

Análisis gravimétrico y magnético de estructuras diapíricas en el offshore de la cuenca de Asturias

Gravimetric and magnetic analysis of salt diapirs in the offshore of the Asturias basin

Miguel Ángel de la Fuente¹, Alfonso Muñoz Martín¹, Antonio José Olaiz² y Gonzalo Zamora²

¹ Depto. GEODESPAL, Univ. Complutense. C/ José Antonio Novais 2, 28040 – Madrid (España). miguelde@ucm.es, amunoz@ucm.es

² Repsol, Exploration Technical Service. C/ Méndez Álvaro, 44, 28045 Madrid (España). antoniojose.olaiz@repsol.com, gzamora@repsol.com

RESUMEN

En este trabajo se analizan mediante campos potenciales (gravimetría y magnetismo) las estructuras salinas interpretadas previamente en el offshore de la Cuenca de Asturias. Para ello se han realizado los mapas de anomalías y tres modelos en 2+3/4D GRAV/MAG con datos coincidentes con un cubo sísmico 3D adquirido por Repsol en 2008. El análisis cuantitativo de los mapas y la modelización en 2+3/4D ha permitido reinterpretar la estructura del basamento y de las estructuras salinas hasta ajustar la señal GRAV/MAG. Estas modificaciones son significativas por debajo de los niveles de evaporitas, destacando la necesidad de introducir menor cantidad de sal, y una reinterpretación de la geometría del techo del basamento.

Palabras clave: gravimetría, magnetismo, Cuenca de Asturias, tectónica salina, margen Cantábrico

Geogaceta, 69 (2021), 59-62
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción y objetivos

El margen continental del norte de la Península Ibérica ha sido de interés para la industria petrolera desde los años 70. En él se han realizado diversas campañas geofísicas en las cuales se han tomado multitud de perfiles sísmicos y se han realizado varios pozos de exploración. La Cuenca de Asturias se localiza en el Margen Ibérico Norte, el cual se sitúa al sur del Golfo de Vizcaya, donde predominan estructuras con dirección E-O (Fig. 1). Este margen pasivo inicialmente constituyó un rift mesozoico a favor de fallas normales en dirección NW-SE (Gallastegui *et al.* 2002) que fue parcialmente invertido durante la orogenia alpina, la cual provocó la reactivación de las fallas y el desarrollo de otras en dirección E-O provocando el cierre parcial del Golfo de Vizcaya. El basamento de la Cuenca está constituido principalmente por cuarcitas y pizarras paleozoicas y está rellena de forma asimétrica por materiales mesozoicos como evaporitas, carbonatos, margas y en ocasiones niveles arenosos (Riaza, 1996).

El objetivo de este trabajo es contrastar las interpretaciones sísmicas de dia-

piros salinos realizadas en el offshore de la Cuenca de Asturias mediante técnicas geofísicas de campos potenciales naturales (gravimetría y magnetismo).

Para alcanzar este objetivo se han realizado una serie de procesados e interpretaciones de los datos GRAV/MAG, incluyendo la realización de modelos en 2+3/4D sobre secciones sísmicas interpretadas por Zamora *et al.* (2017) correspondientes a un cubo sísmico 3D adquirido por Repsol en 2008.

Datos utilizados y métodos

Se han utilizado datos bibliográficos sobre la estructura y estratigrafía de la cuenca, registros de pozos de la zona, y datos geofísicos recogidos durante la campaña de Repsol de 2008 que, además de los datos sísmicos, contienen los registros de las medidas gravimétricas, magnéticas y de batimetría multihaz.

Zamora *et al.* (2017) identifican y describen una serie de estructuras diapíricas a partir de la interpretación de los datos sísmicos y de pozo, si bien queda patente la dificultad de definir los límites de las estructuras intrusivas, así como la geo-

ABSTRACT

In this work a potential field analysis (gravimetry and magnetism) of the salt structures interpreted in the offshore of the Asturias Basin. For this purpose, 2D processing of the anomaly maps and three models in 2+3/4D GRAV/MAG have been carried out with the data that coincide with a 3D seismic cube acquired by Repsol in 2008. The quantitative analysis of the maps and modeling has allowed the reevaluation of the structure of the basement and salt structures until adjusting the GRAV/MAG signal. These modifications are significant below the levels of evaporites, highlighting the need to introduce less salt, and a new geometry of the basement top.

Key-words: gravimetry, magnetism, Asturias Basin, salt tectonics, Cantabrian margin.

Fecha de recepción: 19/06/2020
Fecha de revisión: 23/10/2020
Fecha de aceptación: 27/11/2020

metría de la serie pre-salina y del techo del basamento. Este trabajo se centra en tres de las secciones sísmicas interpretadas por Zamora *et al.* (2017) (Figs. 1 y 2).

Además de los horizontes interpretados por estos autores y la proyección de los horizontes del pozo Asturias D-2BIS en el modelo 4a, se han utilizado los datos de velocidades sísmicas dinámicas, los valores de diagráfias sónicas y de densidad del pozo Asturias D-1 (Fig. 1) para establecer las relaciones Vp/densidad de los materiales de la zona, y poder convertir las secciones en tiempo a profundidades.

En la primera fase de análisis, se recalcularon los valores de anomalía completa de Bouguer con una densidad de reducción de 2.2 g/cm³ para acentuar los contrastes de densidad entre las sales y los sedimentos mesozoicos; y los valores de anomalía magnética reducida al polo. Los mapas de estas dos anomalías se muestran en la figura 2, (A y B). Posteriormente se han obtenido mapas de anomalías regionales calculando la prolongación analítica hacia arriba (4000 m) de ambas anomalías (Dentith y Mudge, 2014), utilizada para calcular

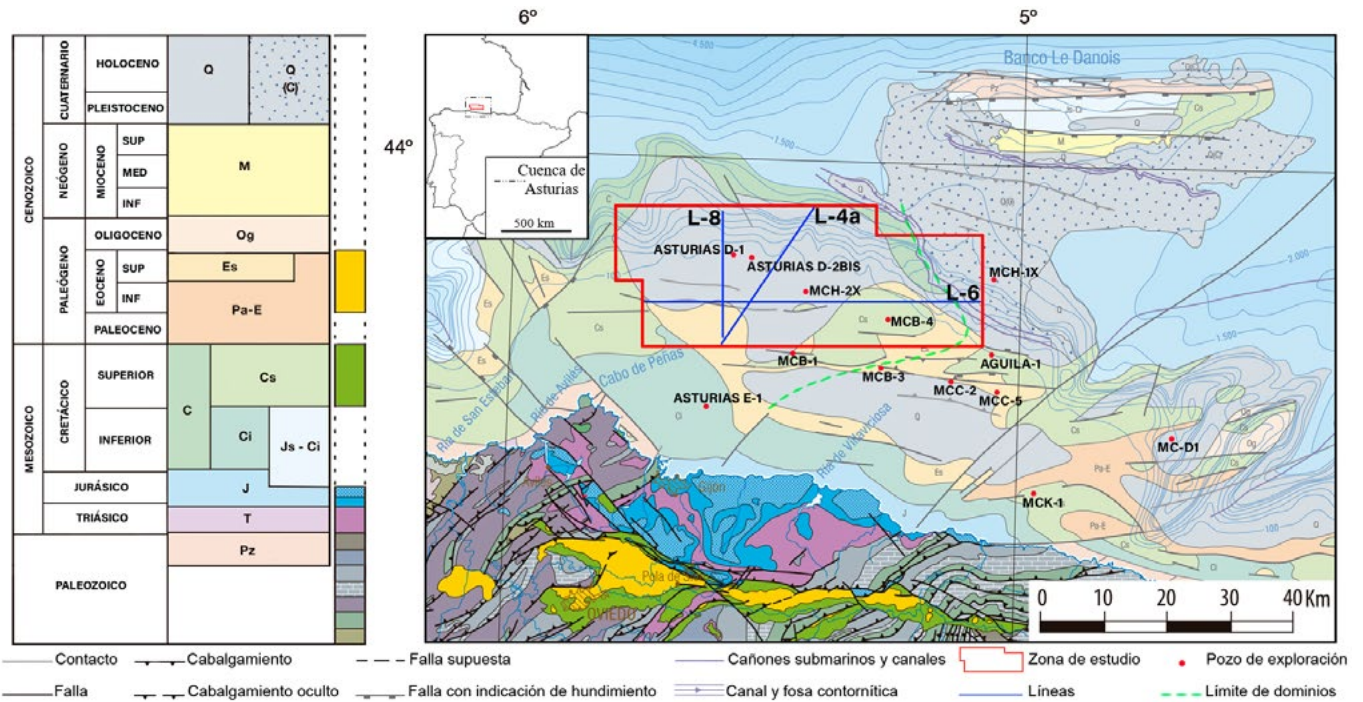


Fig. 1.- Mapa geológico de la costa asturiana y margen continental extraído del Mapa Geológico de España y Portugal escala 1:1.000.000. Rodríguez Fernández, L.R y Olivera, J.T. (2015). El marco rojo limita el cubo sísmico 3D analizado por Zamora et al. (2017), y las líneas azules la posición de las secciones modelizadas.

Fig. 1.- Geological map of the Asturian coast and continental margin extracted from the Geological Map of Spain and Portugal scale 1:1,000,000. Rodríguez Fernández, L.R and Olivera, J.T. (2015). The red frame limits the 3D seismic cube analyzed by Zamora et al. (2017), and the blue lines the position of the modeled sections.

las anomalías residuales respectivas sus trayendo la malla de anomalía regional a la de anomalía completa (Fig. 2, C y D). Además, para definir los principales contrastes de susceptibilidad magnética y densidad, se han calculado los gradientes (vertical y total horizontal) de ambas anomalías. Esto ha permitido definir máximos, mínimos y zonas de gradiente de las anomalías, utilizados para identificar posibles zonas con gran acumulación de sales, depocentros, o aquellas donde el basamento se encuentra más elevado.

La segunda fase ha consistido en la elaboración de modelos en 2+3/4D de cada línea sísmica a partir de la anomalía de Bouguer y la anomalía magnética reducida al polo a lo largo las tres líneas de la figura 2. Para ello se han convertido los horizontes sísmicos de escala de tiempos dobles (segundos) a profundidades (metros) utilizando los registros sónico y de densidad del pozo Asturias D-1. Para la asignación de densidades a los materiales, además de los datos de pozo, también se han utilizado curvas empíricas (Gardner et al., 1974) y para la susceptibilidad se ha partido de un valor medio de la corteza continental (Hunt et al. 1995) para el basamento asumiendo valor nulo en la cobertera y la ausencia de magne-

tizaciones remanentes. Para la ubicación preliminar de la base de la corteza se ha tenido en cuenta el trabajo de Gallastegui et al. (2002).

El procesado de los datos, y el cálculo de mallas se ha realizado con el software de Geosoft Oasis montaj en el que se encuentra integrada la herramienta GMSYS con la que se han construido los modelos gravimétricos y magnéticos.

El ajuste de los modelos se ha realizado construyendo con los datos de pozo y de los horizontes sísmicos publicados previamente por Zamora et al. (2017). El ajuste de las anomalías se ha realizado de mayor a menor longitud de onda: en primer lugar, se ha ajustado la posición del moho y del basamento. En segundo lugar se ha modelizado la cobertera sedimentaria por encima del techo de la sal, y, por último, se han modificado los límites laterales de los cuerpos salinos, así como la secuencia presalina.

Resultados

Los resultados del ajuste de los tres modelos se muestran en la figura 3. En general, y tal y como mostraban los mapas de anomalías, se distingue una zona en el sur con un basamento elevado, y una zona en el centro y norte del área

estudiada que presenta elevadas potencias sedimentarias e importantes acumulaciones de evaporitas. Al calcular la señal teórica de los modelos de partida se observaron importantes desajustes tanto en la señal magnética como gravimétrica.

Para el ajuste del basamento ha sido necesario elevarlo en algunos sectores, y reducir los saltos de falla en los extremos de los modelos. En la cobertera el cambio más destacable ha sido la introducción de importantes cantidades de anhídrita en la base de los diapiros de los modelos, aumentando la cantidad de sal que sugería la interpretación sísmica de Zamora et al. (2017) (Fig. 3). Por otra parte, ha sido necesario modificar la geometría de los límites laterales de algunos de los diapiros interpretados previamente a partir de la información sísmica.

Un aspecto relevante es que la mayor parte de las estructuras diapíricas se localizan por encima de importantes fallas de basamento reactivadas durante la tectónica alpina.

Finalmente, los datos gravimétricos han permitido identificar y definir una estructura diapírica que no había sido interpretada previamente, y que se encuentra situada en el extremo occidental del Modelo 6 (Fig. 3).

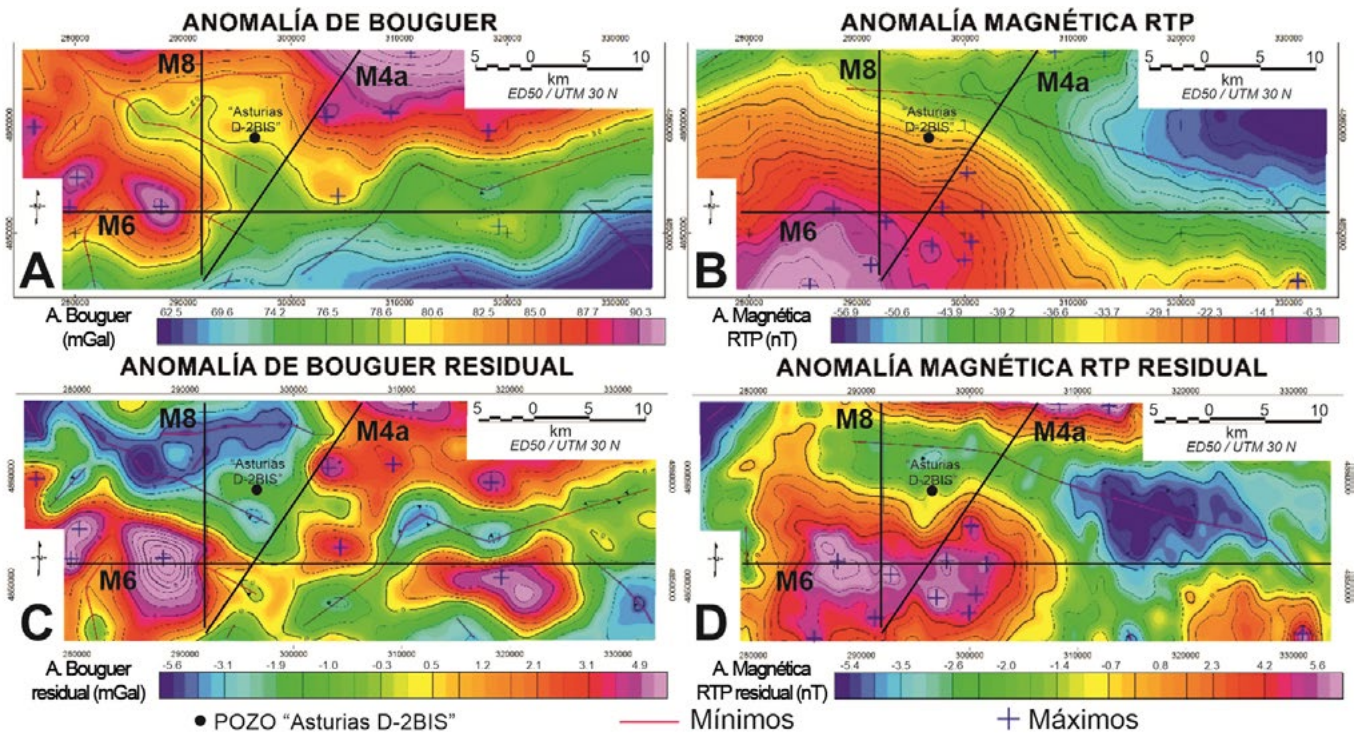


Fig. 2.- Arriba: mapas de anomalía gravimétrica de Bouguer (A) y de anomalía magnética reducida al polo (B) del cubo sísmico analizado. Abajo: Mapas de anomalías de Bouguer residuales (C) y de anomalía magnética reducida al polo residuales (D). Las líneas negras marcan la posición de los tres modelos GRAV/MAG ajustados en la figura 3. Los nombres de las secciones son los mismos que los utilizados por Zamora et al., 2017, para facilitar su comparación.

Fig. 2.- Above: Maps of Bouguer gravimetric anomaly (A) and reduced magnetic anomaly to the pole (B) of the seismic cube analyzed. Below: Maps of residual Bouguer anomalies (C) and of reduced magnetic anomaly to the residual pole (D). The black lines mark the position of the three GRAV / MAG models adjusted in figure 3. The names of the sections are the same as those used by Zamora et al., 2017, to facilitate their comparison.

Discusión y conclusiones

La utilización y análisis cuantitativo de los datos gravimétricos y magnéticos ha permitido reinterpretar la estructura del sector analizado de la Cuenca de Asturias definido previamente a partir de la interpretación sísmica.

La interpretación de los mapas de anomalías y gradientes ha permitido redefinir la estructura del basamento (altos y bajos estructurales) y de la cobertera (depocentros y diapiros). La presencia de diapiros en la zona de estudio se refleja únicamente en la anomalía gravimétrica, mediante mínimos de corta longitud de onda. La mayor parte de las estructuras diapíricas se desarrollan por encima de importantes fracturas de basamento, que además de controlar el espesor de las unidades triásicas, han debido nuclear parte de la deformación compresiva alpina.

El análisis de las anomalías y gradientes magnéticos han permitido definir la geometría del techo del basamento y las estructuras que lo limitan, por debajo de los niveles salinos triásicos. Esta información ha sido fundamental para ajustar mediante gravimetría la estructura de la

cobertera. Los modelos GRAV/MAG en 2+3/4D han permitido reinterpretar las líneas sísmicas aportando importantes cambios que van más allá de la presencia o ausencia de sales. Las principales modificaciones deducidas respecto a la interpretación previa son:

a) Ha variado significativamente la profundidad del basamento, especialmente bajo las estructuras diapíricas. Esto ha supuesto un reajuste de las unidades suprayacentes de la cobertera.

b) Ha sido necesario incluir niveles de anhidrita (de mayor densidad), descritos en los pozos de la cuenca, para ajustar los datos gravimétricos.

c) Los modelos gravimétricos han permitido identificar un diapiro en una de las secciones (modelo 6, fig. 3) que no estaba interpretado previamente.

d) Ha sido necesario definir la geometría de los límites laterales de algunos de los diapiros interpretados previamente a partir de la información sísmica.

Los resultados obtenidos apoyan la utilización de datos GRAV/MAG en el estudio de márgenes con presencia de sales. Estos datos permiten fijar la estructura profunda por debajo de los niveles salinos, lo que supone una mejor defini-

ción de los depocentros y de las posibles trampas de interés exploratorio.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del Proyecto Fin de Máster del primer autor, y ha sido beneficiado con una beca del programa de ayudas para máster de REPSOL. Este trabajo ha sido financiado por el Programa de Actividades de I+D entre grupos de investigación de la Comunidad de Madrid en tecnologías 2018 CARESOIL-CM (S2013/MAE-2739) y por el Proyecto MARIBNO (PGC2018-095999-B-I00).

Los autores agradecen a las revisoras del trabajo (María Druet y Patricia Ruano) por sus sugerencias y comentarios, que han contribuido a mejorar la calidad de este manuscrito.

Referencias

- Dentith, M. y Mudge, S. T. (2014). *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press, 85-191.
- Gallastegui, J., Pulgar, J. A. y Gallart, J. (2002). *Tectonics* 21 (4), 15-1-15-14.
- Gardner, G. H. F., Gardner, L. W. y Gregory, A. R. (1974). *Geophysics* 39 (6), 770-780.

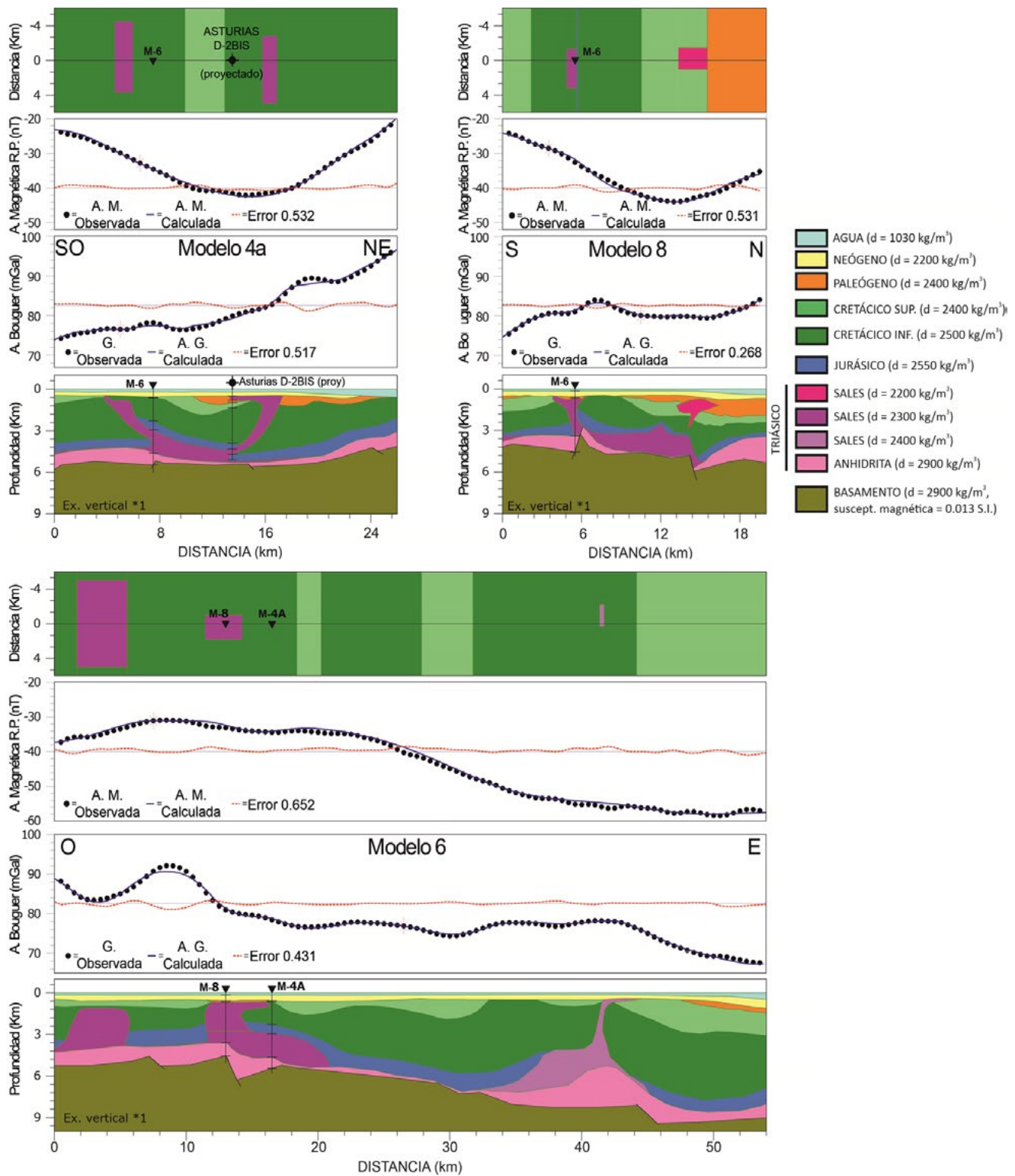


Fig. 3.- Modelos gravimétricos y magnéticos ajustados a las anomalías observadas, según el proceso descrito en el texto. La posición de los mismos se localiza en las figuras 1 y 2. En la parte superior de los modelos se muestran las vistas en planta a 1500 m de profundidad.
 Fig. 3.- Gravimetric and magnetic models adjusted to the observed anomalies, according to the process described in the text. Their position is located in Figures 1 and 2. Plan views at a depth of 1500 m are shown above the models.

Hunt, C. P., Moskowitz, B. M. y Banerjee, S. K. (1995). En: *Rock physics and phase relations: A handbook of physical constants* (T.J. Ahrens, Ed). American Geophysical Union, 3, 189-204.

Riaza Molina, C. (1996). *Geogaceta* 20 (1), 169-171.
 Rodríguez Fernández, L.R y Olivera, J.T. (2015): *Mapa Geológico de España y Portugal, E 1:1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.

Zamora, G., Fleming, M., y Gallastegui, J. (2017). En: *Permo-Triassic salt provinces of Europe, North Africa and the Atlantic margins* (Juan I. Soto, Joan Flinch y Gabor Tari, Eds.). Elsevier, 353-368.