

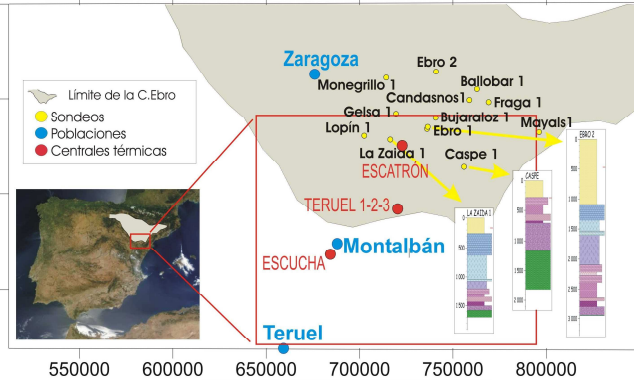
# AGP de CO<sub>2</sub>: Estudio de la porosidad de la formación almacén areniscas y conglomerados del Buntsandstein

Barrios Virtus, I; Campos Egea, R; Puras González, C; González Luján, A.M

CIEMAT - Departamento de Medio Ambiente- Laboratorio de Caracterización Petrofísica

**JUSTIFICACIÓN:** El almacenamiento geológico es una de las iniciativas que en el ámbito internacional están cobrando mayor relevancia para reducir las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>. La Cuenca del Ebro ha sido seleccionada en territorio peninsular como una de las áreas potencialmente favorables para este almacenamiento.

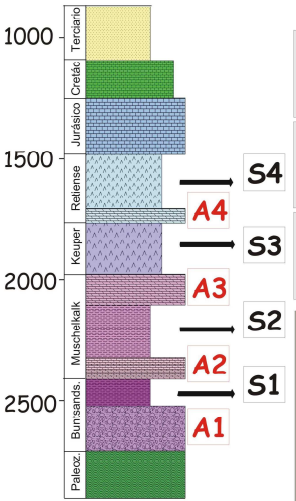
El trabajo que se presenta se encuadra en los encaminados a hacer realidad el AGP de CO<sub>2</sub> y aporta datos relativos a la porosidad y el sistema de poros de una de las formaciones almacenadas, las areniscas y conglomerados del Buntsandstein. El trabajo comprende un análisis de la información, el muestreo de la formación almacén, la determinación experimental y análisis, así como la modelización del sistema poroso.



**GEOLOGÍA:** La Cuenca del Ebro constituye la cuenca de antepaís del Orogén Pirenaico. El relleno sedimentario terciario tiene un espesor muy variable, hasta 5000 m, y en la serie mesozoica que se dispone bajo estos sedimentos, es factible encontrar formaciones continuas, extensas y suficientemente potentes que actúen como almacenes. Además existen potentes formaciones constituidas por rocas evaporíticas y arcillosas, que pueden actuar como sellos suprayacentes.

La baja o muy baja densidad de fracturación, entre 0 y 10 fracturas/100 km<sup>2</sup>, unido a la baja actividad sísmica, hacen de la Cuenca del Ebro un área en principio favorable para el AGP de CO<sub>2</sub>.

**OBJETIVO:** La evaluación de la microestructura porosa de la formación areniscas y conglomerados del Buntsandstein como roca almacén de un supuesto almacenamiento geológico profundo de CO<sub>2</sub> en el Sector Centro-Sur de la Cuenca del Ebro.



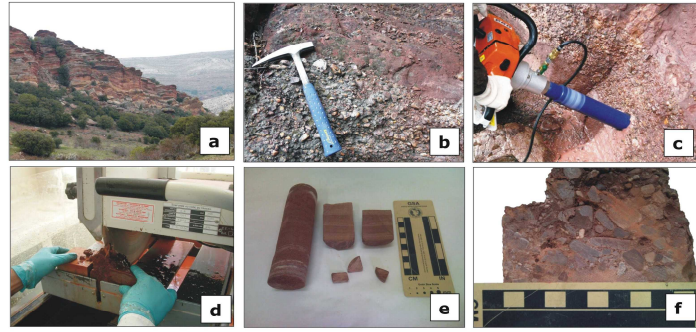
<b>A4</b>	Potencia = 25-181 m Potencia media = 68 m Profundidad techo = 900-2517 m Profundidad muro = 1045-2655 m Bajo nivel de estanqueidad V <sub>r</sub> (A4) = 64.00 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
<b>A3</b>	Potencia = 84-296 m Potencia media = 126 m Profundidad techo = 277-3000 m Profundidad muro = 354-3102 m Alto nivel de estanqueidad V <sub>r</sub> (A3) = 164.59 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
<b>A2</b>	Potencia = 30-104 m Potencia media = 78 m Profundidad techo = 457-3320 m Profundidad muro = 551-3415 m Alto nivel de estanqueidad V <sub>r</sub> (A2) = 103.35 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
<b>Areniscas y conglomerados Buntsandstein</b>	
<b>A1</b>	Potencia = 17-415 m Potencia media = 126 m Profundidad techo = 705-3575 m Profundidad muro = 1160-3714 m Alto nivel de estanqueidad por la presencia de cuatro posibles sellos: S1, S2, S3 y S4. V <sub>r</sub> (A1) = 116.57 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>

## MUESTREO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS:

En trabajos previos se seleccionaron cuatro almacenes posibles (A1-A4) bajo los sedimentos terciarios de la Cuenca del Ebro. De estos cuatro almacenes se ha procedido al muestreo de los materiales equivalentes y análogos al almacén A1 en afloramiento en el área de Montalbán (Zaragoza).

Las muestras de este almacén A1 se han tomado con perforadora sacatestigos y consisten en conglomerados con intercalaciones de areniscas. Los conglomerados están formados por clastos de cuarcitas subredondeados de tamaños muy variables y su matriz corresponde a areniscas microconglomeráticas.

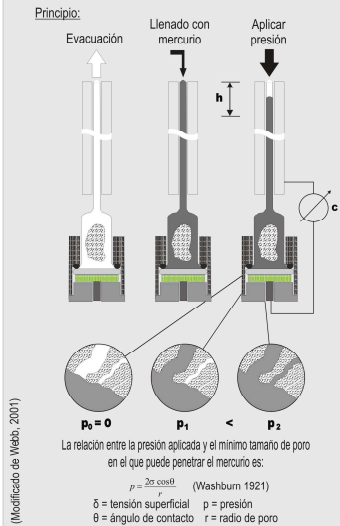
La preparación de muestras ha incluido el corte con disco de diamante y el secado en estufa para la medida de la porosidad, y la preparación de secciones para análisis de imágenes y cuantificación de componentes.



## ANÁLISIS DE IMÁGENES:

El análisis de imágenes se ha utilizado en las secciones de conglomerados para la cuantificación de componentes y para la evaluación de las posibles anisotropías en las muestras, con el fin de ajustar las medidas experimentales. Se han definido las proporciones de clastos y matriz a partir de la cartografía de fases en el Software AnaliSys (SIS).

## Porosimetría de intrusión de mercurio



La relación entre la presión aplicada y el mínimo tamaño de poro en el que puede penetrar el mercurio es:

$$p = \frac{2\gamma \cos\theta}{r}$$

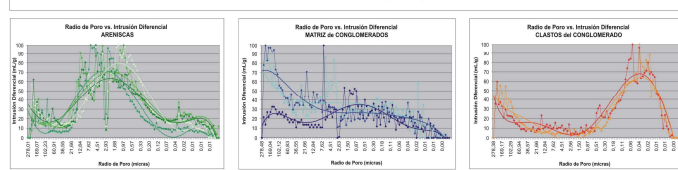
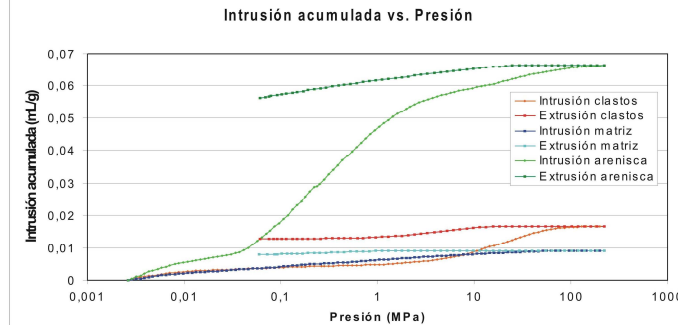
(Washburn 1921)

γ = tensión superficial  
θ = ángulo de contacto  
r = radio de poro

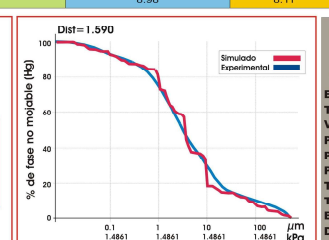
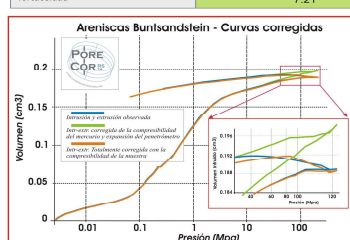
(Modificado de Webb, 2001)

## MODELIZACIÓN:

Se ha realizado la optimización de los resultados de la porosimetría de mercurio y modelización del sistema, con la reconstrucción tridimensional de la estructura porosa. Se ha utilizado el código informático Pore-Cor<sup>TM</sup> el cual ha sido desarrollado por el "Environmental and Fluid Modelling Group" de la Universidad de Plymouth (Inglaterra). Pore-Cor modeliza la microestructura y conductividad hidráulica de materiales porosos a partir de los datos experimentales derivados de la intrusión de mercurio. Se ha procedido en primer lugar a corregir las curvas de intrusión-extrusión obtenidas eliminando los efectos debidos a la compresibilidad de la muestra, a la expansión del penetrómetro y a la contracción del mercurio. Se ha utilizado el algoritmo Nelder-Mead Simplex (Nelder & Mead, 1965) a partir de una disposición estocástica de poros, obteniendo las distribuciones que se muestran en las figuras adjuntas y tabla.



	Arenisca				Matriz			Clastos	
Volumen total intruido (mL/g)	0.0761	0.0607	0.0647	0.0636	0.0082	0.0086	0.0103	0.0136	0.0196
Área total de poros (m <sup>2</sup> /g)	0.777	1.300	0.689	1.210	0.092	0.086	0.150	0.624	0.875
Diámetro medio de poros (vol.) (nm)	6701.8	3473.4	3215.4	4421.2	3286.6	11350.7	24771.2	161.7	163.0
Diámetro medio de poros (área) (nm)	25.1	21.6	41.0	23.9	59.7	58.2	33.5	39.9	38.3
Diámetro de poro medio (4V/A) (nm)	391.7	186.9	376.1	210.1	357.3	404.0	274.9	87.1	89.4
<b>Porosidad (%)</b>	<b>16.6776</b>	<b>13.7728</b>	<b>14.5554</b>	<b>14.2892</b>	<b>2.0688</b>	<b>2.2214</b>	<b>2.6391</b>	<b>3.5057</b>	<b>5.1073</b>
Long. característica de poro (nm)	374561.5	394475.9	421488.7	510792.9	463814.4	308932.1	543426.8	390392.6	516448.0
Tortuosidad	8.1055	6.7091	6.8918	7.1158	9.0076	9.4059	6.5374	8.6399	7.5716
					<b>Valores medios</b>				
<b>Porosidad (%)</b>							<b>2.31</b>		<b>4.31</b>
Volumen total intruido (mL/g)							0.009		0.017
Área total de poros (m <sup>2</sup> /g)							0.100		0.740
Tortuosidad							8.98		8.11



## LA POROSIMETRÍA:

La porosimetría de mercurio es una técnica destructiva que permite estudiar la red porosa de los materiales en un rango de poro que oscila entre 0,003 - 360 μm. Consiste en la penetración controlada del mercurio como respuesta a una presión aplicada, existiendo una relación matemática entre el diámetro de poro intruido por el mercurio, y la presión necesaria para que se produzca tal intrusión. Esta técnica es adecuada para muestras sólidas que no se humedecen ni se amalgaman en presencia de mercurio como es el caso de la gran mayoría de suelos y rocas. Esta técnica resulta de enorme interés por cubrir un amplio rango de tamaño de poro y proporcionar datos precisos del espacio de poros, los cuales se correlacionan con diferentes propiedades físicas de material estudiado.

## RESULTADOS:

Se han obtenido las curvas de intrusión-extrusión características de los materiales analizados. La curva correspondiente a las areniscas se diferencia de las otras dos, matriz y clastos de los conglomerados, por su rama ascendente y por los volúmenes de mercurio intruidos, que son mayores y están comprendidos entre 0.06 y 0.08 (mL/g). Las curvas de intrusión-extrusión no coinciden, dando lugar a una histeresis que responde a dos causas posibles, por una parte, a las variaciones en el ángulo de contacto, siendo mayor en la intrusión, y por otra, al atrapamiento de mercurio durante la extrusión debido a la presencia de poros con forma de botella, con cuellos o estrechamientos que dificultan la extrusión. Esta histeresis o la diferencia entre las ramas de intrusión y extrusión nos da una idea de la porosidad atrapada. Las tres gráficas que enfrentan al radio de poro y la intrusión diferencial muestran la distribución de poros. Las areniscas tienen una única familia de poros en el rango de los macroporos, mientras que los clastos presentan una familia en el rango de mesoporos y otra en el de los macroporos. Se han determinado para las areniscas, matriz y clastos respectivamente, porosidades medias de 14.82%, 2.31% y 4.31%, junto con los datos geométricos que se presentan en la tabla adjunta. Cabe destacar la variación de la tortuosidad del sistema poroso (7.21, 8.98 y 8.11 respect.) lo que es indicativo de la facilidad que tendría un fluido o gas de percolar a través del sistema.

## Valores de la simulación del sistema de poros

Parámetro	Estocástica
Tamaño celda unidad (lado)	8745.321 μm
Volumen de celda unidad	661.983 mm <sup>3</sup>
Porosidad del porosímetro	14.55%
Porosidad corregida por Pore-Cor	13.47%
Porosidad simulada Pore-Cor	13.48%
Tamaño mínimo de garganta	0.007 μm
Tamaño máximo de garganta	556.923 μm
Esp. med. entre filas de poros	871.523 μm
Distancia simulación/experimental	1.59

