

Caracterización mediante gravimetría de la estructura geológica de Hontomín (Burgos).

Gravimetric characterization of the geological structure of Hontomín (Burgos).

Rubio, F.M.⁽¹⁾; Ayala, C.⁽²⁾; García Senz, J.⁽¹⁾; Rey Moral, C.⁽¹⁾; García Lobón, J.L.⁽¹⁾; Ortiz, G.⁽³⁾ y De Dios, J.C.⁽³⁾

⁽¹⁾Instituto Geológico y Minero de España (IGME), C/ La Calera 1, 28760 Tres Cantos (Madrid), email: fm.rubio@igme.es

⁽²⁾Instituto Geológico y Minero de España (IGME), actualmente visitante en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, ICTJA-CSIC, Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028 Barcelona.

⁽³⁾ CIUDEN, Avda. del Presidente Rodríguez Zapatero s/n, 24492 Cubillos del Sil (León), email: gema.ortiz@ciuden.es y jc.dedios@ciuden.es

SUMMARY

In early 2010 the Instituto Geológico y Minero de España (IGME) and the Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN) established two agreements for gravity and microgravity characterization of the geological structure selected for CO₂ storage in Hontomín, Burgos. These agreements included a structural gravity survey in order to study the regional geology frame and obtain models of the crustal structure to better understand the geological and tectonic context in which the storage complex is located. The survey was carried out with a sampling density of 2 gravity points per square kilometer. The processing and interpretation of gravity data allows to obtain the map of Bouguer anomalies (with a reduction density of 2.4 g/cm³). Taking into account all available information: mechanical drilling, well-logging and seismic lines, and the geological knowledge of the area, NS and EW geological crosssections have been built for 2.5D gravity modelling. The geological sections and gravimetric profiles have provided valuable information on the distribution of materials in the basement and have been of extraordinary importance in the subsequent geophysical and geologic 3D modeling of Hontomín structure.

According to the second agreement IGME-CIUDEN a microgravimetric survey was carried out with the aim of using the Bouguer anomaly obtained to build a 3D model using stochastic gravimetric inversion to investigate the geometry and density distribution in the structure comprising the reservoir. The survey covered an area of 4 km x 4 km with a total of 1600 points measured on a grid of 100 m x 100 m. A Bouguer anomaly map and a residual anomaly map were calculated. 3D inversion of the gravity grid constrained with petrophysical data provided a 3D geological model of the structure. The model, which extends to a depth of 4800 m, consists of voxels of 50m x 50m x 50m. Moreover, the most important contribution of the gravity model is the geometry of the top of the basement that appears slightly bent. Two basement faults that do not crop have been identified that determine major structural changes at the regional scale.

1. INTRODUCCIÓN

A inicios de 2010, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Fundación Ciudad de la Energía (CIUDEN) establecieron unos Acuerdos Específicos para la caracterización gravimétrica y microgravimétrica de la estructura geológica seleccionada para la Planta de Desarrollo Tecnológico de Almacenamiento Geológico de CO₂ en Hontomín, Burgos. Un Acuerdo comprendió la realización de una campaña de gravimetría regional, con objeto de estudiar el encuadre regional y obtener modelos gravimétricos de la estructura cortical para entender mejor el contexto geológico-tectónico en el que está ubicado el almacén de Hontomín. El otro acuerdo comprendió la ejecución, dentro del área cubierta por la gravimetría regional, de una campaña de microgravimetría; uno de sus objetivos ha sido realizar un modelo gravimétrico 3D del reservorio que fuera consistente con el resto de datos geofísicos disponibles. Estos trabajos fueron ejecutados por el IGME entre Abril de 2010 y Marzo de 2011.

2. ÁREA GEOGRÁFICA Y MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio está situada al norte de Burgos, en los alrededores de la localidad de Hontomín, en la denominada Plataforma Burgalesa (Burgos). La población más al sur de la zona de estudio es la de San Martín de Ubierna, y la más importante en el noreste es Poza de la Sal (Figura 1). La topografía de la zona de estudio presenta elevaciones entre 880 y 1040 m, siendo la mayor

parte de la zona relativamente llana, con cotas entre 960 y 1040 m, y pendientes bastante suaves.

La estratigrafía de la zona de Hontomín se puede determinar principalmente gracias a los datos proporcionados por los sondeos Hontomín-1, Hontomín-2, Hontomín-3, Hontomín-SW1 y Hontomín-SW2 (Figura 2). Estudios geológicos previos, realizados a partir de los datos de los sondeos existentes, determinan que la sucesión mesozoica presenta importantes variaciones laterales de espesor, sobre todo en lo que se refiere a las secuencias del Jurásico Superior y Cretáceo Inferior. El Jurásico Inferior también refleja cambios de espesor, mayormente debidos a la existencia de fallas. Los materiales más antiguos documentados en la zona son las arcillas y yesos del Keuper. Los datos del sondeo Hontomín-1 indican que estos materiales forman el núcleo del diapiro de Hontomín. El mapa geológico (Figura 2) muestra arcillas, yesos y ofitas del Keuper aflorando a lo largo de la falla de Ubierna, de dirección NO-SE, y en el núcleo de un domo situado al SO de Montorio.

Por encima de los materiales anteriores, se sitúan las dolomías y carniolas que caracterizan el límite entre el Triásico y el Jurásico Inferior. En diversos sondeos se han identificado dolomías y anhidritas que corresponden a este tramo. En superficie afloran dolomías, carniolas y calizas alrededor del Keuper en el domo localizado al SO de Montorio. Esta unidad presenta un grosor de 136 m en el sondeo Hontomín-1 (Figura 2).

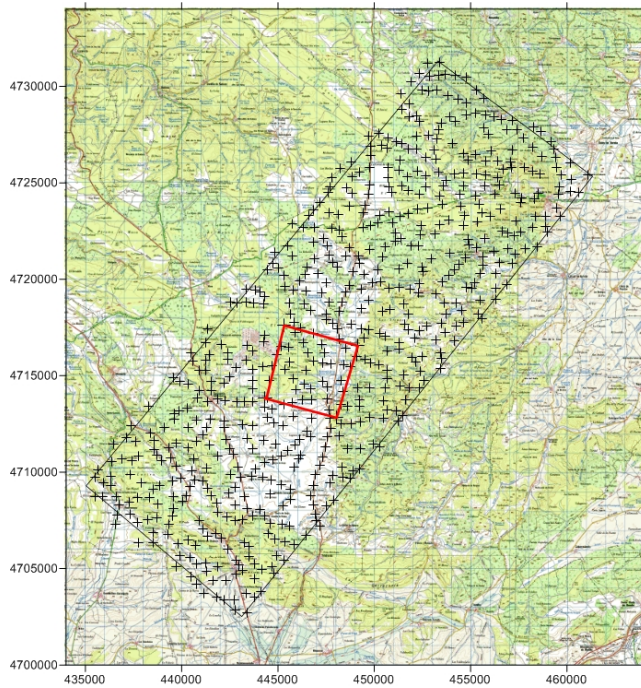


Figura 1 – Mapa de situación de la zona de trabajo, el recuadro en negro delimita la zona de la gravimetría regional, y el rojo la zona de la microgravimetría. Las cruces negras representan los puntos de la gravimetría regional. (Map of the working area, black square indicates the limit of the zone of the regional gravimetry)

En la zona de estudio el Jurásico Inferior (Lías) y Medio (Dogger) están formados por margas y calizas de origen marino. En los tres sondeos perforados cerca de Hontomín se han determinado potencias de entre 229 y 504 m de estos materiales. En los sondeos Hontomín-SW1 y 2, al NE de la falla de Ubierna, la presencia del Lías y Dogger margocalcáreos es más modesta (54 m de potencia). En superficie sólo afloran pequeños retazos de margas y calizas del Lías y Dogger en las proximidades del domo al SO de Montorio y en algunos puntos de la falla de Ubierna.

Discordantemente por encima del Jurásico marino se disponen areniscas, arcillas y rocas carbonatadas en facies Purbeck. Estos materiales aparecen fundamentalmente en el subsuelo, en los sondeos al SO de Hontomín, donde presentan entre 307 y 375 m de potencia. De los tres sondeos próximos a Hontomín, las facies Purbeck sólo aparecen en Hontomín-3, donde alcanzan 133 m de grosor (Figura 2). Los escasos afloramientos de estos materiales quedan restringidos, como el resto del Jurásico, al domo localizado al SO de Montorio y a la traza de la falla de Ubierna. Las unidades del Cretácico Inferior, aflorantes en la zona de estudio, están constituidas por materiales detríticos en facies Weald y Utrillas. Las facies Weald están formadas por areniscas y conglomerados silicios. Las facies Utrillas consisten en areniscas, gravas y arcillas. Afloran principalmente en el núcleo del anticlinal dispuesto a lo largo de la falla de Ubierna, y rodeando a las rocas triásicas y jurásicas del domo al SO de Montorio. Los sondeos muestran que los materiales del Cretácico Inferior tienen espesores significativos. En el sondeo Hontomín-1, la potencia total del Cretácico Inferior es de 988 m, 447 m en facies Weald y 541 m en facies Utrillas. En el sondeo Hontomín-2, la potencia del Cretácico Inferior es de 763 m, 180 m en facies Weald y 583 m en facies Utrillas. En Hontomín-3, el Cretácico Inferior alcanza los 749 m de grosor. En los sondeos próximos a la falla de Ubierna, estos materiales son ligeramente más delgados. El sondeo Hontomín SW-1 presenta 431 m de rocas del Cretácico Inferior, 191 m en facies Weald y 240 m en facies Utrillas. En el sondeo Hontomín SW-2, el Cretácico Inferior tiene una potencia de 470 m, de los cuales 244 m son rocas en facies Weald y 226 en facies Utrillas.

El Cretácico Superior domina la zona de estudio y está poco representado en los sondeos. El Cretácico Superior está formado

por: margas calcarenitas y calizas del Cenomaniense-Turonense; calizas y dolomías blancas del Turoniense-Coniaciense; margas amarillentas del Santoniense Inferior-Medio; y por calizas y calcarenitas bioclásticas con lacazinas y miliolidos del Santoniense Medio. Según la columna sintética del Albiense y Cretácico Superior del mapa geológico del IGME (Montorio, 1967), el Cretácico Superior podría alcanzar los 500 m de potencia. Discordantemente por encima de los materiales mesozoicos se sitúan sedimentos detríticos y lacustres continentales. En la zona de Hontomín afloran conglomerados, areniscas y arcillas de la formación Bureba. Al sur, en la Cuenca del Duero, afloran unidades de conglomerados, margas, calizas y calizas margosas. Las columnas sintéticas del mapa geológico del IGME indican una potencia mínima de unos 300 m para el Terciario en Huérmeces y 125 m para las unidades terciarias de la Cuenca del Duero. La estructura en la zona de estudio, un domo anticlinal, está fuertemente condicionada por las fracturas principales y por la existencia de materiales evaporíticos. Las dos estructuras principales son la falla de Ubierna que, en superficie, presenta una dirección NO-SE, y la estructura en forma de domo de Hontomín, localizada en la población del mismo nombre.

Al sur de la zona de estudio, destaca la falla de Ubierna, figura 2, una zona de fractura de dirección NO-SE y de trazado ligeramente sinuoso. La cartografía geológica muestra que la falla separa dominios con bruscas variaciones de espesor en algunas unidades mesozoicas. La falla de Ubierna se ha interpretado como una falla extensional formada en relación con el rifting de finales del Jurásico y principios del Cretácico Inferior (controlando la sedimentación del Grupo Campóo) y que ha sufrido una fuerte inversión tectónica durante el Terciario. Otra característica significativa de la falla de Ubierna es la presencia de afloramientos de evaporitas del Keuper a lo largo de su trazado..

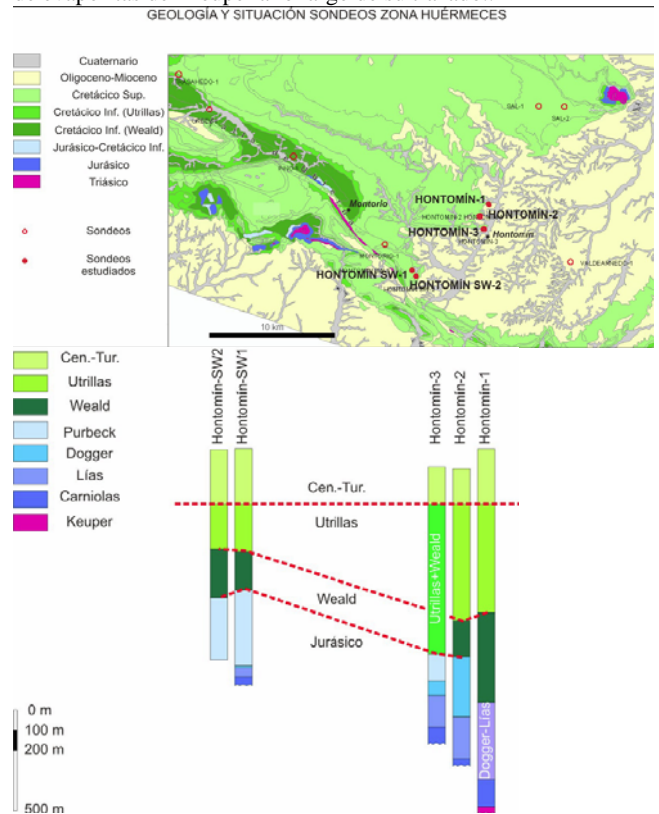


Figura 2 – Mapa geológico simplificado de la zona de Hontomín. En la parte inferior se muestra la correlación de las columnas litológicas de los sondeos existentes en la zona y cuya posición se muestra en el mapa geológico. (Simplified geologic map of Hontomín. Correlation of the lithological columns of the wells).

3. CAMPAÑAS GRAVIMÉTRICAS

Para la adquisición de los datos gravimétricos se ha empleado el gravímetro Scintrex CG5 del IGME. En el caso de la campaña

regional (Rubio et al, 2011) y de acuerdo con los objetivos del trabajo se ha procurado que los datos de campo tuvieran una distribución homogénea de 2 punto/km². El número de puntos medido en dicha campaña ha sido de 632, y su distribución se muestra en la Figura 1.

Para la campaña microgravimétrica (Ayala et al, 2011), se ha escogido un área de 4 km x 4 km (Figura 1), que incluye el anticlinal del reservorio, con puntos distribuidos en una malla de 100 m x 100 m, lo que hace un total de 1600 puntos.

El procesado de datos se ha realizado empleando el programa informático OASIS MONTAJ, de la empresa Geosoft, complementado con algún software desarrollado por el IGME. En el procesado de los datos gravimétricos en este trabajo, la gravedad normal se ha calculado utilizando el sistema geodésico de referencia GRS67 (con Datum Potsdam G=981260 mGal).

El procesado e interpretación de los datos gravimétricos permite obtener el mapa de anomalías de Bouguer (densidad de reducción de 2,4 g/cm³) y una serie de mapas derivados. En la Figura 3 se muestran los mapas de Bouguer residuales, a partir de los cuales se pueden obtener las siguientes conclusiones:

En el mapa se muestran tres grandes zonas (Figura 3):

Zona Suroeste (C): su límite superior lo marca el fuerte gradiente, L4, coincidente con la falla de Ubierna. Este gradiente mantiene una dirección NO-SE hasta aproximadamente la mitad de la zona, donde se difumina y coincide con el comienzo de otro fuerte gradiente de dirección NE-SO (L5), finalizando contra la alineación L3, que limita la zona sur del mínimo gravimétrico más destacado de toda la zona (A). La zona C, presenta un carácter heterogéneo, y es donde se localiza el mayor máximo gravimétrico del mapa.

Zona Centro (A): corresponde, casi en su totalidad, al mínimo gravimétrico de mayor longitud de onda del área estudiada, que se localiza sobre la estructura no aflorante del domo de Hontomín. Su límite sur lo marca el fuerte gradiente de dirección E-O (L3). El límite NE de esta zona centro viene marcado por la intersección de dos alineaciones L1 y L2. L1, de dirección NO-SE y paralela a la falla de Ubierna, marcaría el límite sur de los afloramientos paleógenos en la zona. La alineación L2, de dirección clara N-S, supone el límite de esta zona con la zona B al NE del mapa.

Zona Noreste (B): Las alineaciones anteriormente descritas, L1 y L2, separan el mínimo gravimétrico A de la zona caracterizada por la alternancia de máximos y mínimos gravimétricos de pequeña longitud de onda ubicada al NE del mapa. El mínimo relativo más importante de esta zona está asociado a los afloramientos salinos de Poza de la Sal, zona B, limitado por las alineaciones L6 y L7, de dirección E-O.

En el sureste, y con valores medios de anomalía de Bouguer, se marca la zona D, limitada al norte y oeste por los gradientes L3 y L5. Hacia el sur, un aumento en los valores de la anomalía termina bruscamente con la alineación L5, que da paso a la última zona en la que se ha dividido el mapa, zona E.

Zona E, mínimo gravimétrico situado en el límite más meridional del mapa, limitado por la alineación L8, asociada a un fuerte gradiente que aísla este mínimo.

La correlación de este mapa gravimétrico con el mapa geológico de superficie, Figura 3, es muy evidente en algunos sectores mientras que en otros la correlación se hace más imprecisa. La reciprocidad más directa se produce con la alineación L4, que corresponde a la falla de Ubierna, de carácter regional y bien cartografiada. Esta falla separa dos cuencas bien diferenciadas. Al sur de la falla, la característica es una elevación del sustrato y un menor espesor de sedimentos, que se refleja muy bien en los mapas gravimétricos por la zona de máximos, C. Coincide, además, con el límite entre los afloramientos carbonatados del Cretácico Superior y los materiales triásicos y jurásicos situados al suroeste.

Al norte de la falla de Ubierna, se localiza el domo de Hontomín de edad triásica no aflorante. Este domo representa la elevación de los materiales evaporíticos del Keuper y, entorno a

él, se deduce que aumenta el espesor de los sedimentos postríasicos. El límite sur (L3), de fuerte pendiente, contrasta con el límite norte (L1 y L2), bastante más suave, lo que da información sobre la geometría e irregularidad de los límites del domo.

La zona D se interpreta por un menor espesor de sedimentos debido a una elevación del basamento, mientras que la zona noreste del mapa (B) muestra la presencia de máximos gravimétricos, asociados también a una elevación del basamento, pero roto por el importante mínimo asociado al diapiro de Poza de la Sal, que aparece claramente marcado con un mínimo gravimétrico de pequeña longitud de onda.

En la zona E, el gran mínimo limitado por el fuerte gradiente L8 se interpreta como asociado a un hundimiento del basamento y por tanto un mayor espesor de sedimentos.

4. MODELO 2.5D

El software utilizado para la modelización gravimétrica 2.5D es el GMSYS, un módulo del programa Oasis Montaj de Geosoft.

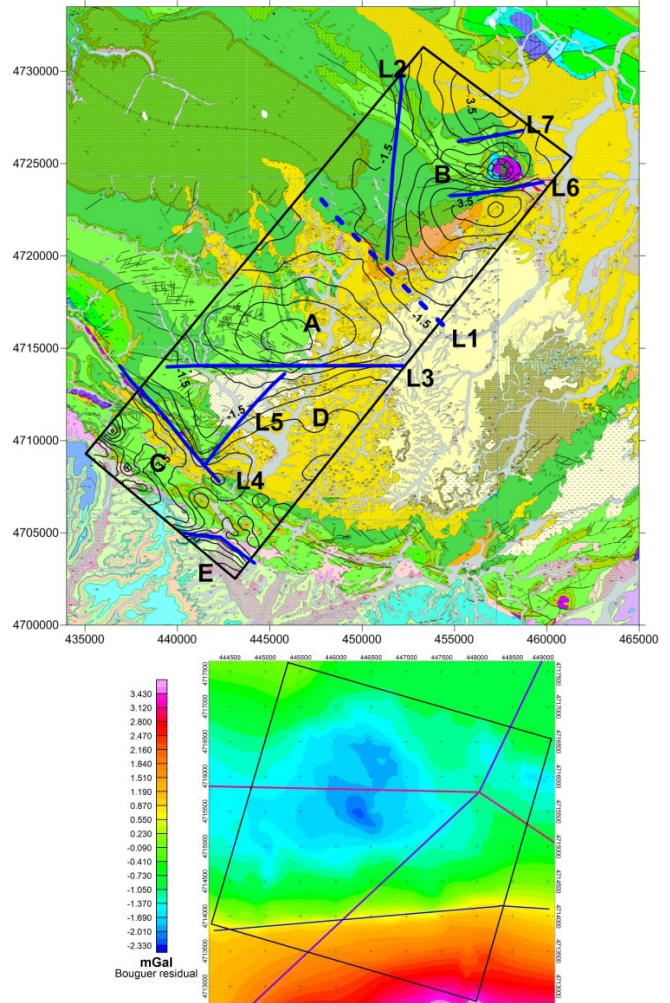


Figura 3 – Parte superior: Mapa residual de anomalías de Bouguer de la campaña regional. Parte inferior: mapa residual de anomalías de Bouguer correspondiente a la campaña de microgravimetría. Las líneas azul y morada representan la porción de los cortes 1 y 2 que corresponde a esta zona. (Upper Residual anomaly map of the regional survey. Bottom: Residual anomaly map of the microgravimetric survey. Blue and magenta lines represent portions of the geological sections 1 and 2).

Los modelos gravimétricos se basan en dos cortes geológicos compensados (García Senz, 2011) (Figura 4), construidos teniendo en cuenta toda la información geológica y geofísica disponible: líneas sísmicas, columnas estratigráficas de los sondeos mecánicos y digrafías. Su situación puede observarse en la Figura 4. Dichos cortes cruzan las estructuras geológicas más importantes de la zona

El corte 1 tiene una dirección aproximada suroeste – noreste, y el corte 2 una dirección aproximada oeste - este. Ambos perfiles

se cortan en un punto que coincide con la posición del sondeo mecánico Hontomín1, situado sobre el mínimo gravimétrico del mapa de anomalías residuales, Figura 4.

En estos cortes, se muestra más desarrollada la cuenca cretácica hacia el oeste del sondeo Hontomín 1, con un mayor espesor de la serie Utrillas – Purbek - Weald que de la serie Jurásica. También se ha cartografiado un nivel de anhidritas, que aparece en los sondeos mecánicos, en la base del Jurásico inmediatamente por encima del Keuper y que se ha extendido a lo largo de los dos cortes, con un espesor más o menos constante. En estos cortes se ha considerado la presencia de unas fallas en el basamento, que no se habían tenido en cuenta anteriormente, y que se sitúan bajo la estructura de interés.

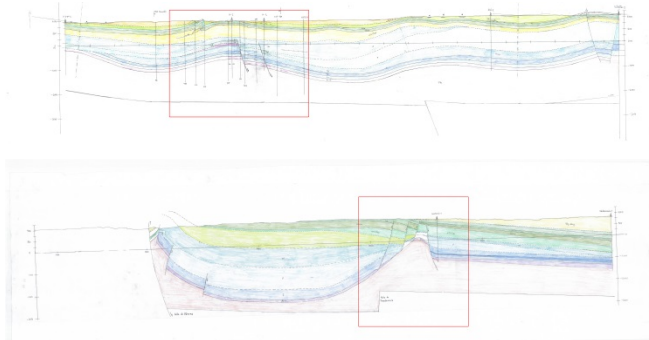
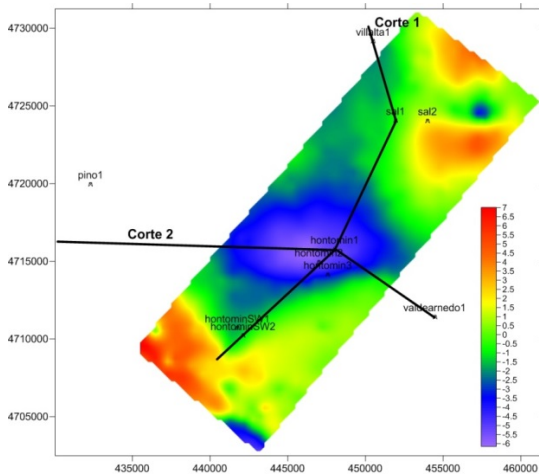


Figura 4 – Mapa de anomalías de Bouguer residual con la posición de los dos cortes modelizados. Corte 1, parte superior, transcurre en dirección NO-SE pasando por los sondeos Hontomín SW2, Hontomín 1, Sal1 y Villalta 1. El corte 2, parte inferior, transcurre en dirección O-E pasando por los sondeos Hontomín1 y Valdearnedo1. Los dos cortes están contruidos a escala 1:25000. Rectángulo rojo: zona de estudio para el modelo 3D. (Fuente: Jesús García-Senz., (Residual anomaly map image with the location of the two modeled sections. Geological sections: upper section 1. Bottom sections 2. Scale of the sections 1:25000. Red square is the study zone for the 3D model).

Las densidades utilizadas en la modelización, en g/cm^3 , provienen del análisis petrofísico de muestras y de las digrafiyas de los sondeos: 2.25 para el Paleógeno, 2.50 para el Cretácico Superior (UC), 2.45 para el Cretácico Inferior-Jurásico Superior (UJ-LC, que incluye Utrillas, Purbek y Weald), 2.60 para el Jurásico Medio e Inferior, 2.80 para las anhidritas (Anh), 2.25 para el Keuper y 2.70 para el basamento (Pz-TB).

La geometría de los cortes geológicos de partida se ha ido modificando hasta que la respuesta gravimétrica del modelo ha ajustado la anomalía residual observada. Para ajustar las anomalías, en el Corte 1 se ha resituado el techo de la estructura a mayor profundidad, unos 1200 m, y se ha ubicado entre dos fallas que la ponen en contacto con los materiales de la formación Utrillas y los propios materiales jurásicos, con las anhidritas de base. En el Corte 2, la falla de basamento se ha movido hacia el oeste y se ha

incrementado el espesor de Keuper. El espesor de los materiales jurásicos en ambas direcciones es casi constante, unos 200-300 m.

Como se aprecia en la Figura 5, el ajuste entre la anomalía observada y calculada es bastante aceptable.

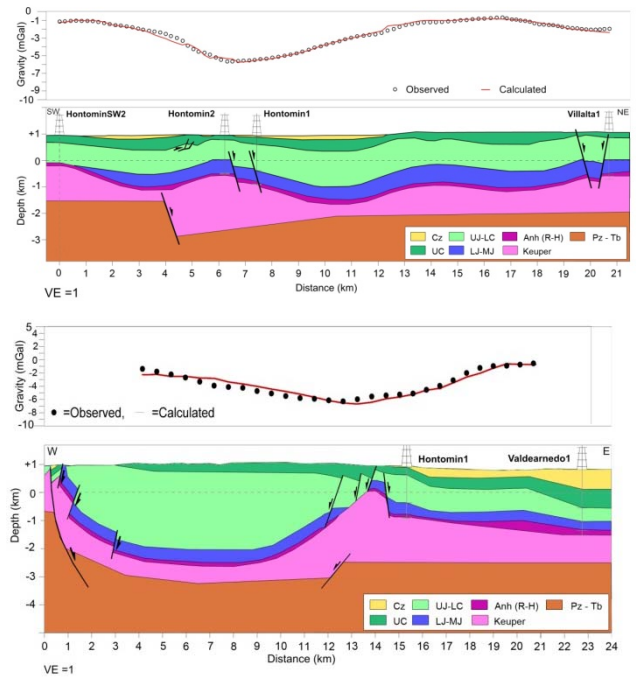


Figura 5 – Resultados de la modelización: parte inferior, corte geológico modelizado; parte superior, anomalías observada (puntos) y calculada (línea roja continua). Las abreviaturas de las litologías y las densidades utilizadas están descritas en el texto. (Modeling results: upper part observed (dots) and calculated (red line) anomalies. Bottom part geological section modeled).

5. MODELO 3D

Este modelo se inscribe en un volumen de 4900 m x 4900 m, en la horizontal, y 6000 m en la vertical. El techo del volumen se ha tomado a 1200 m de altura y el muro del volumen a 4800 m de profundidad; de este modo, se incluye en el modelo la cota topográfica máxima y el basamento varisco. La modelización 3D se ha llevado a cabo con el programa 3DGeoModeller, que emplea un cálculo estadístico basado en el método de Monte Carlo, con lo que se obtiene un rango de modelos con su probabilidad correspondiente, eligiéndose el más consistente con las observaciones y datos geológicos y geofísicos disponibles. La modelización se realiza en tres pasos:

1- Construcción del modelo geológico.

Datos de partida

Modelo digital del terreno (MDT) – El MDT, que constituye el techo real del modelo geológico, se ha introducido como una malla regular de paso de malla 250 m x 250 m, a partir de un MDT de 100 m

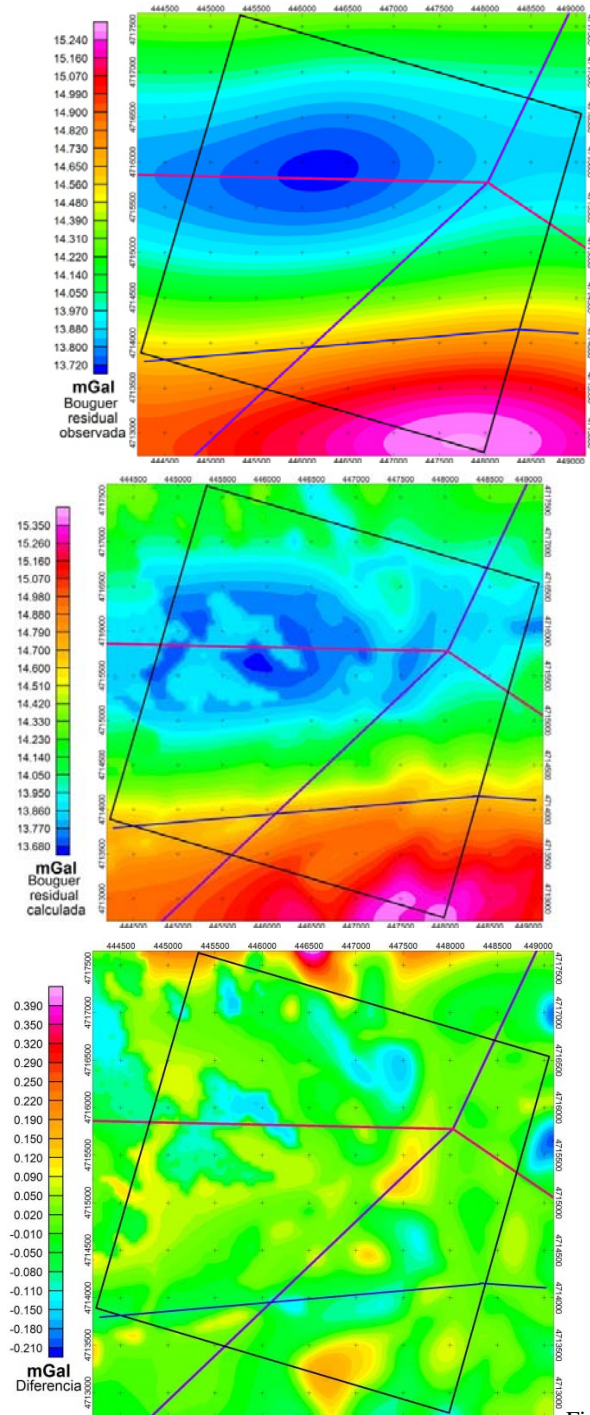
Pila estratigráfica – Para la modelización se han tomado, como referencia, los muros de las siguientes formaciones: Paleógeno, Cretácico Superior (UC); Jurásico Superior – Cretácico Inferior (UJ_LC, que incluye Utrillas, Purbek y Weald); Jurásico Inferior – Medio (LJ_MJ, que corresponde al Jurásico marino); Unidad Anhidrita (que a lo largo de este trabajo se ha denominado Anhidritas, y que agrupa tanto las anhidritas como las carniolas); Keuper y, por debajo del Keuper, se ha considerado el basamento (formado por materiales triásicos y pérmicos).

Geología de superficie – Se ha utilizado la geología 1:50000, proporcionada por el Instituto GeoModels. El mapa se ha importado y, sobre él, se han digitalizado los principales contactos geológicos, buzamientos y fallas.

Sondeos mecánicos – Se ha utilizado la información litológica procedente de los sondeos Hontomín 3, Hontomín 2 y Hontomín 1, que son los que se encuentran en esta zona.

Cortes geológicos – Se ha utilizado la porción correspondiente de los dos cortes geológicos modelizados y descritos en la sección 4 y otros tres cortes geológicos auxiliares construidos a partir de la geología de superficie y los sondeos, con el objetivo de definir mejor el modelo geológico 3D de partida

Densidades – Las densidades (en g/cm^3) de las distintas formaciones del modelo son las obtenidas en el estudio petrofísico realizado y que se han empleado en la modelización 2.5D.



Figura

Figura 6. Imagen superior: Anomalia de Bouguer residual observada; Imagen central: Anomalia de Bouguer residual calculada mediante inversión; Imagen inferior: Diferencia entre las anomalías observadas y calculadas mediante inversión. Polígono negro: zona de adquisición de datos gravimétricos. Escala de colores de igual intensidad. Línea azul, corte 1; línea magenta, corte 2 (Upper: Observed residual anomaly; middle: calculated by inversion residual anomaly; bottom: differences between observed and calculated by inversion anomalies)

2- Resolución de problema directo

Al modelo geológico se le asignan las propiedades físicas de las distintas litologías (las mismas propiedades que para los

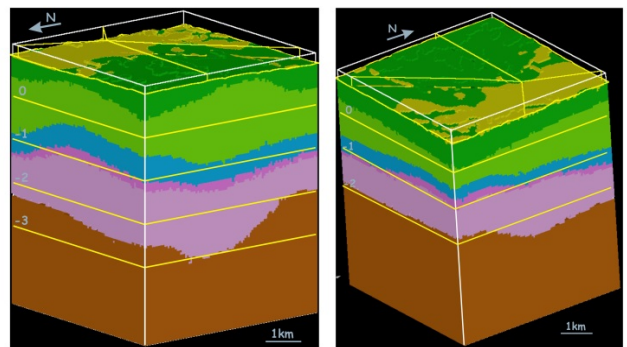
modelos 2.5D) y se calcula la respuesta gravimétrica, que se compara con las observaciones, lo que permite evaluar la validez de dicho modelo. Éste se va modificando y, por tanto, mejorando por ensayo y error hasta que las anomalías calculadas tienen una morfología y amplitudes similares a las anomalías observadas.

3- Inversión.

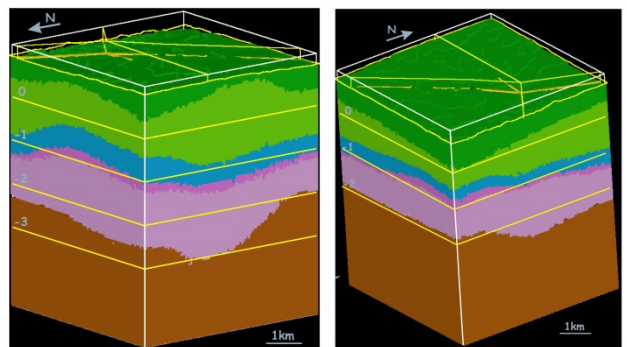
A continuación, se procede a refinar el modelo mediante inversión estocástica. La inversión no proporciona una solución única, sino un conjunto de soluciones con su correspondiente probabilidad, entre las cuales se elige la más consistente con los datos geológicos y geofísicos disponibles; una de las aplicaciones es acotar partes del modelo que no están bien definidas debido a la escasez de observaciones geológicas y, por tanto, tienen una incertidumbre importante. Se ha dejado libertad para que, durante la inversión, se varíen tanto las densidades como los límites litológicos.

Los mapas de la figura 6 corresponden, de arriba abajo, a la anomalía de Bouguer residual observada, la anomalía calculada y la diferencia entre ambas. De estas imágenes se deduce que, en las zonas del área de estudio donde se tiene buen control geológico y petrofísico (es decir, a lo largo de los cortes geológicos), las diferencias oscilan alrededor del valor de RMS (± 0.066 mGal), mientras que las zonas del borde del área de estudio, donde no se tiene suficiente información geológica y petrofísica, las diferencias son mayores. Las variaciones en la geometría de las capas, respecto al modelo inicial, son del orden de pocas decenas de metros y las variaciones de la densidad son de ± 0.02 g/cm^3

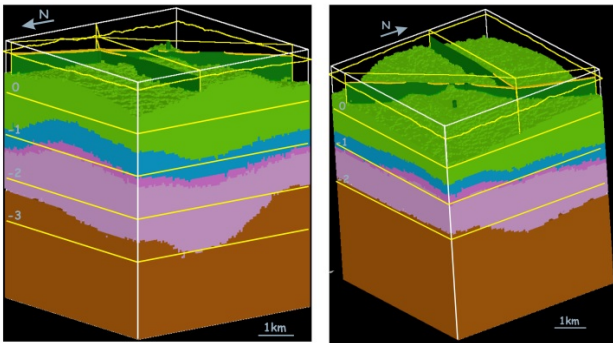
Los resultados, es decir, los horizontes modelizados con una probabilidad igual o mayor que el 95%, se muestran en las imágenes siguientes. En todas ellas, amarillo: Paleógeno; verde oscuro: UC; verde claro: UJ_LC; azul: LJ_MJ; fucsia: anhidritas; rosa: Keuper; marrón: basamento. Las líneas amarillas verticales indican la posición de los cortes utilizados en la modelización. Las líneas amarillas horizontales corresponden a una superficie horizontal, a una profundidad de 3000 m. Las etiquetas están situadas cada kilómetro.



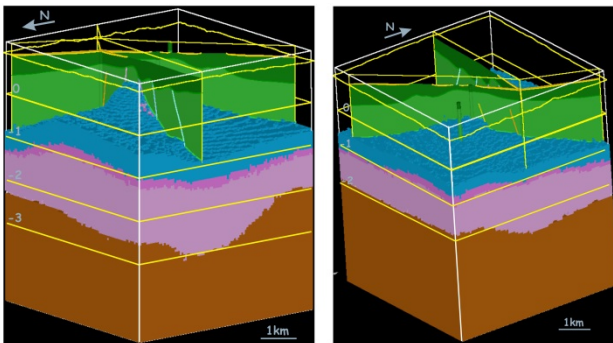
Base del Paleógeno. Esta capa presenta un espesor que va desde 0 a algunas decenas de metros.



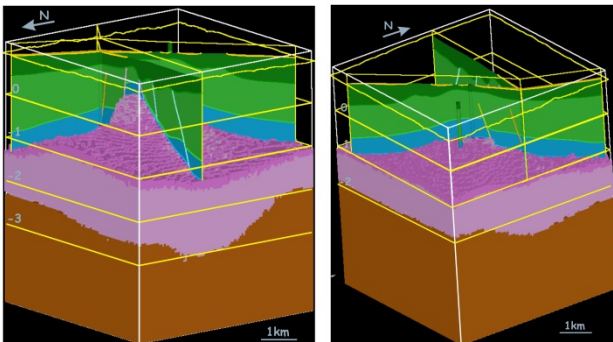
Base del Cretácico Superior. El espesor de esta capa varía entre los 400 y los 600 m. En ella no se aprecia aún el domo en el que se encuentra el futuro reservorio.



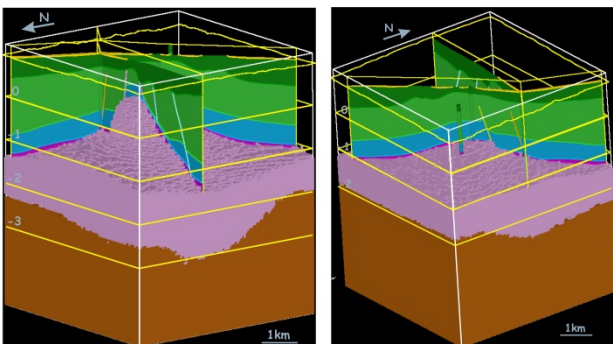
Base del Cretácico Inferior – Jurásico Superior. El espesor de esta capa varía entre 200 y 1500 m. En la zona central se dibuja claramente el domo y se ven las fallas que atraviesan esta capa.



Base del Jurásico Medio – Jurásico inferior. Esta capa, que contiene las rocas del reservorio y del sello (lías calcáreo y lías margoso) tiene espesores que oscilan entre los 300 y los 600 m. Ninguna de las fallas que la atraviesan tiene un movimiento significativo.



Base de la unidad anhidrítica, que la mayor parte de la zona de estudio tiene un espesor de unos 200 m.



Base del Keuper, con espesores que oscilan entre los 500 y los 2500 m (en la zona del domo). El basamento se encuentra a una profundidad de 1800 m hacia el sur y de unos 3000 m hacia el norte.

6. CONCLUSIONES

La gravimetría regional realizada en el área de Hontomín (adquisición y procesado) ha permitido obtener el mapa de anomalías de Bouguer (densidad de reducción de $2,4 \text{ g/cm}^3$) y un mapa de anomalías residuales, cuyas características más importantes son las siguientes:

El mínimo gravimétrico más importante, situado en el centro de la zona de estudio, se corresponde con el domo salino no aflorante de Hontomín. Este domo representa la elevación de los materiales evaporíticos del Keuper y, entorno a él, aumenta el espesor de los sedimentos postríasicos. Los límites de este mínimo vienen marcados, en general, por fuertes gradientes con direcciones predominantes N-S, E-O, NO-SE y NE-SO. La existencia de algunos gradientes más suaves informa sobre la geometría e irregularidad de los límites del domo. La reciprocidad más directa entre el mapa de anomalías de Bouguer y la cartografía geológica se produce en la falla de Ubierna, de carácter regional y bien cartografiada en superficie

Un mínimo gravimétrico de mucha menor extensión es el situado en el noreste de la zona correspondiente al diapiro salino aflorante de Poza de la Sal, limitado por gradientes de dirección E-O.

Al sur de la falla de Ubierna, el máximo gravimétrico se corresponde con una elevación del sustrato y un menor espesor de sedimentos. En superficie, corresponde al límite entre los afloramientos carbonatados del Cretácico Superior y los materiales triásicos y jurásicos situados al suroeste de la zona de estudio. En el noreste de la zona, los máximos gravimétricos que limitan el diapiro salino de Poza de la Sal se asocian a los afloramientos paleógenos y neógenos

En los modelos 2.5D, para ajustar las anomalías gravimétricas observadas, las modificaciones necesarias han tenido lugar, fundamentalmente, en la geometría del basamento, lo que valida la geometría de la interpretación geológica de la cobertera sedimentaria.

Los cortes geológicos y los perfiles gravimétricos aportan una valiosísima información sobre la distribución de los materiales en el subsuelo y han sido de una gran importancia en la modelación geofísica y geológica en 3D de la estructura de Hontomín. La plasticidad de los materiales triásicos (Keuper) favorece la formación del domo salino de Hontomín que, junto con el conjunto de fallas cartografiadas en profundidad, marca la historia geológica compresiva-distensiva de la zona. La modelización de las fallas de basamento, no consideradas en estudios previos, hace que sea necesario un replanteamiento de la evolución tectónica de esta zona desde el Paleozoico.

Los trabajos de microgravimetría realizados en el área de Hontomín han permitido obtener un mapa de anomalía de Bouguer con una resolución de ± 4 microGal. La anomalía residual, calculada a partir de la anomalía de Bouguer, se ha utilizado para realizar un modelo geológico 3D centrado en la estructura escogida como planta piloto.

Posteriormente, la atribución de densidades a los horizontes modelizados ha permitido realizar la inversión gravimétrica. Los resultados de la inversión (con un error de ± 0.066 mGal) permiten comprobar que la geometría de los distintos horizontes tiene una resolución de ± 25 m y las variaciones de densidad son $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$.

Según el modelo geológico 3D, obtenido mediante la inversión gravimétrica, el techo del futuro almacén (Lías calcáreo), variaría entre 800 y 1500 m (bajo cota topográfica). Esta variación tan importante proviene de los datos de los cortes geológicos y será objeto de revisión posterior, una vez se tengan más datos de subsuelo.

Por otra parte, la aportación más importante del modelo gravimétrico es la geometría del techo del basamento, que aparece ligeramente flexionado. Se han identificado dos fallas en el basamento que no afloran y que determinan cambios estructurales importantes a nivel regional.



7. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a CIUDEN como entidad financiadora de los proyectos ALM/09/30 y ALM/09/31, en los que está basada esta comunicación. El contenido de esta comunicación sólo compromete a su autor. Ni CIUDEN ni la Unión Europea, como cofinanciadora de los Proyectos, son responsables de la utilización que se pueda hacer de la información que figura en la misma.

8. REFERENCIAS

Ayala, C., Rubio, F.M. y Rey-Moral, C. 2011. Caracterización microgravimétrica de la estructura geológica seleccionada para planta de desarrollo tecnológico de almacenamiento geológico de CO₂ en Hontomín (Burgos). N.F.D. del IGME. 64.091

García-Senz, J., 2011. Informe Geológico del Área de Hontomín, Burgos.

Rubio, F. M., Ayala, C., Gumiel, J. C. y Rey-Moral, C. 2011. Caracterización mediante Campo Potencial y Teledetección de la estructura geológica seleccionada para la Planta de Desarrollo Tecnológico de Almacenamiento Geológico de CO₂ en Hontomín (Burgos).N.F.D. del IGME. 64.090