtained without the requirement of the use of samples. These samples are then available to other kind of analyses. The Computerized Tomography (CT) is a technique few extended in sedimentology. The CT is relevant because it is possible to obtain physic parameters and high resolution images of the cores without the requirement of opening and sampling. In the present study the tomography images recorded across an E-W transect of the Galicia Interior Basin are showed, as well as the results of classical analyses from the same cores. The use of these data together with the description of the sedimentary units recognized and their elemental composition (obtained with XRF core scanner) allowed us a more detailed reconstruction of the basin. One of the applications of this technique is the identification of some sedimentary facies using only the tomography reconstruction, without the previous classical analyses of the cores. This fact could improve the quality of the sampling time and the optimization of the resources.

Key-words: Computerized Tomography (CT), tomographic-sedimentary interpretation, Galicia Interior Basin, Heinrich Events, Upper Pleistocene.

RESUMEN

Las técnicas no destructivas de análisis de testigos están siendo muy empleadas debido a la cantidad y a la calidad de los datos que pueden ser obtenidos sin el requerimiento del uso de muestras, pudiendo estas estar disponibles para otro tipo de análisis. La Tomografía Computarizada (CT) es una técnica poco extendida en sedimentología. El uso del CT en el análisis de testigos es importante debido a la posibilidad de obtener parámetros físicos e imágenes de alta resolución de los testigos sin la necesidad de abrirlos y muestrearlos. En el presente estudio se muestran las imágenes tomográficas de los testigos recogidos en un transecto E-W a lo largo de la Cuenca Interior de Galicia, junto con los resultados obtenidos mediante análisis clásicos en los mismos testigos. El uso de estos datos junto con la descripción de las unidades sedimentarias identificadas y su composición elemental (obtenida con XRF core scanner) permiten una reconstrucción de la cuenca más detallada. Una de las aplicaciones de esta técnica es la identificación de algunas facies sedimentarias usando sólo la reconstrucción tomográfica, sin análisis clásicos previos de los testigos. Este hecho podría mejorar la calidad del tiempo de muestreo y la optimización de los recursos.

Palabras clave: Tomografía computarizada (CT), interpretación tomográfica-sedimentaria, Cuenca Interior de Galicia, Eventos de Heinrich, Pleistoceno superior.

Geogaceta, 50-2 (2011), 149-152.
ISSN:2173-6545

Fecha de recepción: 15 de Febrero de 2011
Fecha de revisión: 28 de Abril de 2011
Fecha de aceptación: 27 de Mayo de 2011

Introducción

La gran cantidad de análisis que se llevan a cabo en los testigos oceánicos, especialmente los sedimentológicos y micropaleontológicos, limitan la cantidad de muestra para otros estudios, además del tiempo y recursos necesarios para llevarlos a cabo. De esta manera los análisis no-destructivos tienen un gran peso en los estudios paleo-

climáticos y paleoceanográficos, ya que de ellos se puede obtener gran cantidad y calidad de información, tanto composicional (XRF-Fluorescencia de Rayos X) como de las propiedades físicas (*Multi sensor core-logger*), usando, sin alterar, muestras de sedimento o con medidas continuas. Otra técnica no-destructiva es la Tomografía Computarizada (TC), que es un método de exploración no invasiva que utiliza rayos X

para la toma de imágenes tanto en 2D como en 3D siguiendo los planos espaciales que se consideren y que es la que se ha utilizado en este trabajo, junto con las anteriores técnicas destructivas y no-destructivas, para el análisis de varios testigos obtenidos en el Margen Atlántico de Galicia.

El objetivo principal de este trabajo es describir el uso de la TC como técnica sedimentaria no invasiva, así como comparar

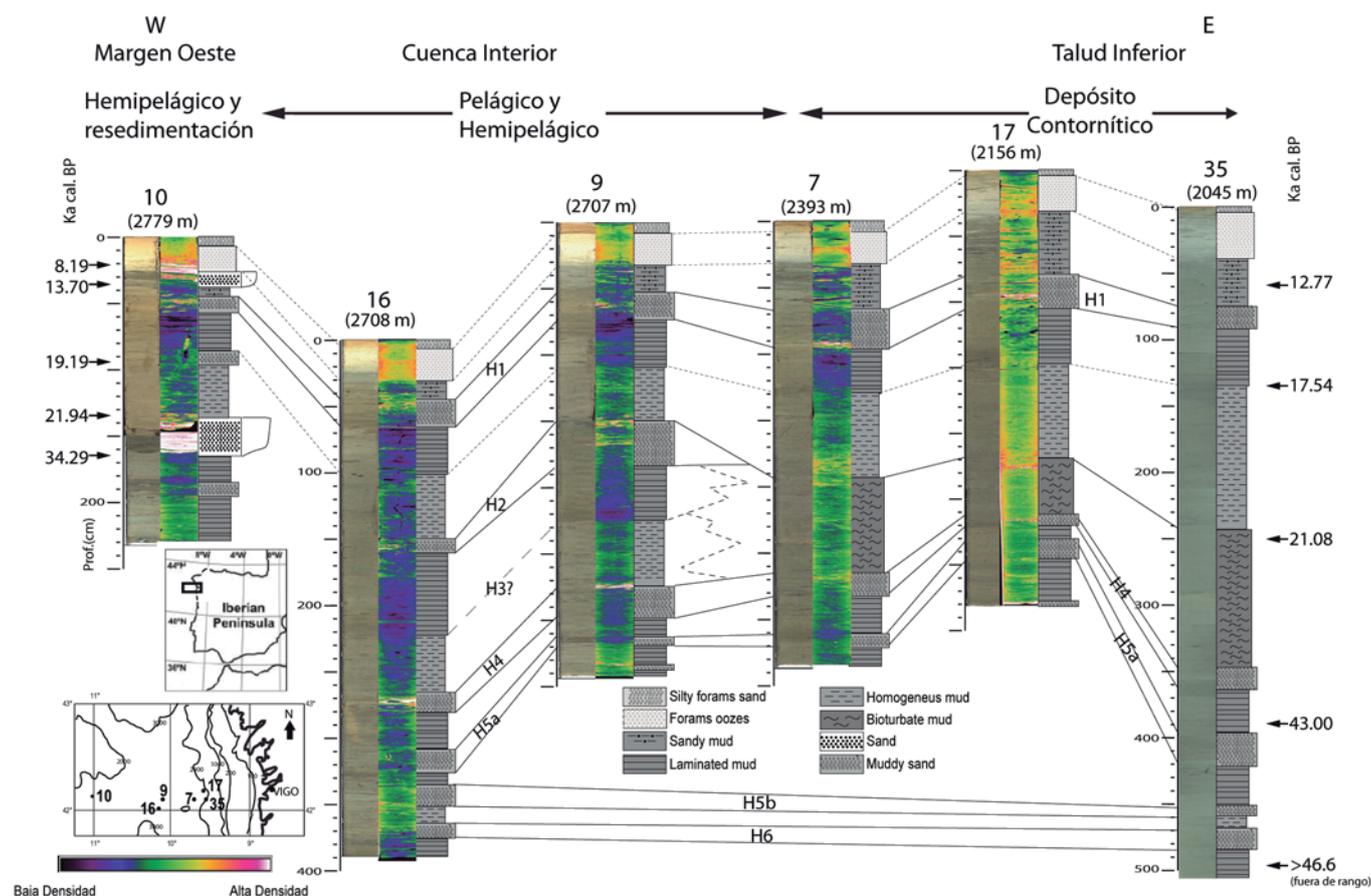


Fig. 1.- Fotografías, reconstrucción tomográfica, ¹⁴C AMS, litología y correlación de los testigos junto con su posición dentro del Margen Atlántico de Galicia a través de un transecto E-W en la Cuenca Interior de Galicia. (Modificada de Mena *et al.*, 2010)

Fig. 1.- Pictures, tomographic reconstruction, ¹⁴C AMS lithology and correlation of the cores and the position of the cores in the Atlantic Galician Margin in the E-W transect from the Galician Interior Basin (Modify from Mena *et al.*, 2010).

sus resultados con los obtenidos mediante otras técnicas no destructivas y mediante análisis sedimentológicos y micropaleontológicos clásicos. Las variaciones de las densidades radiográficas obtenidas con la TC permiten una visión general de los testigos, y la visualización de muy alta resolución de las diferentes estructuras sedimentarias en 2D y 3D. Esto permite una optimización del tiempo de análisis y de los costes, ya que se pueden identificar diferentes estructuras, facies, o variaciones texturales previamente a la apertura de los testigos de sedimento.

Material y métodos

En este trabajo se han estudiado 5 testigos de gravedad extraídos durante la campaña ForSaGal09 a bordo del B/O "Sarmiento de Gamboa" durante Febrero de 2009 a lo largo de un transecto latitudinal entre el talud continental de Galicia y el flanco oriental del Banco de Galicia, cruzando la Cuenca Interior de Galicia. Estos testigos fueron recuperados en los diferen-

tes ambientes sedimentarios que se encuentran en dicha cuenca y en sus márgenes (Tabla I).

Testigos	Lat.	Long.	Prof. (m)
GeoB-11035	42°10'	9°39'	2048
FSG09-07	42°10'	9°51'	2393
FSG09-09	42°10'	10°12'	2707
FSG09-10	42°11'	11°03'	2779
FSG09-16	41°59'	10°17'	2708
FSG09-17	42°16'	9°43'	2156

Tabla I.- Posiciones y profundidades de los testigos.

Table I.- Core positions and depth.

Todos los testigos fueron examinados en un equipo TC, Multidetector Volumétrico Helicoidal Multicorte ECLOS (HITACHI), en el Hospital Veterinario Universitario Rof Codina. El protocolo de exploración, diseñado especialmente para este estudio, consiste en la obtención de cortes transversales consecutivos de 0.625 mm de espesor en series de 50 cm, generando un total de 808 imágenes por serie.

La base de la exploración mediante TC reside en una fuente de rayos X que emite un haz de fotones colimado que rota 360° alrededor del objeto que se está explorando. La energía e intensidad de este haz de fotones se debe ajustar al tipo de material que se quiere examinar y vendrá determinado por los parámetros de exposición (kilovoltaje y miliamperaje-tiempo) que aplicamos al tubo generador de rayos X. En este caso se utilizaron 120 kV y 175 mA por segundo de rotación, necesitando 101 rotaciones para completar cada sección de 50 cm. La atenuación del haz emitido una vez atravesado el sedimento es convertida a medidas de densidad radiográfica mediante la asignación de niveles de gris asociados a la escala Hounsfield (Hounsfield *et al.*, 1973), donde el 0 es el valor de atenuación del agua y el -1000 es el valor del aire

El resultado es una imagen bi-tridimensional que representa una distribución de densidades radiográficas de cada una de las partes que forman el objeto. Mientras que las técnicas radiográficas clásicas

muestran una integral de las densidades radiográficas de una sección de sedimento con una única orientación, esta técnica muestra corte por corte todas las orientaciones y ángulos posibles, pudiendo apreciar en todo su conjunto, el sedimento con gran detalle.

Una vez obtenidas las imágenes y para cuantificar la densidad radiográfica de los testigos, los datos se procesaron mediante la definición de una región de interés de forma circular, correspondiente a la mitad del diámetro de los testigo (7 cm), centrada sobre el eje del testigo en la que se obtuvo el valor promedio de densidad radiográfica. El perfil de densidades se obtuvo repitiendo este proceso para cada uno de los cortes transversales obtenidos por sección, pudiendo así comparar los parámetros de densidad de todos los testigos que componen el transecto.

La visualización de las imágenes producidas se puede realizar a muy diferentes rangos, optimizando la escala de densidades según la región de interés a estudiar. Para la comparación de todos los testigos, la visualización en conjunto de las diferentes unidades, se utilizó la misma escala para apreciar la mayor variabilidad de densidades posible (Fig. 1).

Posteriormente a la TC, las secciones abiertas de los testigos se analizaron mediante XRF (XRF-core scanner, GRC Geociències Marines, Universitat de Barcelona) obteniendo así de una manera semi-cuantitativa la composición elemental del sedimento. Los testigos FSG09-10 y FSG09-16 se analizaron también con Multi sensor core-logger (Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals, CMIMA) para obtener medidas de susceptibilidad magnética y otros parámetros físicos. Además, se realizaron análisis texturales y micropaleontológicos a diferentes resoluciones de muestreo, en muestras de los testigos FSG09-10, FSG09-16 y GeoB 11035. La resolución del muestreo es de una muestra cada 4 cm y cada 5 cm para los testigos FSG09-10 y GeoB 11035 respectivamente, y de una muestra cada 2 cm para el testigo FSG09-16. Esta diversidad de datos permite realizar un análisis de múltiples marcadores (*multiproxy*) muy detallado de la mayor parte de los testigos, avalando las reconstrucciones e interpretaciones obtenidas a través de la TC y validando esta técnica como alternativa no invasiva.

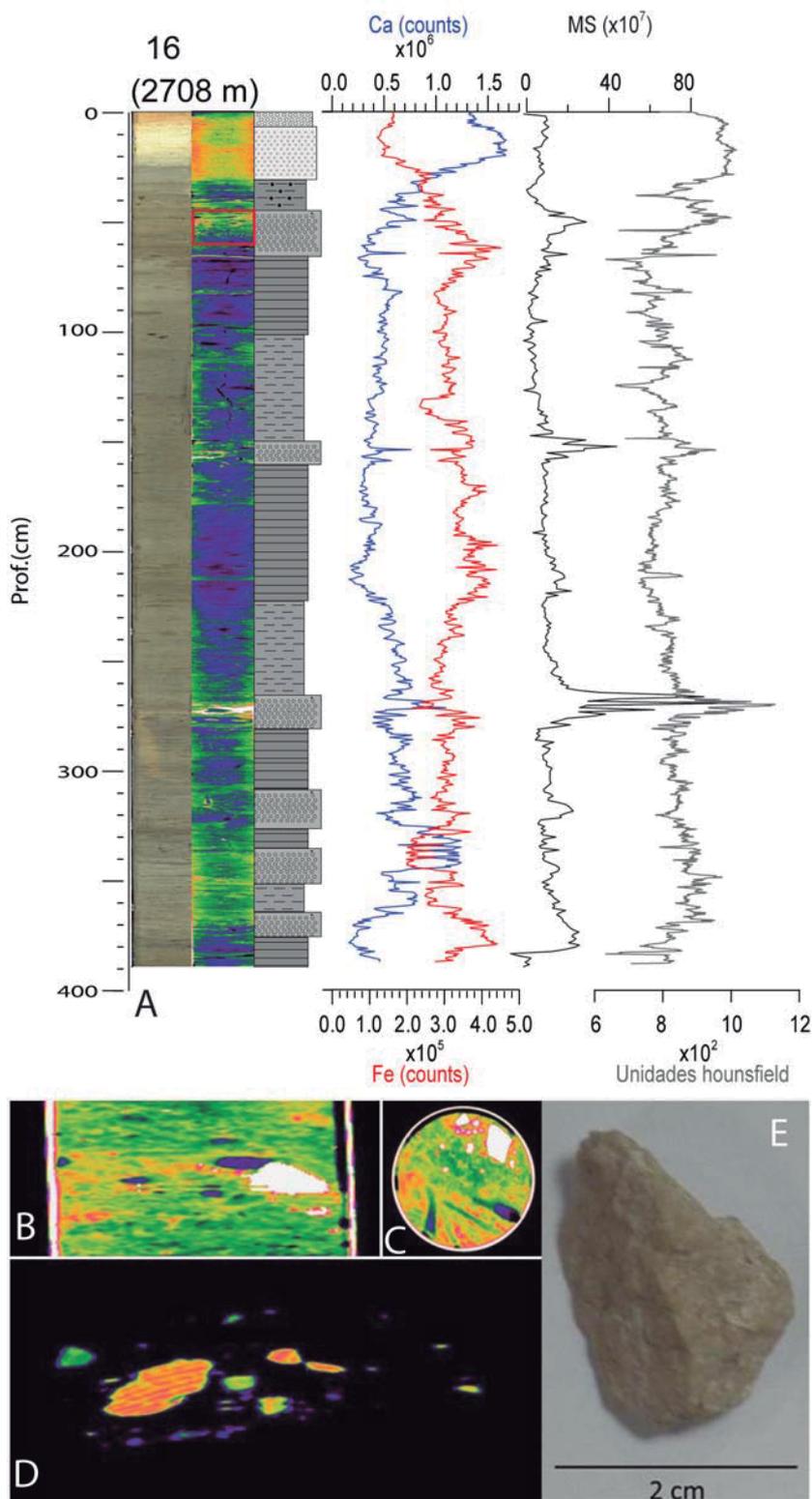


Fig. 2.- A) Ejemplo de análisis *multiproxy* de uno de los testigos del transecto (FSG09-16) donde se observa la abundancia de los elementos mayoritarios en el sedimento (calcio y hierro) junto con las medidas de susceptibilidad magnética (MS) y la reconstrucción del promedio de densidad radiográfica de la región de interés seleccionada (B, C y D: detalles de la región señalada con un cuadro rojo). B) Vista en corte longitudinal de la capa de Heinrich señalada (H1). C) Vista en planta axial del mismo corte. D) Vista 3D de la capa de Heinrich. E) IRD fotografiado una vez terminado el muestreo.

Fig. 2.- A) Example of the *multiproxy* analyses of one of the cores of the transect (FSG09-16) with the abundance of the main elements in the sediment (calcium and iron), the measurements of the Magnetic Susceptibility (MS) and the average reconstruction of the selected interest region. (B, C and D: red box detail). B) Longitudinal view of the Heinrich layer (H1). C) Axial View from the same slice. D) 3D view of the Heinrich layer. E) IRD picture after sampling.

Resultados y Discusión

El análisis de todos los testigos mediante el XRF, un *Multi sensor core-logger* junto con los datos micropaleontológicos y sedimentológicos permite establecer una reconstrucción bastante detallada de qué procesos han actuado en la Cuenca Interior de Galicia y en su bordes durante los últimos 70 ka y cuáles han sido los eventos climáticos más importantes que los han controlado (Mena *et al.*, 2010) (Fig. 1). En todos los testigos se encuentran claras evidencias de los Eventos de Heinrich (HE, Bond *et al.*, 1992). Los niveles donde se concentran los *ice rafted debris* (HE, Bond *et al.*, 1992) se identifican en las reconstrucciones tomográficas como picos de densidad, aportada sobre todo por granos de cuarzo y carbonatos.

La composición y densidad varían entre eventos debido a la procedencia de los icebergs (Grousset *et al.*, 1996), pero en cualquier caso contrasta claramente con la densidad de los tramos con IRD dispersos o ausentes.

Atendiendo a las características litológicas de los testigos, se han definido un total de ocho unidades que coinciden con las establecidas a partir de la TC, lo que permite la correlación entre los testigos estudiados (Fig. 1).

Estas unidades (Fig. 1) se pueden agrupar en cuatro grupos: las formadas en gran medida por foraminíferos (*Silty forams sand* y la *Forams oozes*), las arenas finas de los procesos gravitacionales (*Sand*), las unidades fangosas diferenciadas según la laminación y la bioturbación que presentan (*Sandy, laminated, homogeneous y bioturbated mud*) y las unidades correspondientes a los HE (*Muddy sand*). Además se observan cambios laterales en las unidades como por ejemplo, la disminución de la densidad hacia el Oeste. Un claro ejemplo se produce en las unidades de fangos laminados que

preceden a los HE, caracterizadas por una densidad relativamente elevada en el talud inferior, dominado en esta zona por procesos contorníticos (Mena *et al.*, 2010), mientras que dicha densidad es bastante menor hacia el centro de la cuenca, donde predomina la sedimentación pelágica y hemipelágica.

El análisis *multi-proxy* del testigo FSG09-16, situado en el centro de la Cuenca Interior de Galicia, permite observar todas las unidades identificadas excepto las correspondientes a procesos gravitacionales (Fig. 2), así como todos los HE del último ciclo glaciar, reconocibles por la presencia de capas con un alto contenido en IRD que pueden llegar a alcanzar más de 2 cm de diámetro (Fig. 2). Los IRD son fácilmente identificables en la reconstrucción tomográfica, tanto por la densidad individual de los granos (muy alta con respecto a la matriz de fango) como por la reconstrucción de densidades promediadas, también mucho más elevadas que en el resto del testigo. Estos niveles son también identificables por su susceptibilidad magnética característica, aunque la información obtenida mediante la curva de densidades radiográficas es mucho mayor y permite discernir la señal individual de cada IRD.

Conclusiones

La Tomografía Computerizada es una técnica con gran potencial en el estudio de testigos de sedimento. Esta técnica no destructiva permite el reconocimiento e identificación detallada de facies sedimentarias facilitando el estudio y correlación de testigos de sedimento con una menor inversión de recursos. La caracterización de la señal tomográfica de determinadas facies y su seguimiento a través, no sólo de la misma cuenca, sino de diferentes regiones es una línea de trabajo que queda abierta al uso de esta aplicación. La transforma-

ción de las densidades radiográficas a densidades relativas (Duchesne *et al.*, 2009) a través del análisis elemental de los testigos tiene también un gran potencial en el análisis de facies e ichnofacies (Gagnoud *et al.*, 2009). El estudio a muy alta resolución de secuencias sedimentarias, como las obtenidas en el presente trabajo, puede ser una potente herramienta tanto en las reconstrucciones paleoclimáticas como paleoceanográficas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a los proyectos GRACCIE (Consolider-Ingenio, CDS 2007-00067); CONTOURIBER (CTM 2008-06399-C04-01/MAR) y al contrato Sara Borrell (Exp: CD09/00291, Inst. de Salud Carlos III). Gracias al Hospital Veterinario Universitario Rof Codina (Lugo) y a la tripulación y técnicos del B/O "Sarmiento de Gamboa". Queremos agradecer tanto a Alfonso Muñoz como a otro revisor anónimo su ayuda en la mejora de este trabajo durante el proceso de revisión.

Referencias

- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W.S., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J.T., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Simet, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G. y Ivy, S. (1992). *Nature* 360, 245–249.
- Duchesne, M.J., Moore, F., Long, B.F. y Labrie, J. (2009). *Engineering Geology*, 103, 100-105.
- Gagnoud, M., Lajeunesse, P., Desrosiers, G., Long, B., Dufour, S., Labrie, J., Mermillod-Blondin, F. y Stora, G. (2009). *Engineering Geology*, 103, 106-111.
- Grousset, F.E., Cortijo, E., Huon, S., Hervé, L., Richter, T., Burdloff, D., Duprat, J. y Weber, O. (2001). *Paleoceanography*, 16, 240-259.
- Hounsfield, G.N. (1973). *Journal of Radiology*, 46, 1016-1022.
- Mena, A, Francés, G., Pérez-Arlucea, M., Hanebuth, T. y Nombela, M.A. (2010). *Geo-Temas*, 11, 123-124.