

# Posibilidades de almacenamiento geológico profundo en la cuenca del Júcar

G. Ortiz

Instituto Geológico y Minero de España. c/ Ríos Rosas 23. 28003 Madrid  
E-mail: gema.ortiz@igme.es

## RESUMEN

El estudio sobre las posibilidades de almacenamiento geológico profundo de CO<sub>2</sub> en la cuenca del Júcar, tiene como finalidad básica identificar y definir las litologías o unidades estratigráficas hidrogeológicamente favorables para orientar, de este modo, las posteriores investigaciones de detalle que se lleven a cabo sobre dicho almacenamiento. De la realización de este estudio por parte de un equipo integrado por personal del IGME y de la empresa contratista Estrain S.A., surgió la definición de diversos modelos de inyección, en un primer momento para el tratamiento de residuos líquidos urbanos e industriales, sobre materiales de edad triásica, jurásica y cretácica, estando constituidos los almacenes por materiales detríticos (areniscas del Buntsandstein) y carbonatados (Muschelkalk Inferior y Superior, Jurásico y Cretácico), y las coberteras por arcillas (Buntsandstein), margas-arcillas y evaporitas (Muschelkalk Medio y Keuper) y margas-margocalizas (Jurásico y Cretácico). Posteriormente, y dado que por motivos de capacidad el CO<sub>2</sub> debe almacenarse en estado supercrítico, para este proyecto se ha considerado adecuada la utilización de estos mismos modelos ya existentes como modelos posibles para la inyección.

Palabras clave: almacenamiento, CO<sub>2</sub>, cuenca del Júcar, inyección profunda, modelo

## ***Possibilities of deep geological storage in the Júcar basin***

### ABSTRACT

*The study about the possibilities of CO<sub>2</sub> deep geological storage in the Júcar basin, has the basic purpose of identifying and defining the lithologies or stratigraphic units which are favourable from a hydrogeological point of view, so that it will be possible to aim later detailed researches about that kind of storage. As a consequence of this study, carried out by the staff of the Spanish Geological Survey and that one of the company Estrain S.A., different injection models about Triassic, Jurassic and Cretaceous materials have been defined. On the one hand, reservoirs are composed by terrigenous materials (Buntsandstein sandstones) and carbonate deposits (Lower and Upper Muschelkalk, Jurassic and Cretaceous) whereas, on the other hand, overburdens are formed by claystones (Buntsandstein), marlstones-claystones and evaporites (Middle Muschelkalk and Keuper) and marly limestones (Jurassic and Cretaceous). At first, these geological models were designed for the treatment of urban and industrial liquid wastes, but later, on the occasion of this project and taking into account that CO<sub>2</sub> must be stored in supercritical conditions, it was considered the suitability of these same models for the injection of this gas.*

*Key words: CO<sub>2</sub>, deep injection, Júcar basin, model, storage*

## Introducción

Las actuales exigencias ambientales requeridas tras la definitiva ratificación del Protocolo de Kyoto, han obligado al desarrollo de toda una política cuya finalidad pretende ser la de alcanzar el equilibrio entre el desarrollo industrial y la protección del entorno natural. Para ello, se ha procedido a la búsqueda de distintas soluciones para minimizar el impacto ambiental, destacando entre todas ellas la del desarrollo de técnicas de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## Localización geográfica y geológica

La cuenca hidrográfica del Júcar está localizada al este de la Península Ibérica. Su extensión total es de 42.989 km<sup>2</sup> y comprende las provincias de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca, Valencia y Teruel, además de una pequeña zona en la provincia de Tarragona (Fig. 1).

El relieve está constituido por una serie de grandes unidades en forma de extensos altiplanos, sierras y valles interiores, cuyas direcciones responden a las de los distintos dominios tectónicos que concurren



Fig. 1. Cuenca hidrográfica del Júcar. Tomada de [www.chj.es](http://www.chj.es)  
Fig. 1. Júcar hydrographic basin. From: [www.chj.es](http://www.chj.es)

en el ámbito de la cuenca: catalánide, ibérico, bético, así como sus interferencias.

### Metodología de trabajo

Con el fin de localizar formaciones receptoras confinadas, con continuidad lateral y calidad del agua adecuadas para la implantación de sistemas de inyección, se ha recopilado, revisado y analizado toda la bibliografía considerada de interés para este proyecto, así como la información geológica, hidrogeológica, geofísica y de sondeos que se encuentra disponible en relación a la zona de estudio. Para la consecución de este objetivo, un equipo mixto compuesto por personal del IGME y de la empresa contratista Estrain, S.A. ha desarrollado, durante un tiempo aproximado de seis meses, el siguiente índice de trabajo:

- Determinación del modelo de inyección: selección y determinación de las características de las formaciones permeables y las coberteras aptas para la inyección, mediante análisis estratigráficos y tectónicos de las áreas de investigación.
- Recopilación y análisis de estudios hidrogeológicos previos realizados a los acuíferos explotados en la zona, y evaluación de aquellos a proteger por contener recursos explotables.
- Análisis y reinterpretación de los sondeos de petróleo y de los datos base de las diagráfias y las geofísicas existentes, tanto superficiales como de pozo, al objeto de caracterizar almacenes y coberteras.

### Resultados

Para el dominio Castellón-Maestrazgo se han analizado las siguientes formaciones como objetos potenciales para su investigación como almacenes posibles de CO<sub>2</sub>:

#### ***Areniscas del Buntsandstein***

Distribuidas por toda la provincia de Castellón, se trata de formas lenticulares de areniscas englobadas en potentes paquetes arcillosos que actúan de formación confinante, constituyendo el denominado Modelo Triásico Profundo (Fig. 2).

Si bien superficialmente puede comportarse como un acuífero de baja permeabilidad, en profundidad deja de serlo, tanto por la mayor compactación de las areniscas como por la presencia de una matriz arcillosa en los lenticiones (Escalada, Ramos *et al.*, 1990).

#### ***Dolomías del Muschelkalk Inferior y Superior***

Se localizan al norte y sur de la provincia de Castellón y presentan, en alguna ocasión, ciertas intercalacio-

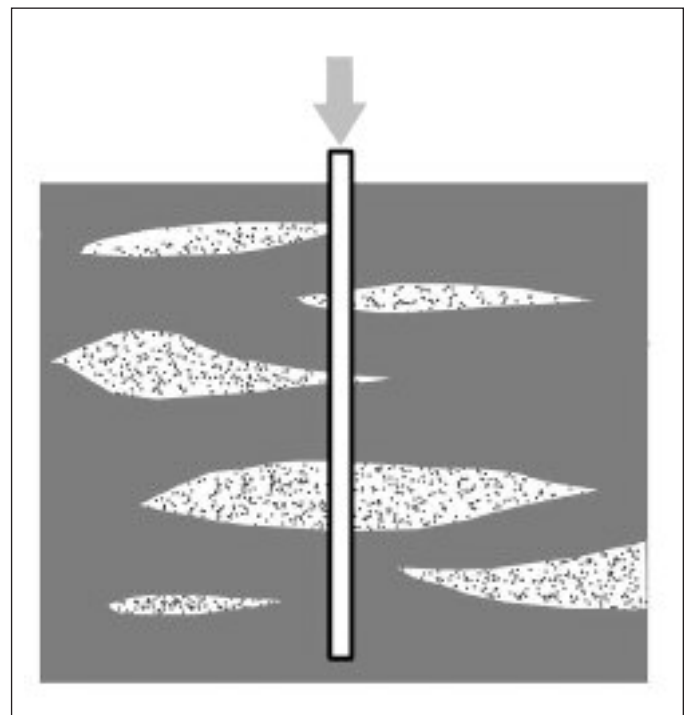


Fig. 2. Modelo Triásico. Tomado de Escalada *et al.*, 1990  
Fig. 2. Triassic Model. From: Escalada *et al.*, 1990

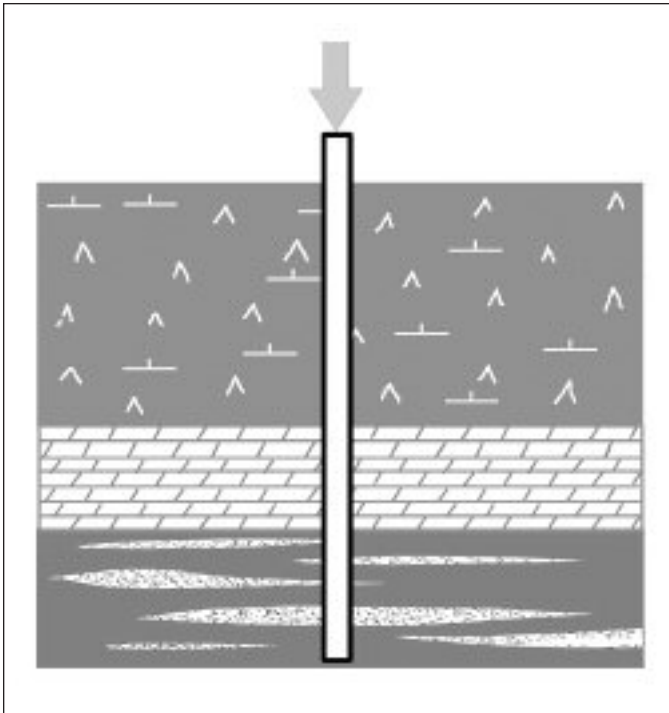


Fig. 3. Modelo Carbonatado-Muschelkalk Inferior. Tomado de Escalada *et al.*, 1990

*Fig. 3. Carbonate-Lower Muschelkalk Model. From: Escalada et al., 1990*

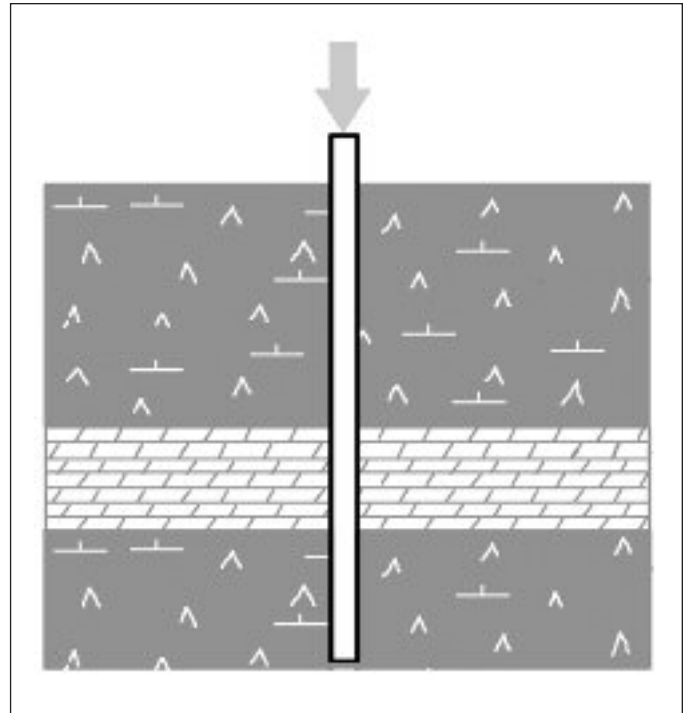


Fig. 4. Modelo Carbonatado Muschelkalk Superior. Tomado de Escalada *et al.*, 1990

*Fig. 4. Carbonate-Upper Muschelkalk Model. From: Escalada et al., 1990*

nes margosas y brechoides, y ciertas oquedades debido a la disolución de las evaporitas. En el Modelo Carbonatado-Muschelkalk Inferior el sello está constituido por arcillas versicolores yesíferas e intercalaciones de carbonatos muy alterados propios del Muschelkalk Medio, mientras que en el Superior, los confinantes son las arcillas y evaporitas del Keuper (Figs. 3 y 4) (Escalada, Ramos *et al.*, 1990).

En la zona norte, estas dolomías son muy compactas y con escasa porosidad y permeabilidad siendo, en principio, poco aconsejable su elección como almacén de inyección.

### **Formaciones carbonatadas jurásicas**

En el conjunto del megaciclo jurásico, y distribuidos por toda la provincia de Castellón, aparecen ciertos paquetes carbonatados muy permeables de gran extensión, cubiertos por niveles margosos-arcillosos que actúan de cobertera (Fig. 5). Hay que destacar como niveles permeables importantes, las carniolas del Rethiense y las calizas y dolomías del Dogger y el Malm.

Tanto en las áreas interiores de la mitad norte como en toda la mitad sur, estas formaciones, consti-

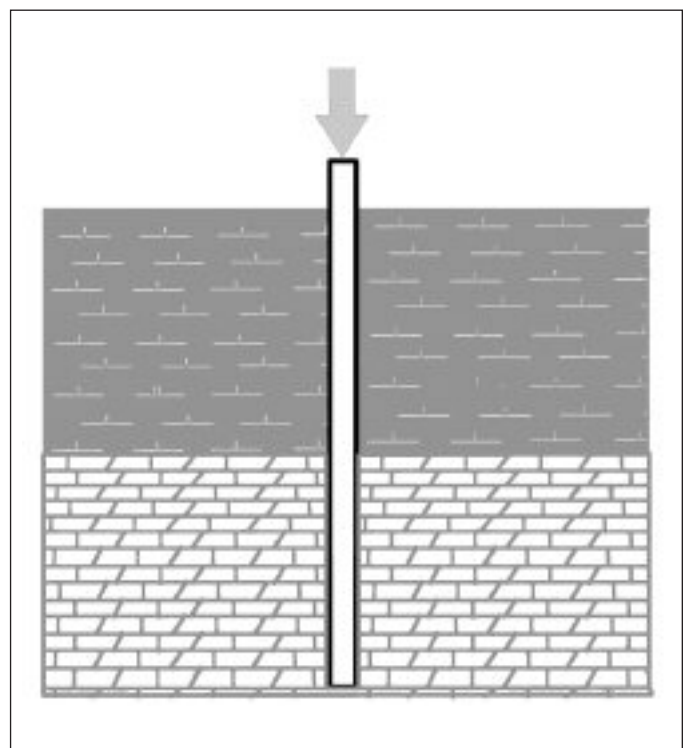


Fig. 5. Modelo Jurásico. Tomado de Escalada, Ramos *et al.*, 1990

*Fig. 5. Jurassic Model. From: Escalada, Ramos et al., 1990*

tuyentes del Modelo Jurásico, se encuentran aflorantes o muy superficiales, afectadas por una tectónica compleja y dando lugar a acuíferos de agua dulce, por lo que sólo pueden considerarse almacén en las áreas costeras de la mitad norte. (Escalada, Ramos *et al.*, 1990).

### Formaciones calcáreas del Cretácico

Se encuentran, una vez más, repartidas por toda la provincia de Castellón y están constituidas principalmente por calizas de importante permeabilidad y extensión lateral. En el caso del Cretácico inferior, se encuentran confinadas por importantes paquetes margosos de gran extensión, mientras que el Cretácico superior queda perfectamente cubierto por los materiales detríticos impermeables del Terciario (Figs. 6 y 7) (Escalada, Ramos *et al.*, 1990).

Estos almacenes se encuentran generalmente a poca profundidad por lo que, al contener agua escasamente salada, deben ser descartados como objetivos de una posible inyección.

Se han delimitado y caracterizado tres zonas potencialmente favorables pertenecientes al dominio bético en las que, a priori, parecen existir las condiciones idóneas para la implantación de un sistema de inyección de CO<sub>2</sub>:

### Área de Calpe

La depresión de Calpe está constituida por una serie de materiales miocenos de relleno, fundamentalmente margas con algunas calizas arenosas y arcillas, bajo la cual subyacen dos niveles acuíferos dispuestos sobre un tramo impermeable de edad Neocomiense (Fig. 8).

La formación receptora se trata de un nivel permeable carbonatado oligoceno formado litológicamente por calizas detríticas pararecificales frecuentemente karstificadas; los niveles calcáreos del Cretácico Inferior o Superior podrían aportar capacidad receptora adicional en caso de inyectar grandes caudales (Ramos, Sánchez *et al.*, 1992).

El acuífero sufre intrusión marina, por lo que se estima una salinidad superior a 10000 mg/l en la banda más próxima a la costa. Además, la disposición de afloramientos y los datos de sondeos existentes en la zona, confirman la continuidad estratigráfica de los niveles receptor y confinante.

### Área de Benidorm-Villajoyosa

Presenta una formación receptora formada por calizas de edad Cenomaniense a Turoniense, y un confinamiento compuesto por depósitos de margas y mar-

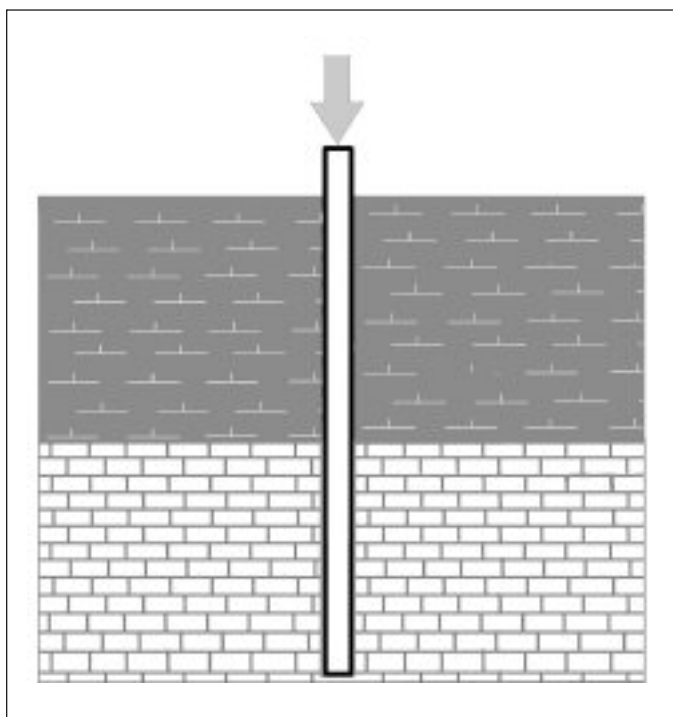


Fig. 6. Modelo Cretácico Inf. Tomado de Escalada *et al.*, 1990  
Fig. 6. Lower Cretaceous Model. From: Escalada *et al.*, 1990

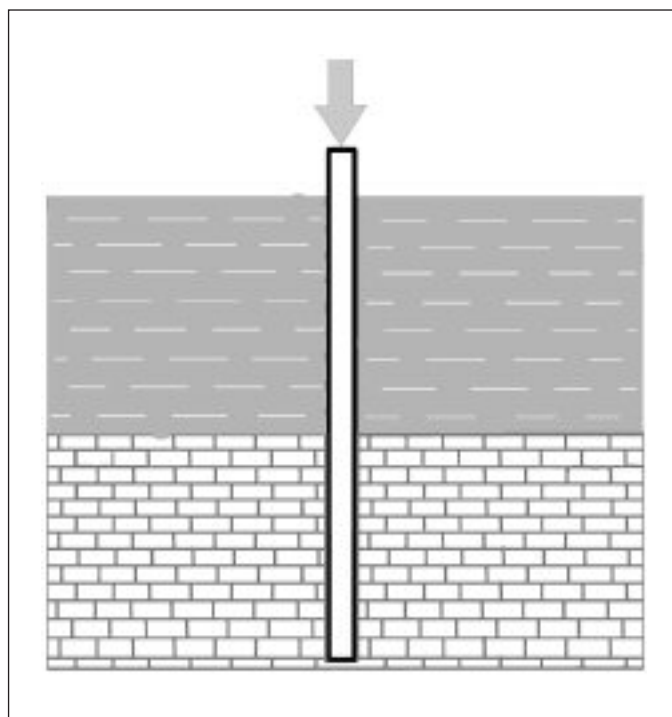


Fig. 7. Modelo Cretácico Sup. Tomado de Escalada *et al.*, 1990  
Fig. 7. Upper Cretaceous Model. From: Escalada *et al.*, 1990

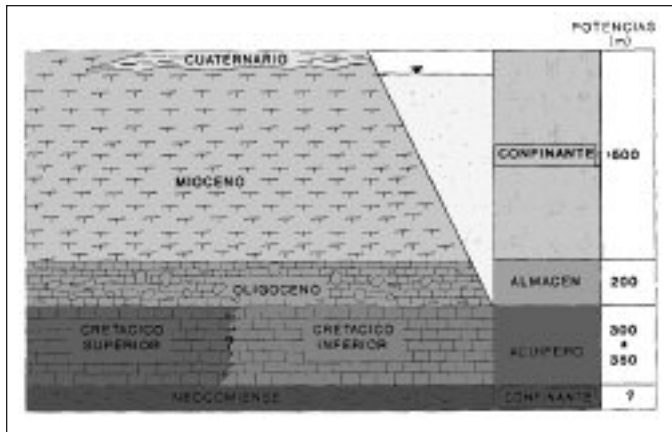


Fig. 8. Modelo de inyección para el área de Calpe. Tomado de Ramos, Sánchez *et al.*, 1992  
 Fig. 8. Injection model for the Calpe area. From: Ramos, Sánchez *et al.*, 1992

gocalizas de edad Senoniense localizados por encima del almacén en posición paracordante (Fig. 9) (Ramos, Sánchez *et al.*, 1992).

La tectónica dominante en la zona no supone interrupciones importantes en la continuidad de los niveles almacén y confinante en el dominio continental. Por otro lado, las salinidades obtenidas en los análisis realizados son superiores a 1000 ppm, por lo que resulta posible cierta conexión hidráulica de la formación con el mar Mediterráneo.

### Cuenca Neógena del Sur de Alicante

Consiste en un conjunto de fosas y relieves altos recu-

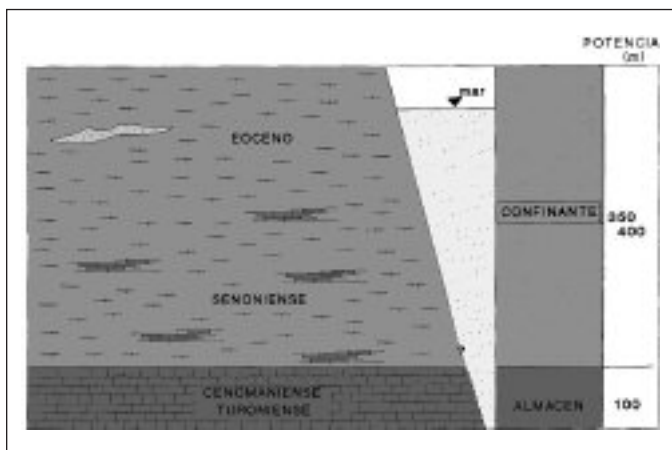


Fig. 9. Modelo de inyección para el área de Benidorm-Villajoyosa. Tomado de Ramos, Sánchez *et al.*, 1992  
 Fig. 9. Injection model for the Benidorm-Villajoyosa area. From: Ramos, Sánchez *et al.*, 1992

biertos por sedimentos terciarios, fundamentalmente margas pliocenas, cuyo zócalo está constituido por los materiales carbonatados y permeables del Trías Alpujárride (Fig. 10) (Ramos, Sánchez *et al.*, 1992).

La continuidad lateral de la formación ha sido confirmada por todos los sondeos petroleros perforados en la zona, así como por sus afloramientos en los bordes de la cuenca, y el agua de formación del almacén presenta elevadas salinidades superiores a los 70000 ppm.

### Conclusiones

En base a toda la información generada, se puede concluir lo siguiente respecto a las posibilidades reales de constituir almacenes para la inyección de CO<sub>2</sub>:

- En el dominio Castellón-Maestrazgo, sólo parece viable llevar a cabo operaciones de inyección en almacenes geológicos profundos asociados a áreas costeras.
- En la mitad norte de este dominio, las formaciones almacén seleccionadas se reducen a los diferentes tramos carbonatados del Jurásico con una elevada permeabilidad, importantes desarrollos cavernosos y salinidades de agua superiores a 20000 ppm.
- En la mitad sur del mismo dominio, sólo se consideran posibles almacenes de CO<sub>2</sub> las formaciones dolomíticas de los tramos inferior y superior del Muschelkalk, con salinidades de 35000 ppm según el estudio de las diagrías.
- En el dominio bético se han identificado tres posibles zonas de almacenamiento: el área de Calpe, de Benidorm-Villajoyosa y la Cuenca Neógena del Sur de Alicante.

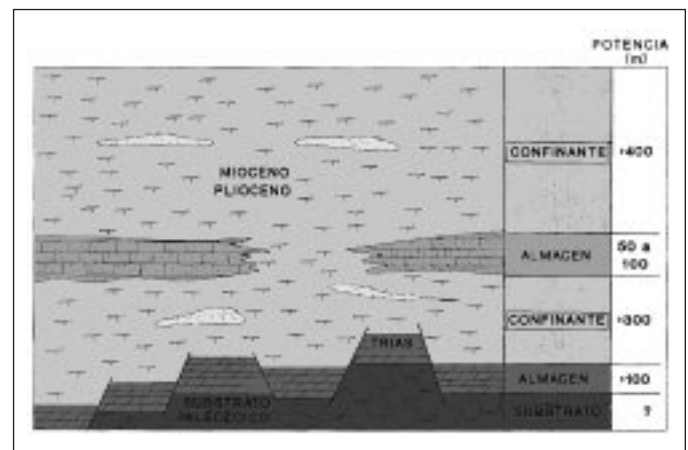


Fig. 10. Modelo de inyección para la Cuenca Neógena del Sur. Tomado de Ramos, Sánchez *et al.*, 1992  
 Fig. 10. Injection model for the South Neogene Basin. From: Ramos, Sánchez *et al.*, 1992



- En Calpe, los niveles carbonatados oligocenos presentan características hidráulicas, potencia, continuidad y salinidad adecuadas para admitir importantes volúmenes de fluido.
- En el área de Benidorm-Villajoyosa, la formación calcárea receptora del Cretácico presenta alta transmisividad, elevada salinidad y continuidad, y confinamiento adecuados para el almacenamiento profundo de CO<sub>2</sub>.
- La Cuenca Neógena del Sur de Alicante es especialmente adecuada para la inyección, debido a su gran potencia permeable, a la eficacia de su confinamiento, así como a la ausencia total de agua subterránea dulce en toda la cuenca.

## Referencias

- Ancochea, E., Barnolas, A. et al. 2004. *Geología de España*. Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 884 pp.
- Escalada, A., Ramos, G. et al. 1990. *Estudio de las posibilidades de utilización de estructuras geológicas profundas para la eliminación de residuos líquidos en la provincia de Castellón de la Plana*. ITGE, Madrid, 197 pp. (Nº archivo Fondo Doc. IGME: 31.950).
- Fernández, A., Navarro, A. et al. 1989. *Las aguas subterráneas en España*. ITGE, Madrid, 591 pp.
- Johansen, R. y Donalson, E. 1973. *Well-injection system for industrial wastes*. Bartlesville Energy Resources Center, Okla.

- Lanaja, J.M., Querol, R. et al. 1987. *Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España*. IGME, Madrid, 465 pp.
- Ramos, G. et al. 1996. Utilización del espacio subterráneo para usos medioambientales. *II Congreso Nacional del Medio Ambiente*, Madrid.
- Ramos, G. et al. 1996. Gestión de residuos líquidos industriales mediante inyección profunda. *III Congreso Latinoamericano de Geología*, Caracas.
- Ramos, G. et al. 1990. La inyección de residuos líquidos mediante sondeos profundos. *Revista Industria Minera*, Madrid, 1-12.
- Ramos, G., Sánchez, J. et al. 1992. *Estudio de las posibilidades de utilización de estructuras geológicas profundas para la eliminación de residuos industriales y urbanos (2ª fase)*. Provincia de Alicante 1991-1992. ITGE, Madrid, 156 pp. (Nº archivo Fondo Doc. IGME: 31.958).
- Vonhof, J.A. y Van Everdingen, R.D. 1972. *Subsurface disposal of liquid industrial wastes*. Inland Waters Directorate, Calgary, Alta.

## Referencias Web

- Confederación Hidrográfica del Júcar, España, 15/09/05, <http://www.chj.es>. E-mail: [oficial@chj.mma.es](mailto:oficial@chj.mma.es)

Recibido: diciembre 2005  
Aceptado: julio 2006