

*“Trabajando para la sociedad”*

## Metodología aplicada para la caracterización de un almacén geológico de CO<sub>2</sub>. Cuenca del Ebro (España)

Mediato, J.F., Moreno, I., García-Crespo, J.; Fernández-Canteli, P.  
 Empresa: IGME-CSIC  
 Dirección: Ríos Rosas 23, 28003 Madrid  
 Teléfono: +34 913495980  
 E-mail: jf.mediato@igme.es

**Resumen** – El proyecto europeo PilotSTRATEGY (2021-2026) tiene como objetivo la caracterización geológica en detalle de tres estructuras con potencial para almacenar CO<sub>2</sub> en acuífero salinos en España, Francia y Portugal, y evaluar su idoneidad para la realización de un piloto teniendo en cuenta, además de sus características geológicas, las posibilidades técnicas, económicas, medioambientales y sociales. En esta potencia se describe la metodología seguida por el equipo del IGME-CSIC para la caracterización geológica de la estructura en estudio en España como posible almacén de CO<sub>2</sub>, realizado dentro del proyecto PilotSTRATEGY.

### 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto PilotSTRATEGY financiado por el Programa Horizonte 2020 de la Unión Europea tiene como objetivo mejorar la comprensión de los almacenes geológicos de CO<sub>2</sub> en acuíferos salinos profundos de cinco regiones industriales europeas del sur y del este de Europa (Figura 1). Los acuíferos profundos no han sido hasta ahora estudiados con el suficiente detalle como para confirmar su potencial capacidad de almacenamiento. Además, debe mostrar tanto a la industria como a la sociedad que el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> en acuíferos salinos es una solución viable, tanto técnicamente como económicamente, para ayudar a alcanzar el reto de emisiones neutras de 2050.

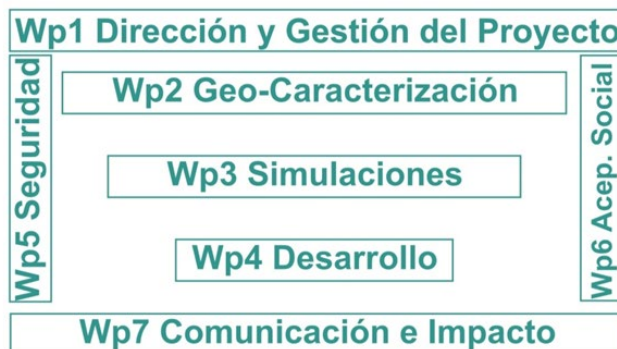


**Figura 1 Localización de las zonas de interés, dónde se están analizando las características técnicas y económicas de los acuíferos salinos profundos.**

A lo largo del proyecto se estudian en detalle tres regiones del sur de Europa: Cuenca de París (Francia), Cuenca de Lusitana (Portugal) y Cuenca del Ebro (España) (Fig. 1). Esto incluye la adquisición de nuevos datos geofísicos, estratigráficos, petrofísicos, geomecánicos, geoquímicos, hidrogeológicos, para construir modelos estáticos y dinámicos fiables, de forma, que se pueda

## *“Trabajando para la sociedad”*

corroborar la viabilidad de los almacenes y poder llegar a hacer un diseño preliminar de las condiciones de almacenamiento y de las infraestructuras. Al final del proyecto, el nivel de caracterización del sitio en estas tres regiones será suficiente como para permitir que se tome una decisión final de inversión, y estar en disposición de obtener los permisos necesarios. Dicha metodología, forma la estructura central en la que se organiza en proyecto (Figura 2).



**Figura 2 Estructura general del proyecto, diferenciando los distintos “workpackages” del que está formado.**

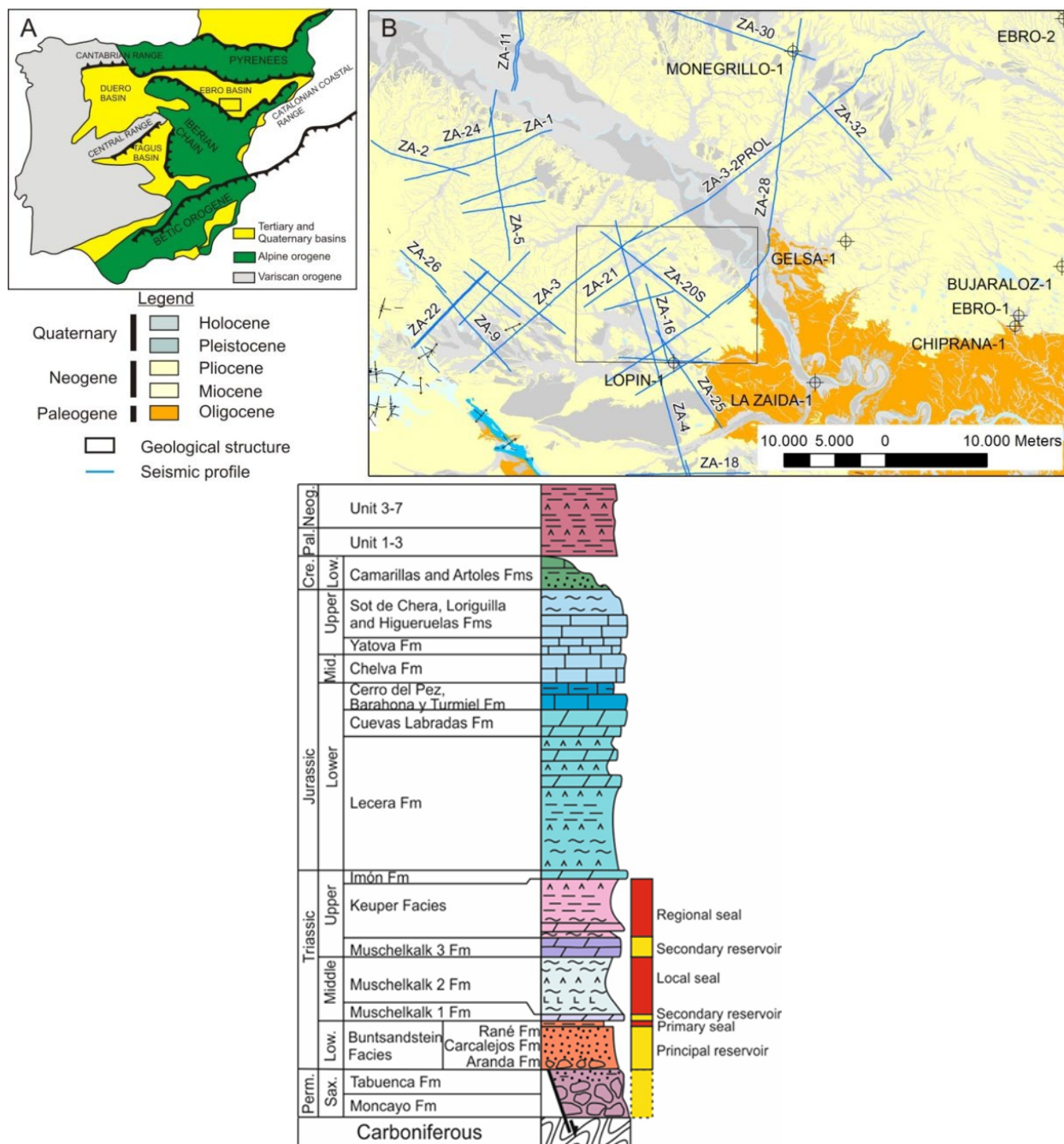
También se apoya incrementar el nivel de confianza de dos regiones de Europa del Este, Macedonia Occidental (Grecia) y Alta Silesia (Polonia) (Fig. 1), de forma que puedan comenzar a planificar el desarrollo de sus recursos de almacenamiento.

El proyecto tiene entre sus retos conocer la visión de la sociedad ante un proyecto de estas características, por ello adoptará un enfoque sistemático para analizar los factores que influyen en la aceptación social de los entornos elegidos, y así desarrollar métodos para el compromiso social. Así mismo, tanto los agentes regionales (públicos y privados) como el público local participarán de forma activa en la toma de decisiones del diseño del desarrollo del posible almacén. Para ello, hay que llevar a cabo una intensa difusión y divulgación de las características técnicas y de seguridad tanto al público como a los responsables políticos, que finalmente, son los últimos responsables de tomar las decisiones.

## **2. CARACTERIZACIÓN DEL ACUÍFERO SALINO DE ESPAÑA**

El acuífero salino elegido en España se sitúa en el margen meridional de la Cuenca del Ebro, aproximadamente a unos 30 Km al SE de la ciudad de Zaragoza, donde a partir de trabajos previos del Instituto Geológico y Minero de España (Lobón et al., 2010), se identificaba un posible almacén geológico de CO<sub>2</sub> a unos 1600 m de profundidad. El acuífero de interés está compuesto por las formaciones arenosas en facies Germánicas del Buntsandstein (Figura 3.)

*“Trabajando para la sociedad”*



**Figura 3 Localización y unidades estratigráficas. Marcado en amarillo, las posibles unidades almacén, y, en rojo, las formaciones sello.**

**2.1. Datos de partida**

La información de partida proviene de la exploración de hidrocarburos que se hizo a finales de los años 70', y que terminó con la realización de un sondeo de exploración denominado Lopín.

La metodología empleada consiste en la integración de tres técnicas geofísicas: interpretación de los perfiles sísmicos 2D ya mencionados, el estudio de las anomalías gravimétricas a partir de los datos recogidos en una campaña realizada al efecto y el análisis de datos de sísmica pasiva utilizando el método H/V. Además, se realizaron dos campañas de campo para la toma directa de datos de afloramientos que incluyeron el levantamiento de columnas estratigráficas y la toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio (Tabla 1).



*“Trabajando para la sociedad”*

**Tabla 1. Datos utilizados para la generación del modelo geológico**

Metodología	Datos disponibles	Notas
<b>Perfiles Sísmicos</b>	9 líneas (SW-NE y NW-SE). 10 horizontes analizados.	Formato SEG-Y, archivos vectorizados desde archivos TIFF (Perfiles sísmicos antiguos).
<b>Datos de pozos próximos</b>	Pozo Lopín-1 (Línea Sísmica ZA-27)	Informes y Datos de Logs. Logs de pozo = corrección de profundidades = interpretación de los horizontes.
<b>Datos de otros pozos</b>	Pozos = 12	Distancias 14 to 94 Km desde Lopín-1. Informes y datos de Logs de los pozos.
<b>Modelización Gravimétrica</b>	(1) 10 secciones = reinterpretación de los perfiles sísmicos existentes. (2) 3 nuevos perfiles = en concreto investigar el extremo SE del modelo.	D2.2 ID number 101022664, <a href="https://pilotstrategy.eu/about-the-project/work-packages/geo-characterisation">https://pilotstrategy.eu/about-the-project/work-packages/geo-characterisation</a> . anomalías Bouguer y Anomalías residuales (mapas).
<b>Sísmica Pasiva</b>	(1) 32 estaciones sísmicas. (2) 12 estaciones sísmicas, sobre el perfil ZA27.	(1) 120 s Sensor 3-componente Trillium Compacto y digitalizador Spyder. (2) 5 s Sensor 3-componente (Tellus by Lunitek) y digitalizador Centaur Nanometric.
<b>Muestras de roca</b>	44 muestras en Torre-Arcas (afloramiento) 21 muestras Peñas-Royas (afloramiento) 10 muestras Chiprana-1 (testigo)	Análisis de Laboratorio
<b>Fotogrametría con Drones</b>	Datos en nubes de alta densidad, 3D. Formato LAS. 2 Afloramientos a 60Km SW del Área de Interés.	Estudio de los cuerpos arenosos del Buntsandstein, geometrías y amalgamamiento.

## 2.2 Interpretación

### Sísmica de reflexión

La interpretación de los horizontes sísmicos se hizo a partir de los perfiles sísmicos de reflexión, que cubren aproximadamente 400 km de longitud total, y datos del pozo Lopin-1 ubicado 2 km al S de la zona estudiada. La descripción de la litología del pozo Lopin-1 aparece en Lanaja (1987), y también están disponibles los registros de densidad y sónico (INFOIGME). Se realizó la conversión de tiempo a profundidad para evitar ambigüedades estructurales y proporcionar una base de profundidad para el modelado de gravedad.

Se interpretaron varios horizontes geológicos basados en profundidad según diferentes patrones de reflectividad y facies sísmicas. A partir de los datos del pozo Lopin-1 y su correlación a través de la línea sísmica de reflexión, se diferencian siete unidades sísmicas principales, de arriba abajo (Fig.3): depósitos cenozoicos; depósitos jurásicos; calizas Hetangienses ( Fm Imón); evaporitas y lutitas del Triásico Superior (facies Keuper), que es el sello regional del acuífero triásico; calizas, anhidritas y arcillas del Triásico Medio (facies Muschelkalk), que comprenden M1, M2 y M3; arenas del Triásico Inferior (facies Buntsandstein), que conforman el posible acuífero salino; y las rocas del basamento paleozoico (Fig. 3).

## "Trabajando para la sociedad"

### Sísmica pasiva

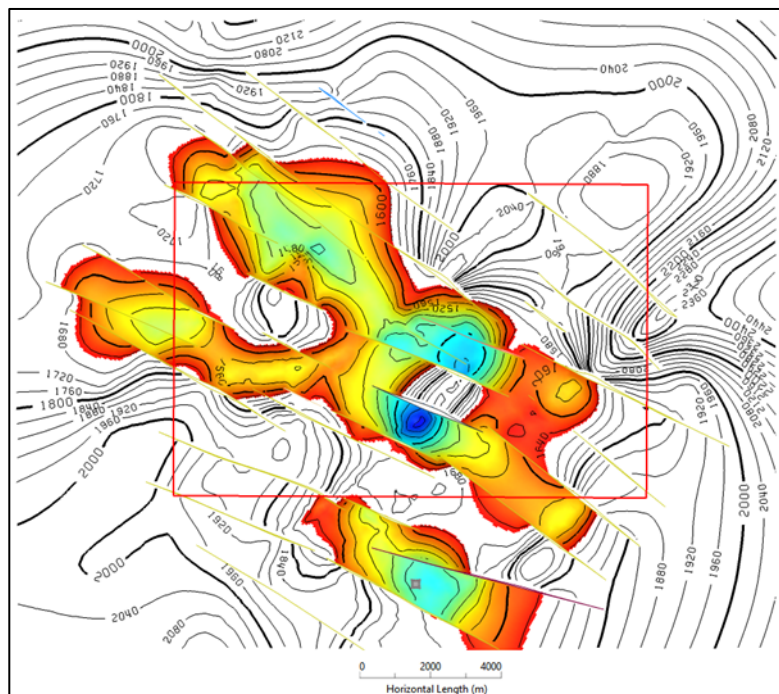
El método H/V calcula la relación entre los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontal y vertical de las mediciones de ruido sísmico en una sola estación. Se basa en utilizar la parte más dominante del ruido sísmico en términos de energía, que son las ondas superficiales. La forma de la relación espectral H/V (picos de amplitud) puede explicarse por los cambios en la frecuencia de la elipticidad de las ondas superficiales. Es un método utilizado en exploración desde la década de 1990 que utiliza la relación entre la frecuencia correspondiente a los picos de amplitud de la curva H/V (H/V) y la profundidad (h) de un contacto con un contraste de impedancia significativo.

Los datos se adquirieron a lo largo del perfil sísmico de reflexión ZA-07 en 12 ubicaciones espaciadas entre 1 y 2,3 km. También se ubicaron dos estaciones adicionales cerca del pozo Lopín-1 para realizar verificaciones en el terreno. Las curvas H/V finales son el promedio de la relación espectral horizontal a vertical de cada ventana.

### Gravimetría

Durante el año 2021 se llevó a cabo una campaña gravimétrica de detalle, con un espaciado de 250 m para mejorar la resolución del modelo estructural obtenido de la interpretación sísmica y del que se ha hecho una modelización gravimétrica 2.5D, con el fin de definir la geometría de la estructura geológica.

Las anomalías observadas muestran, principalmente, una sucesión de máximos y mínimos con amplitudes alrededor de 3-4 mGal que pueden asociarse a la presencia de una serie de *horst* y *grabens* de basamento que afectan a las unidades triásicas, pero que progresivamente se atenúa la deformación en las unidades mesozoicas y, finalmente, el Terciario no muestra deformación ni afección de las distintas fallas.



**Figura 4** Isóbatas del techo del Buntsandstein mostrando la estructura con el probable cierre a aproximadamente 1650 m de profundidad (b.n.m). El cuadro rojo limita el área de interés propuesta inicialmente. La estructura más pequeña al sur corresponde a la explorada en los años 80 y perforada con el pozo Lopín-1 (punto gris). Los colores rojos son más profundos que los azulados.

## "Trabajando para la sociedad"

La combinación de estas tres técnicas ha permitido definir una estructura geológica controlada por una sucesión de *horsts* y *grabens*. Así, el acuífero salino está delimitado por una serie de fallas normales escalonadas y cierres de buzamiento suaves. La posible estructura del almacén geológico de CO<sub>2</sub> se sitúa en uno de estos horst de dirección NO-SE. Así, el mapa de isóbatas del techo de las facies Buntsandstein, se puede definir una estructura siguiendo una isóbata de cierre a aproximadamente 1650 m de profundidad-bmsl (Figura 4).

Las fallas que presenta en la actualidad muestran la posible conexión de la formación Buntsandstein con las formaciones Muschelkalk (M1 y M3), lo que permitiría ampliar la capacidad de almacenamiento, aunque litológicamente es mucho más variable. La formación del sello regional (facies Keuper) no parece verse afectado por las fallas del reservorio, lo que indica que podría asegurar la estanqueidad de la estructura.

### Datos de pozos

Los gradientes de temperatura estimados en los pozos cercanos se consideran gradientes normales, los pozos vecinos tienen gradientes de temperatura de aproximadamente 28-32 °C/Km.

Sobre las presiones la Tabla 2 resume los registros de los pozos cercanos

**Tabla 2 Datos de presiones extraídos de los pozos cercanos**

Wells	Formation Pressure at Buntsandstein	Top Buntsandstein (meters bmsl)
MONEGRILLO-1	162 bar	909
CHIPRANA-1	217 bar	1392
EBRO-1	205 bar (1)	1341
<i>(1)- from mud density data.</i>		

En los registros eléctricos, las Facies Buntsandstein se ha dividido en tres partes: conglomerados basales, secuencias medias de arenisca (Unidad B1) y formación superior más arcillosa (Unidad B2). En general, las Facies Buntsandstein tienen origen fluvio-lacustre, canales con drenaje hacia el NE, con principal aporte de sedimentos desde el SO (Arche et al., 2004).

Los conglomerados (unas pocas decenas de metros de espesor) presentan porosidades de 3 a menos de 10%.

La unidad denominada B1 es el reservorio principal, de 120-140m de espesor, con un Net-to-Gross muy alto (≈70%) y con porosidades muy variables de 9 a 22% en los pozos vecinos.

La unidad B2 es mucho más arcillosa con intercalaciones arenosas, estas areniscas presentan porosidades medias del 3% al 18%.

Encima de estas unidades se sitúa la formación Röt o Rané que es una formación sello (arcillas y evaporitas) de unas decenas de metros de potencia, sobre la que se apoya el Muschelkalk (dolomías y evaporitas) (Fig. 3). Esta formación es el resultado de la inundación de toda la cuenca por el Mar Proto-Tethyan desde el E, lo que resultó en la sedimentación de arcillas y dolomías en una llanura costera de salobre a marina (Formaciones Rané y Muschelkalk).

### Datos petrofísicos

Los datos petrofísicos son información clave para modelar los datos geofísicos de campo potencial y para caracterizar las propiedades que se necesitarán en la evaluación del comportamiento del almacén durante la inyección de CO<sub>2</sub>.

Las muestras de roca para la caracterización petrofísica y geomecánica se obtuvieron a partir de dos diferentes fuentes: 1) muestras de secuencias estratigráficas estudiadas en afloramientos naturales

## *"Trabajando para la sociedad"*

(área de Montalbán, Cordillera Ibérica) y muestras de testigos de pozos (pozo de Chiprana, ubicado a 30 km al este del área de estudio) almacenado en la litoteca del IGME-CSIC.

### **4. CONCLUSIONES**

El resultado preliminar de los estudios geológicos en la cuenca del Ebro confirma la viabilidad geológica de las Facies Buntsandstein como posible formación almacén, a la espera de otros estudios geológicos (geomecánica, geoquímica y modelización dinámica) y técnico / económicos. En vista de la cercanía del año 2050, la voluntad de la UE de 0 emisiones netas de CO<sub>2</sub> para esa fecha y la previsible duración en la construcción y puesta en marcha de un proyecto de este tipo, éste es sin duda un punto de partida necesario para evaluar estos proyectos. Y esta evaluación no solo ha de ser técnica si no que debe tener en cuenta el impacto social-económico y los cambios regulatorios que se crean convenientes.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo se realiza en el marco del proyecto PilotSTRATEGY. El proyecto PilotSTRATEGY ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 101022664.

### **REFERENCIAS**

- García Lobón, J.L., Reguera, M.I., Martín León, J., Rey Moral, C. y Berrezueta, E.R. 2010. Plan de selección y caracterización de áreas y estructuras favorables para el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> en España: Resumen ejecutivo. IGME, 76 pp.
- INFOIGME. Visor cartográfico. GEODE. CN Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Disponible en: <http://info.igme.es/visorweb/>
- Lanaja, J. M., 1987. Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la Geología de España. Instituto Geológico y Minero de España Ed., 465 pp., 17 mapas.