

# Geomodelización 3D de análogos aflorantes de reservorios sedimentarios: un ejemplo triásico

## 3D geomodelling of outcrop analogs of sedimentary reservoirs: a Triassic example

Luis Miguel Yeste<sup>1,2</sup>, Saturnina Henares<sup>1,2</sup>, Juan Fernández<sup>1,2</sup>, Teresa Teixidó<sup>3</sup>, José Antonio Peña<sup>3</sup> y César Viseras<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estratigrafía y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Av/ Fuentenueva s/n 18071 Granada, España.

<sup>2</sup>Sedimentary Reservoir Workgroup (SEDREGROUP). <http://www.sedregroup.com>

lmyyp@correo.ugr.es, shenares@ugr.es, jferdez@ugr.es, viseras@ugr.es

<sup>3</sup>Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos C/ Profesor Clavera N°12 18071 Granada, España.

tteixido@ugr.es, peruano@ugr.es

### ABSTRACT

From the geometrical, sedimentological and petrological characteristics derived from an outcrop and the core and well logging data of 4 boreholes in combination with 5 GPR lines (200 MHz), a 3D model of a layer of sandstone in TIBEM (Triassic of the Iberian Meseta, Spain) has been developed. The selected example corresponds to a meander belt. In it we have distinguished for modeling purposes the main highly sinuous channel, two successive point bars, multiple scroll bars and two chute channels, as well as a clay plug marking the phase of channel inactivity. The model obtained using the Petrel software shows fairly realistic heterogeneities within the reservoir, allowing the identification of areas with quite different values of porosity and permeability, controlled by the distribution of lithofacies among different sub-environments. The example reveals as an interesting outcrop analog to many fluvial reservoirs.

**Key-words:** Outcrop analogue, meanderbelt, facies, modelling, Triassic.

### RESUMEN

A partir de las características geométricas, sedimentológicas y petrológicas deducidas en afloramiento y con datos de testigos de 4 sondeos y sus diagrfias, en combinación con 5 líneas de GPR (200 MHz), se propone un modelo tridimensional de una capa de arenisca en el TIBEM (Cobertera Triásica de la Meseta Ibérica). El ejemplo seleccionado corresponde a un cinturón de meandros en el que se distinguen para su modelización el canal principal sinuoso, dos barras de meandro sucesivas, varias barras de scroll y dos canales de chute, además de un tapón de arcilla que marca la fase de inactividad del canal. El modelo obtenido mediante la aplicación del software Petrel muestra de manera bastante realista las heterogeneidades dentro del reservorio, diferenciándose zonas de muy distinto valor de porosidad y permeabilidad, controladas por la distribución de litofacies entre los distintos subambientes. El ejemplo se revela como un interesante análogo aflorante para muchos reservorios fluviales.

**Palabras clave:** Análogo aflorante, cinturón de meandros, facies, modelización, Triásico.

Geogaceta, 57 (2015), 95-98.  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de junio de 2014  
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2014  
Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2014

## Introducción

Las técnicas de modelización 3D de reservorios son una potente herramienta para optimizar la explotación de reservorios.

Los afloramientos de rocas sedimentarias han sido tradicionalmente una buena fuente de datos para realizar interpretaciones predictivas aplicadas a la exploración del subsuelo y a la explotación de yacimientos de hidrocarburos. El estudio de los afloramientos se ha venido incrementando para entender la geometría y arquitectura de los reservorios y evaluar los efectos que las variaciones que estos parámetros po-

dían tener sobre las operaciones de producción (Hutchinson *et al.*, 1961; Dodge *et al.*, 1971). Por otro lado, los afloramientos ofrecen la oportunidad de alcanzar muy precisas reconstrucciones de la arquitectura estratigráfica de formaciones detríticas. Por esto, su estudio contribuye a la optimización del entendimiento de arquitectura, geometría y distribuciones de facies de los reservorios en el subsuelo (Pringle *et al.*, 2006).

Los sistemas fluviales constituyen uno de los ambientes sedimentarios más estudiados y modelizados. Se caracterizan por un gran rango de variabilidad, desde gran-

des llanuras de inundación fluviales a llanuras costeras (Deviese, 2010). Sin embargo, la mayor dificultad presentada por los depósitos fluviales es el grado y amplitud de complejidad de la arquitectura general y la heterogeneidad de facies.

Los modelos estáticos de reservorios describen la geometría externa, la distribución de facies y las propiedades petrofísicas de las rocas en el subsuelo. Puesto que en reservorios clásticos las propiedades petrofísicas (p.ej., permeabilidad, porosidad) usualmente se correlacionan con las facies sedimentarias, los modelos de facies también permiten predecir la conectividad de la

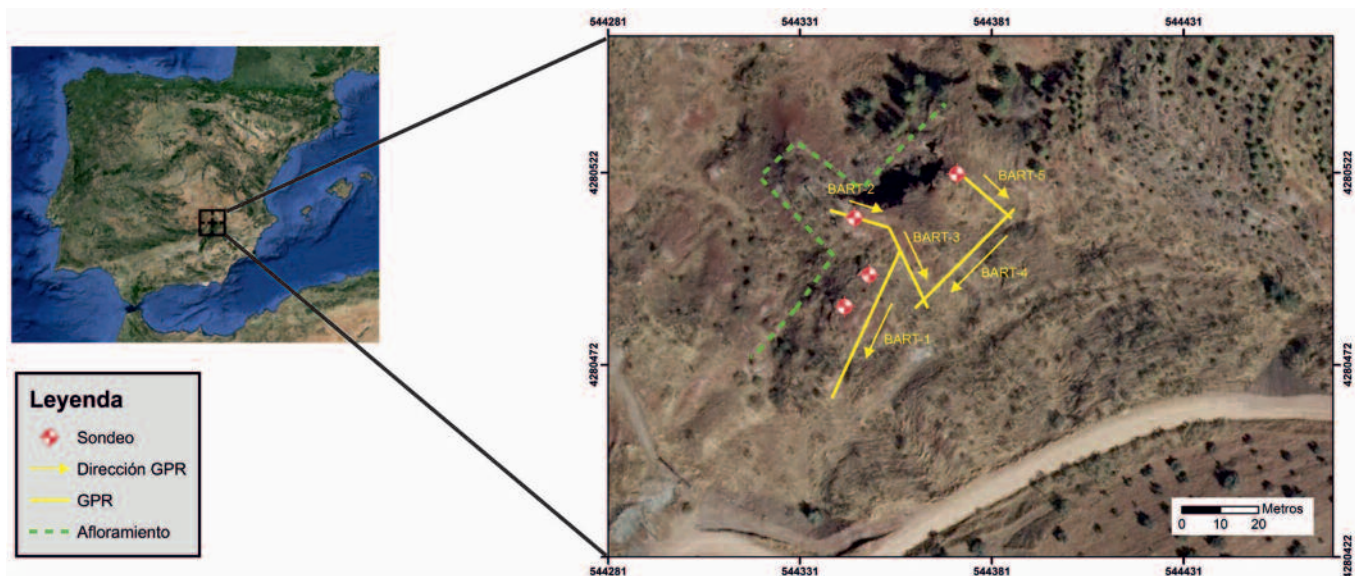


Fig. 1. - Ortophoto de localización de la zona de estudio en la que se muestra la ubicación de los sondeos y perfiles de georrádar realizados.

Fig. 1.-Orthophoto image of study area in which the location of the boreholes and GPR profiles is shown.

roca reservorio. Los modelos estáticos constituyen uno de los parámetros principales de entrada para la simulación de la circulación de fluidos (modelos dinámicos). La fiabilidad y calidad de los modelos de distribución de facies influirán en la predicción final (Cabello *et al.*, 2006).

El presente estudio muestra la metodología aplicada en la construcción de un modelo estático 3D de distribución de facies y petrofísico (distribución de porosidad y permeabilidad) en un análogo aflorante de reservorio detrítico. Estos modelos reproducen una capa de arenisca interpretada en trabajos previos (Henares *et al.*, 2014) como un cinturón de meandros, situada en las proximidades de la localidad de Alcaraz (Albacete) y correspondiente a la secuencia II del triásico de la Cobertera Tabular de la Meseta Ibérica (Figs. 1 y 2).

**Marco geológico**

El conjunto de capas rojas triásicas de la Cobertera Tabular de la Meseta Ibérica (Triassic of the Iberian Meseta: TIBEM; Viseras *et al.*, 2011; Henares *et al.*, 2014), corresponde a la formación Chiclana de Segura (López Garrido, 1971) de edad Ladinense-Noriense. Ésta se desarrolló en un contexto de rift continental. Este conjunto está constituido por sedimentos aluviales y costeros pertenecientes al Dominio Triásico Continental reconocido al Sur de la Península Ibérica (Fernández, 1977; Sánchez-Moya *et al.*, 2004; Fernández *et al.*, 2005).

La sucesión estratigráfica de este conjunto se ha dividido en 4 secuencias sedimentarias, cada una depositada bajo una situación concreta del nivel del mar, que actuó como nivel de base de los sistemas fluviales condicionando su arquitectura estratigráfica (Gil *et al.*, 1987; Fernández y Gil, 1989).

En Alcaraz, la sucesión, con unos 160 m de espesor, está compuesta exclusivamente por las secuencias II (Buntsandstein), III y IV (Keuper) (Fernández, 1977; Gil *et al.*, 1987; Fernández y Gil, 1989; Fig. 2).

Dentro de la secuencia II se han reconocido, entre otros, cuerpos de arenisca de geometría lenticular, continuidad lateral hectométrica y espesor inferior a la decena de metros, interpretados como el resultado sedimentario de la actuación de sistemas fluviales meandriformes (Viseras y Fernández, 2010). En una primera aproximación, su geometría interna consiste en una megaestratificación cruzada de acreción lateral del tipo epsilon (Allen, 1965), con unidades sigmoidales de capas de arenisca alternando con láminas de arcilla (Figs. 3 y 4).

Para este estudio se ha seleccionado uno de estos cuerpos (Fig. 3).

**Metodología**

La metodología seguida en este trabajo consiste en la integración de distintos grupos de técnicas de estudio. Se parte de un trabajo de campo basado en el reconocimiento y caracterización del afloramiento. A continuación se realiza la identificación

en los testigos de sondeo y sus diagráfias de los elementos arquitectónicos reconocidos en afloramiento. La recogida de datos se complementa con información de una campaña de georrádar. Finalmente, se concluye con el procesado e integración de todos los datos obtenidos para desarrollar un primer modelo conceptual de la capa en estudio y así alcanzar un modelo 3D estático del reservorio.

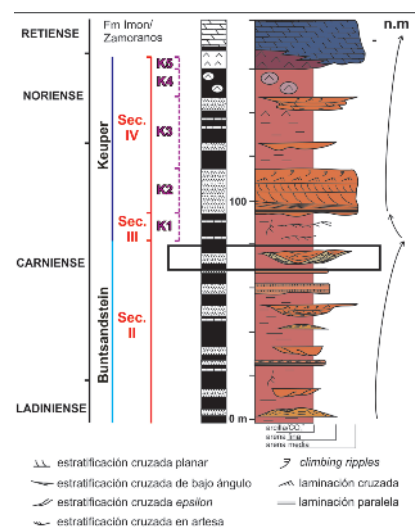


Fig. 2.- Sucesión estratigráfica sintética del TIBEM en el sector de Alcaraz. El recuadro indica la posición estratigráfica del cuerpo estudiado. Modified from Henares *et al.* (2014).

Fig. 2.- Synthetic stratigraphic succession of the TIBEM Fm in the Alcaraz sector. Box indicates the stratigraphic position of the study body. Modified from Henares *et al.* (2014).

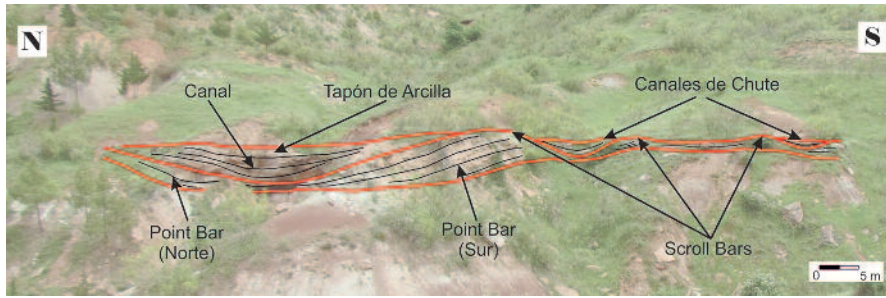


Fig. 3.- Fotointerpretación del afloramiento de la capa objeto de estudio.

Fig. 3.- Outcrop photo interpretation of the bed under study.

Descripción de afloramiento

El afloramiento ha sido escogido basándonos en la excelente preservación del cuerpo de arenisca, el grado de exposición y la accesibilidad.

En la interpretación a macroescala del afloramiento (Fig. 3) se concluye que nos encontramos ante un sistema fluvial meandriforme en el que podemos identificar los subambientes de canal, barra de meandro, barra de scroll y canal de chute.

Testigos de sondeo y diagrfías de pozo

Para la caracterización de subsuelo se han realizado 4 sondeos (MB1, MB2, MB3 y MB4) distribuidos a lo largo de todo el afloramiento (Fig. 1).

La campaña de testificación y perfilaje de pozos se ha realizado utilizando la Unidad de Perforación y Testificación de Rocas propiedad del Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

Se han obtenido testigos continuos de roca de 6 cm de diámetro, así como registros diagrficos de Rayos Gamma Total (GR), Rayos Gamma Espectral (SGR), Televisor Óptico (OBI) y Acústico (ABI).

Con la descripción de los testigos de sondeo y el apoyo de los registros de perfilaje realizados se han diferenciado las distintas litofacies identificadas en el afloramiento de estudio, determinando así los distintos subambientes de depósito en cada sondeo.

En los sondeos MB1 y MB2 se han identificado los subambientes de barra de scroll y canal de chute, mientras que en los sondeos MB3 y MB4 se diferencian los subambientes de barra de meandro y canal. Dentro del subambiente de canal se puede diferenciar claramente el periodo de abandono de éste, cuando queda ocupado por un tapón de arcilla.

Datos de georrádar

La campaña de GPR cuyos resultados se utilizan en esta modelización fue realizada en Junio de 2013, con la obtención de 5 perfiles de georrádar con una antena de 200 MHz (Fig. 1).

El principal objetivo de estos perfiles de georrádar era valorar el grado de detectabilidad de la estratificación de las areniscas, así como obtener información para completar la tridimensionalidad del cuerpo objeto del estudio (Fig. 4).

Porosidad y permeabilidad

Los datos de porosidad han sido obtenidos mediante porosimetría de inyección de mercurio (MICP), a partir de muestras seleccionadas en determinados puntos de los sondeos, según el objetivo a alcanzar. Los valores de permeabilidad han sido obtenidos basándose en los datos de MICP y la ecuación de Pittman (1992).

Estrategia de modelización

La estrategia de modelización diseñada para este trabajo ha sido la siguiente:

- (a) Construcción determinística de las

superficies que han sido interpretadas a partir de los datos de afloramiento, sondeos y georrádar.

(b) El siguiente paso de modelización ha sido la construcción de un mallado del área de estudio. Cada celda del modelo tiene una extensión de 1x1 metros.

(c) La siguiente etapa de modelización ha consistido en la integración de los datos obtenidos a partir de los sondeos y de laboratorio (para el caso de la porosidad y permeabilidad).

(d) La última etapa de modelización ha dado lugar a la determinación de los algoritmos que se han empleado para cada proceso así como la asignación de los distintos parámetros. Para el modelo de facies (Fig. 5) se ha empleado un proceso basado en modelización de objetos, mientras que para los modelos petrofísicos de porosidad y permeabilidad (Fig. 6) se han empleado métodos de interpolación basados en krigeaje.

Para la construcción de los modelos 3D se ha empleado el software Petrel, de Schlumberger.

Conclusiones

La modelización 3D de un cinturón de meandros triásico a partir de la geometría de los subambientes diferenciados, sus correspondientes litofacies y la geometría de subsuelo deducida con datos de sondeos, diagrfías y georrádar nos conduce a las siguientes conclusiones:

- 1) Los elementos que producen heterogeneidad sedimentaria reconocidos en el afloramiento estudiado son: canal, tapón de arcilla, barra de meandro, barra de scroll y canal de chute.
- 2) Los valores más altos de porosidad y permeabilidad se encuentran en el canal y en la barra de scroll.

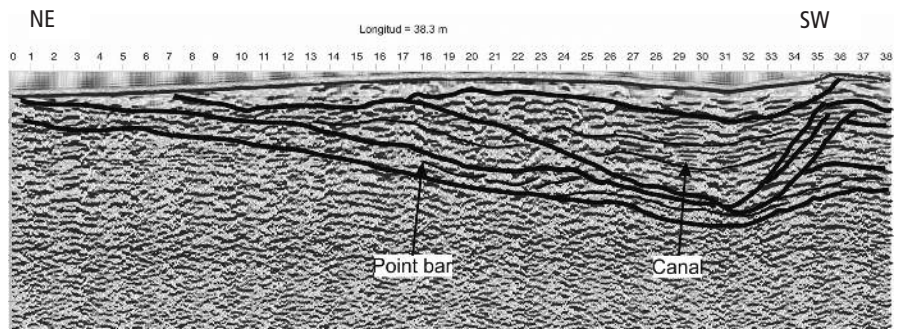


Fig. 4.- Interpretación del perfil de georrádar BART-4. Ver Fig. 1 para localización.

Fig. 4.- Interpretation of GPR profile BART-4. See Fig. 1 for location.

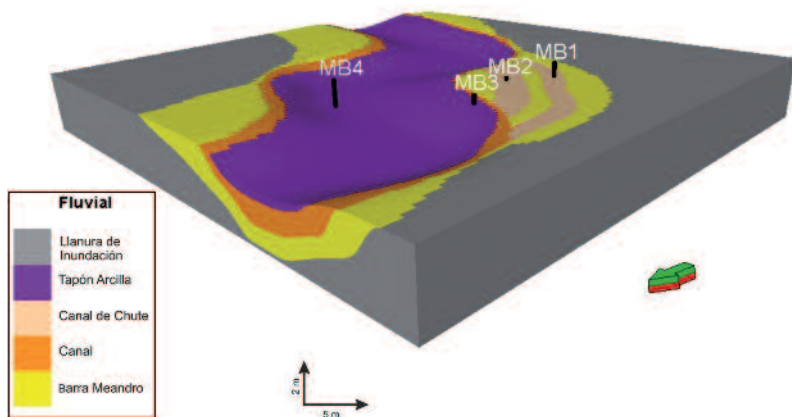


Fig. 5.- Modelo de facies mostrando la ubicación de los sondeos (MB1-4). La flecha de abajo a la derecha apunta al Norte.

Fig. 5.- Facies model. MB1-4 location of boreholes. The arrow at the right down corner points towards the north.

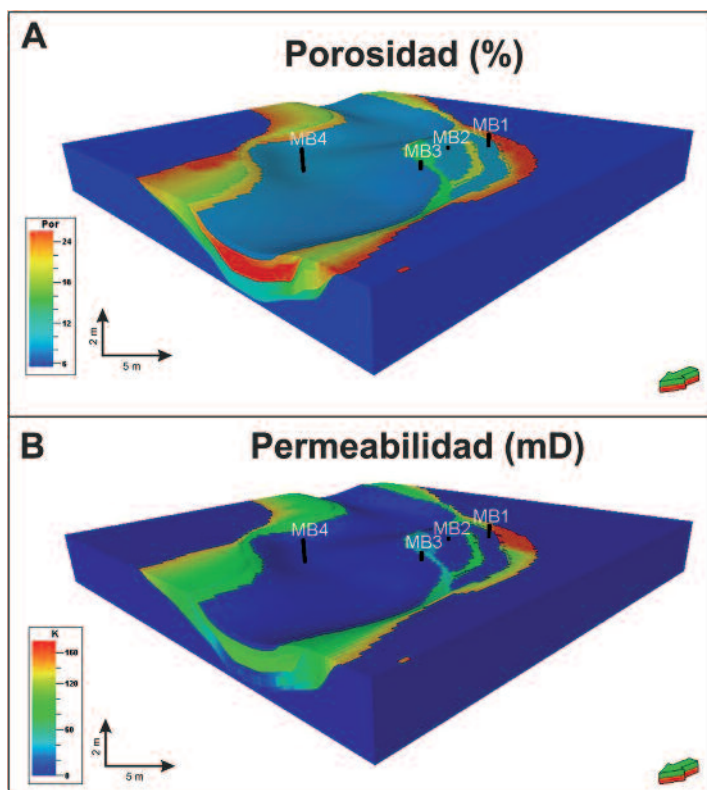


Fig.6. Modelo de distribución de porosidad (A) y de permeabilidad (B).MB1-4; localización de los pozos perforados. La flecha de abajo a la derecha apunta al Norte.

Fig.6. Porosity (A) and permeability (B) distribution model. MB1-4; location of boreholes. The arrow at the right down corner towards the north.

3) La estrategia de modelización diseñada ha permitido reproducir la heterogeneidad en la distribución de facies, obteniéndose una aproximación muy alta a los datos observados en afloramiento.

4) La bondad del modelo permite presentar este ejemplo como un interesante análogo aflorante para reservorios de origen fluvial en los que dominan cuerpos de arenisca debidos a la dinámica de canales de alta sinuosidad.

**Agradecimientos**

La financiación para este trabajo ha corrido a cuenta del proyecto CGL 2013 43013 R (MINECO-FEDER) y del Grupo RNM 369 del Plan Andaluz de Investigación. Agradecemos a Schlumberger la concesión de la licencia 2-1394908 de Petrel, a La Consejería de Agricultura de la Junta de Castilla-La Mancha, al Ayuntamiento de Alcaraz y a D. Bartolo y Dña María Alcázar por

la concesión de los permisos para el trabajo de campo. Igualmente mostramos nuestra gratitud a CEPESA E.P., REPSOL, CRIMIDESA y DEGSA por el apoyo manifestado a este proyecto de investigación. La calidad del trabajo ha mejorado notablemente en atención a los comentarios de los Dres. F. García (Univ. Jaén) y S. Pla (Univ. Heriot-Watt); y a las sugerencias editoriales del Dr. I. Arenillas.

**Referencias**

Allen, J.R.L. (1965). *Sedimentology* 5, 89-191.

Cabello, P., López-Blanco, M., Falivene, O., Arbués, P., Ramos, E., Cabrera, L. y Marzo, M (2006). *Geo-Temas* 9, 45-48.

Deviese, E.S.J. (2010). *Modeling Fluvial Reservoir Architecture using Flumy Process*, Delft University of Technology, The Netherlands, 92 p.

Dodge, C.F., Holler, D.P. y Meyer, R.L. (1971). *AAPG Bulletin* 55, 1814-1820.

Fernández, J. (1977). *Sedimentación triásica en el borde Sureste de la Meseta*, Univ. de Granada, 173 p.

Fernández, J. y Gil, A. (1989). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 2, 114-124.

Fernández, J., Viseras, C. y Dabrio, C. (2005). *Triassic fluvial sandstones (Central South Spain): an excellent analogue for the TAGI reservoir of Algeria*. 67th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, España. Field Guide F1.

Gil, A., Fernández, J. y López-Garrido, A.C. (1987). *Cuadernos de Geología Ibérica* 11, 403-420.

Henares, S., Caracciolo, L., Cultrone, G., Fernández, J. y Viseras, C. (2014). *Marine and Petroleum Geology* 51, 136-151.

Hutchinson, J.R., Dodge, C.F. y Olasek, T.L. (1961). *Journal of Petroleum Technology* 13, 223-230.

López Garrido, A.C. (1971). *Geología de la Zona Prebética al NE de la Provincia de Jaén*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 371 p.

Pittman, E. (1992). *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 76, 191-198.

Pringle, J.K., Howell, J.A. y Hodgetts, D. (2006). *Firts Break* 24, 33-42.

Sánchez-Moya, Y., Arribas, J., Gómez-Gras, D., Marzo, M., Pérez-Arlucea, M. y Sopena, A. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.). SGE-IGME, Madrid, 484-485.

Viseras, C. y Fernández, J. (2010). En: *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria* (A. Arche, Ed.). CSIC, 261-298.

Viseras, C., Fernández, J., Henares, S. y Pla-Pueyo, S. (2011). En: *28th IAS Meeting of Sedimentology*. Zaragoza. Abstract Volume, 107.