


GOBIERNO DE ESPAÑA
energía ciudad de la


ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂

Andrés Pérez-Estaún, Prof. de Investigación del CSIC
Director de Geología de CIUDEN

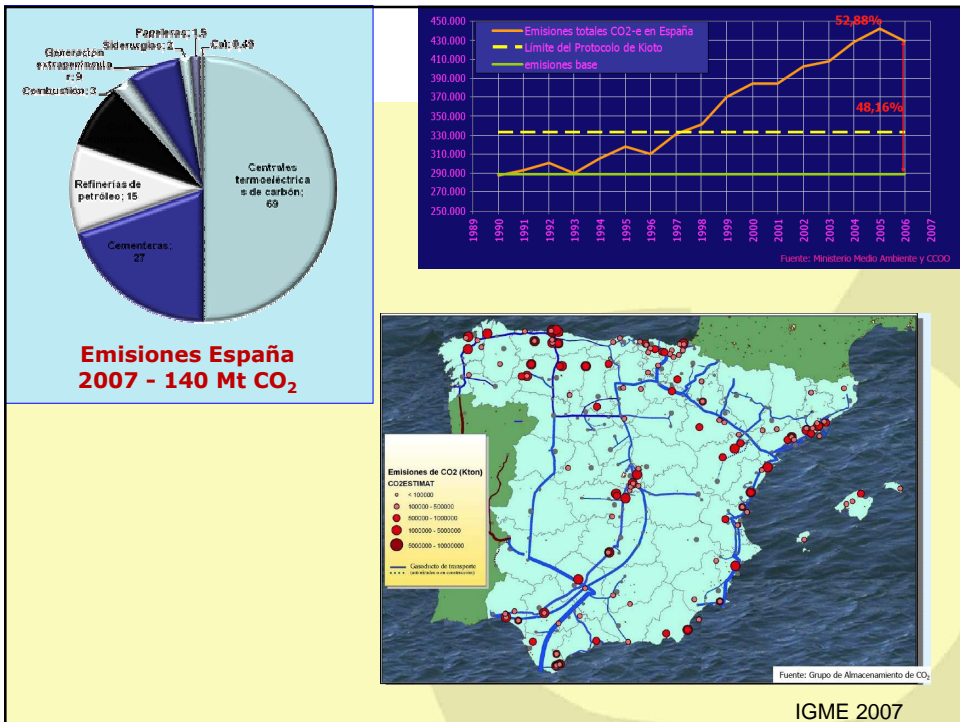
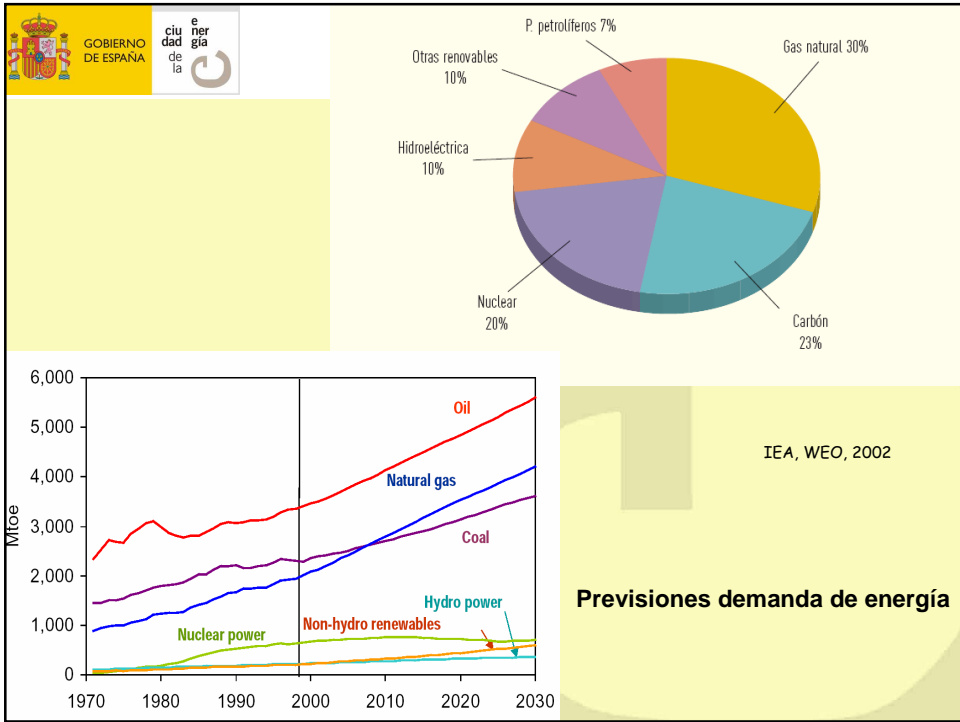


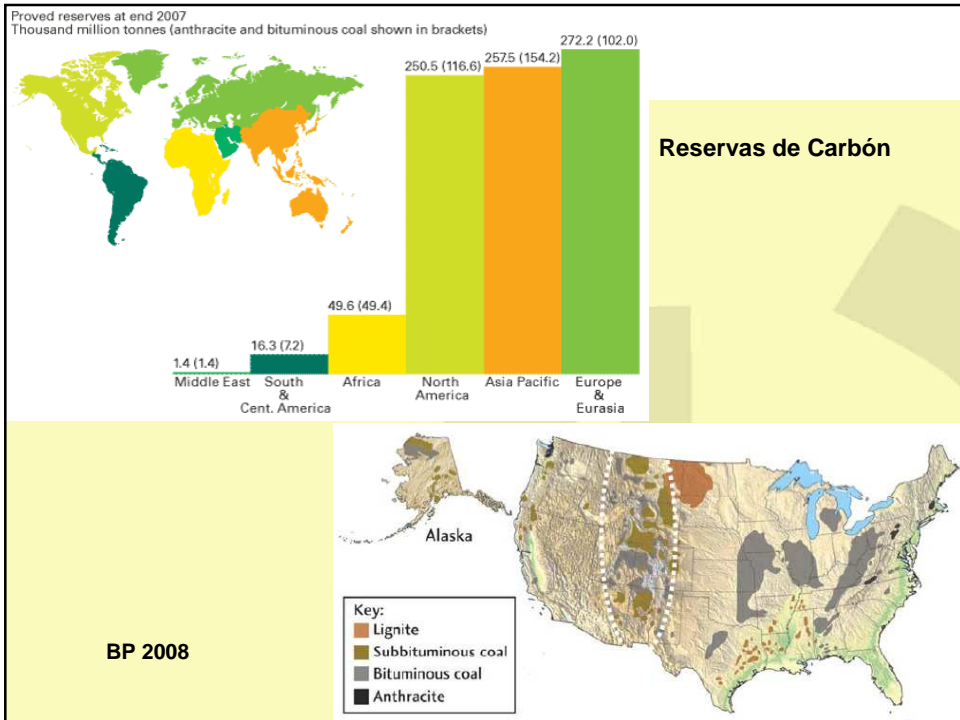
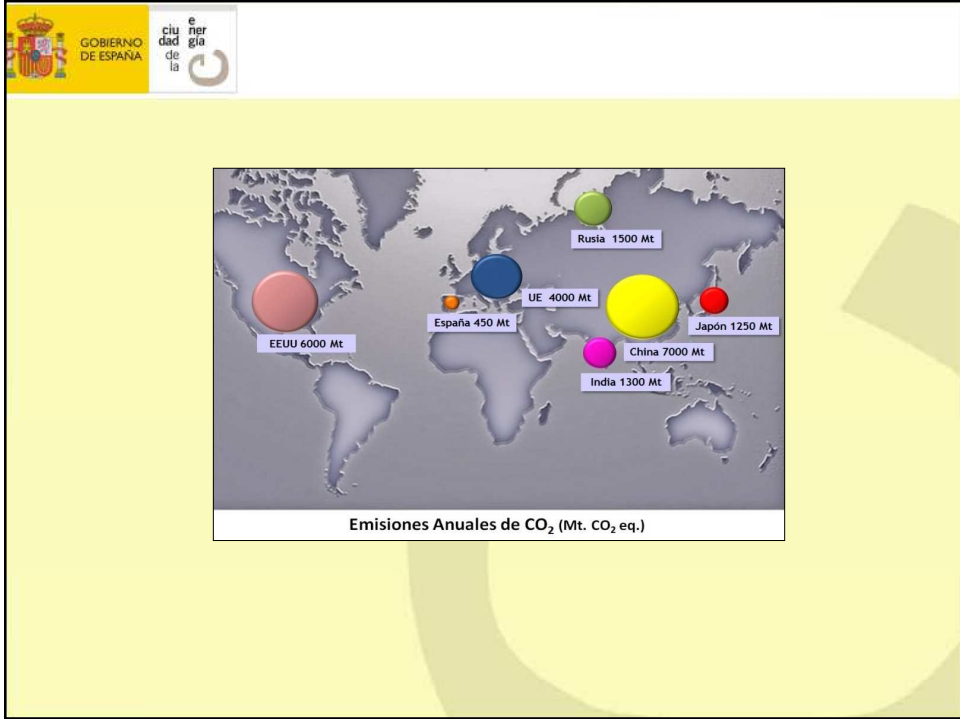
GOBIERNO DE ESPAÑA
energía ciudad de la

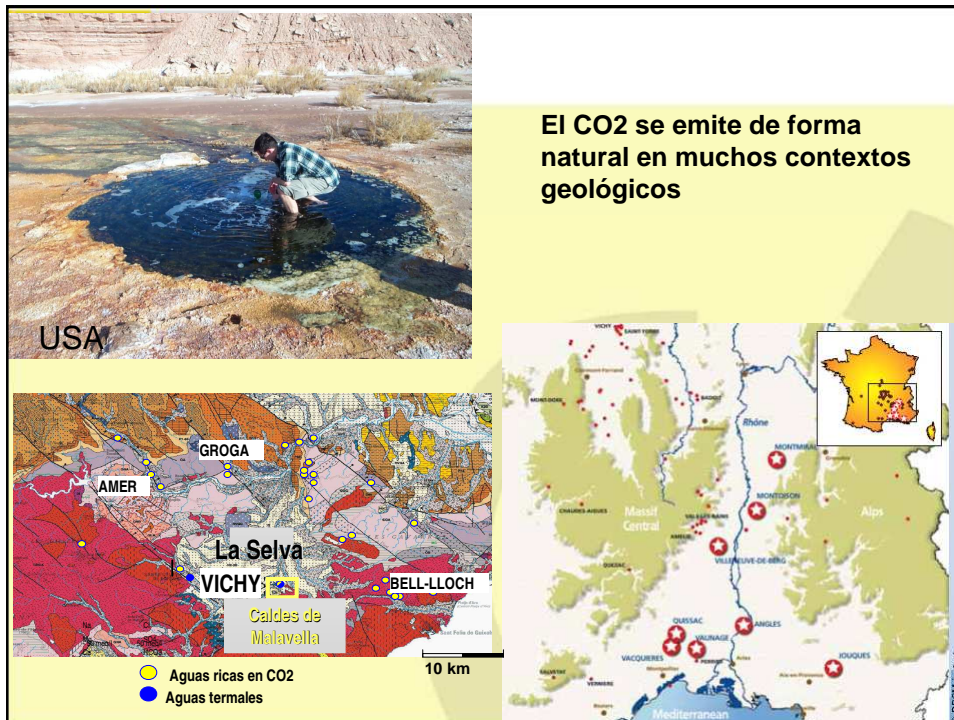
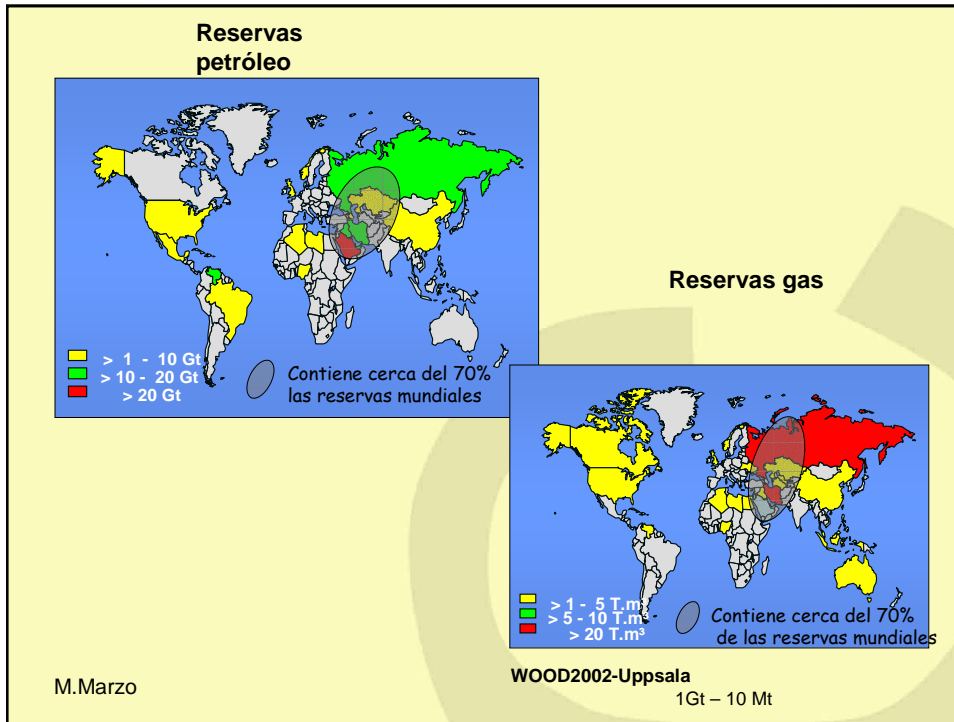
- El problema del CO₂
- Captura y almacenamiento de CO₂ (CAC)
- Tipos de almacenamiento
- El almacenamiento en acuíferos salinos
- Necesidad de desarrollos para su aplicación
- Proyecto CIUDEN

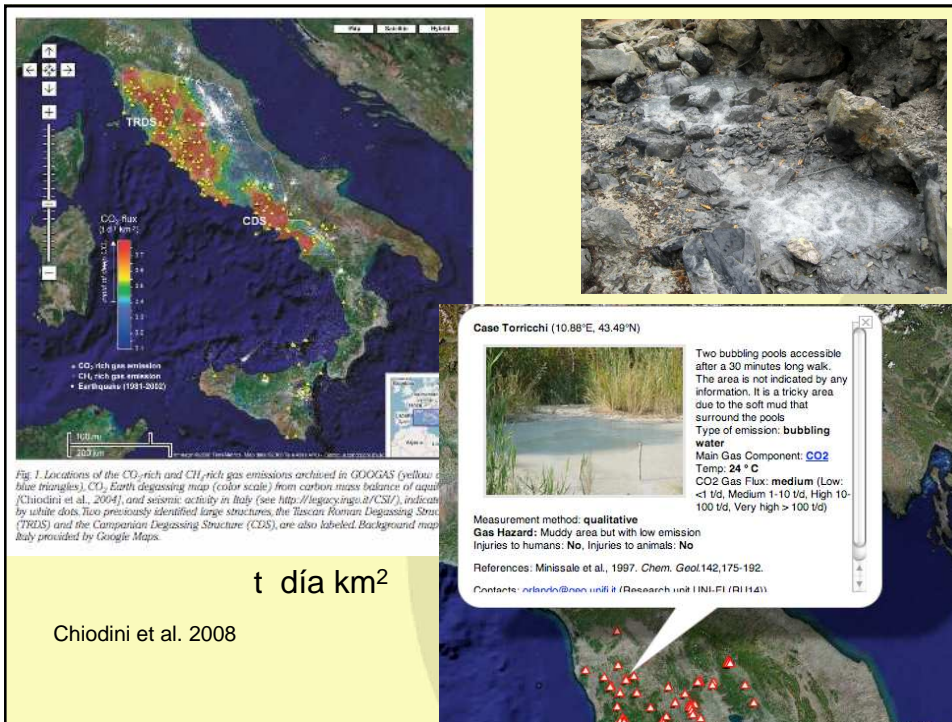


```
graph TD; A[Minist. de ciencia e Innovación] --> B[GOBIERNO DE ESPAÑA energía ciudad de la]; B --> C[Minist. De Industria]; D[Minist. Medioambiente...] --> B;
```









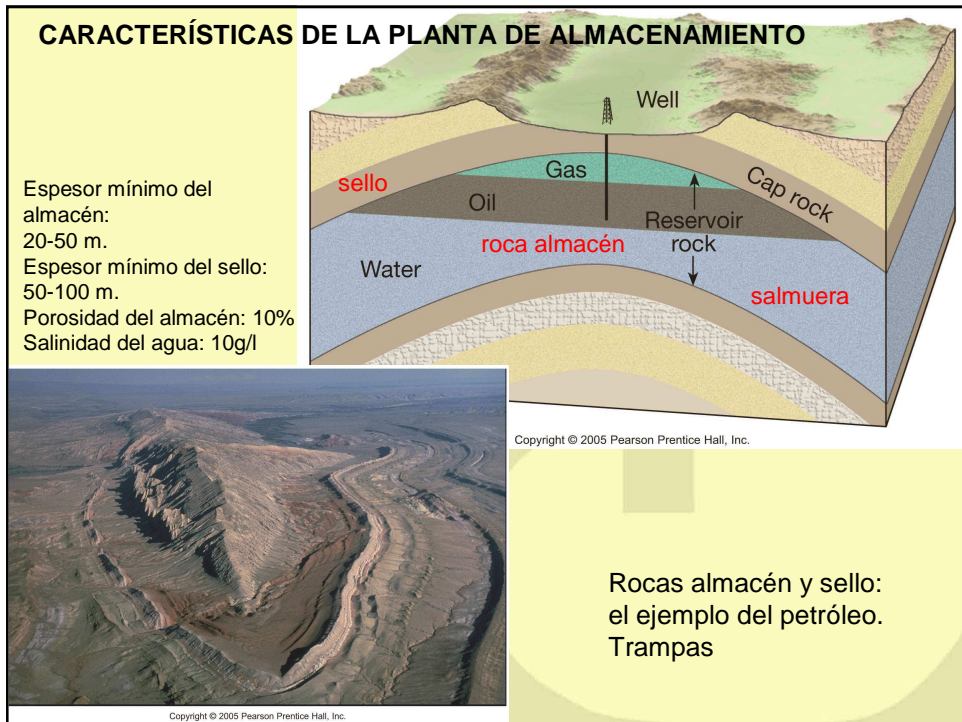
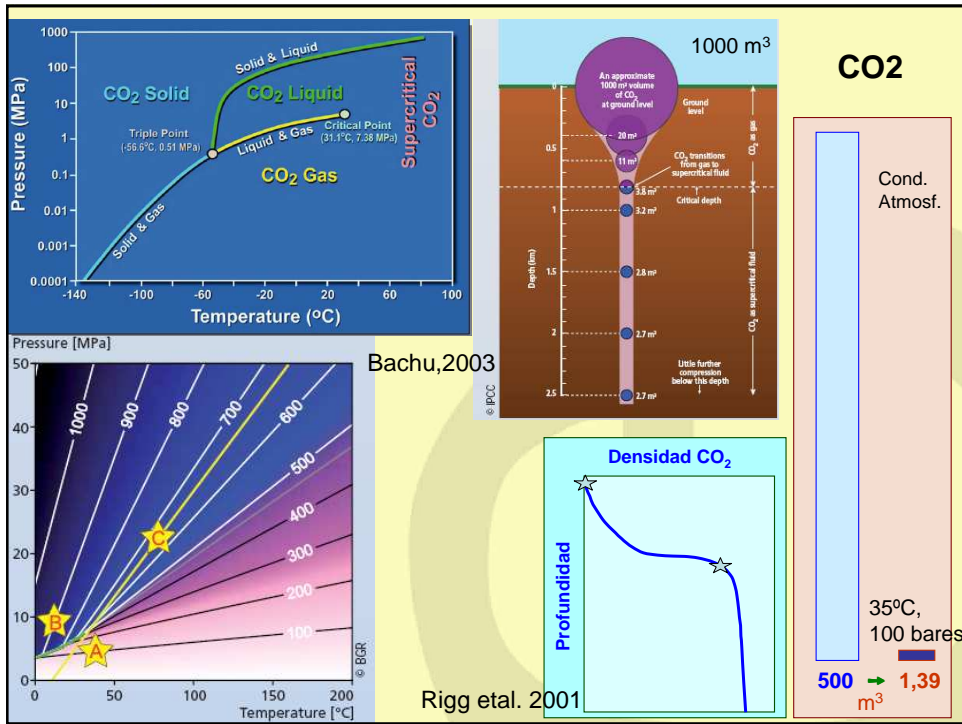
t día km²
 Chiodini et al. 2008

ALMACENAMIENTO DE CO₂

CONCEPTOS

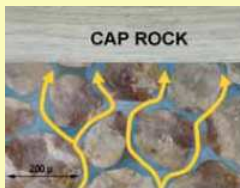
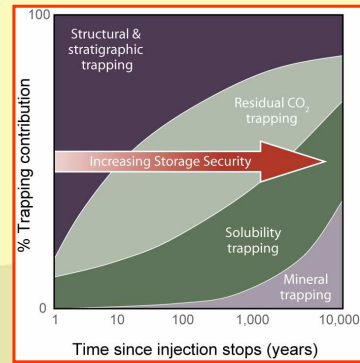
B.

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



El CO₂ en la roca almacén:

- Estructural** No puede ascender, se lo impide la roca sello
- Residual** Queda retenido en sus poros. Capilaridad
- Disolución** Se va disolviendo en el agua de esta roca y tiende a hundirse
- Mineral** Va reaccionando con esta roca formando minerales que rellenan sus poros.



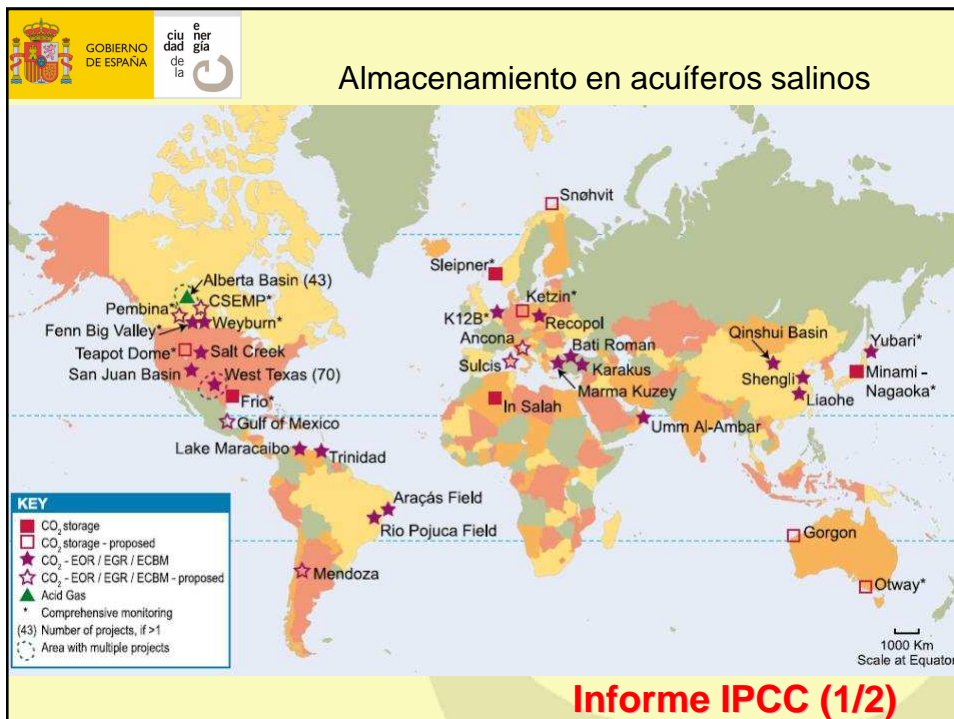
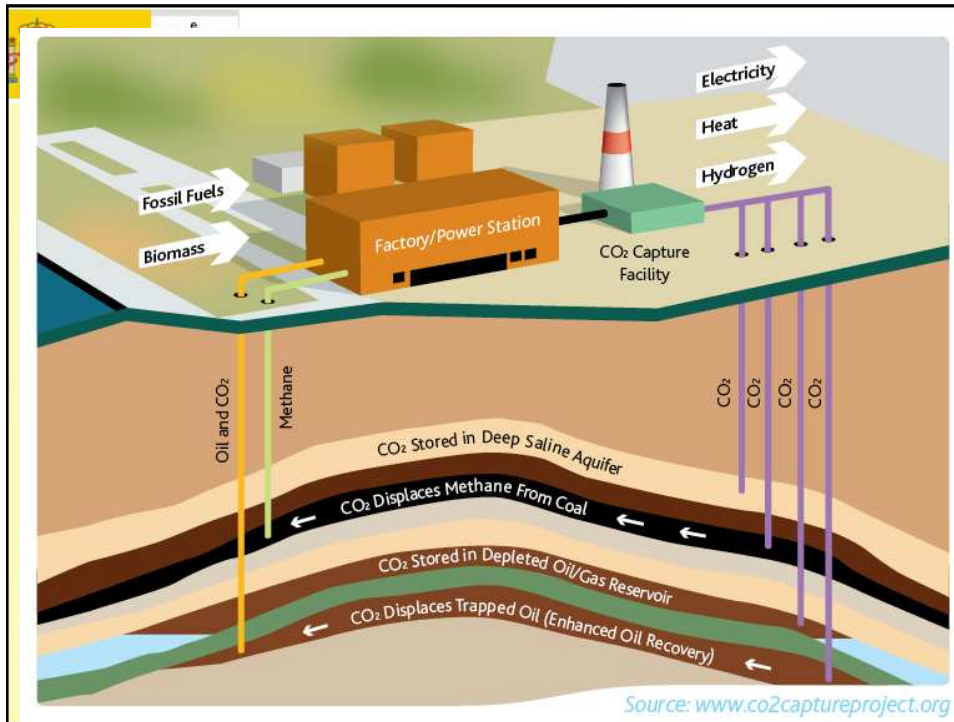
GOBIERNO DE ESPAÑA
ciudad de la energía

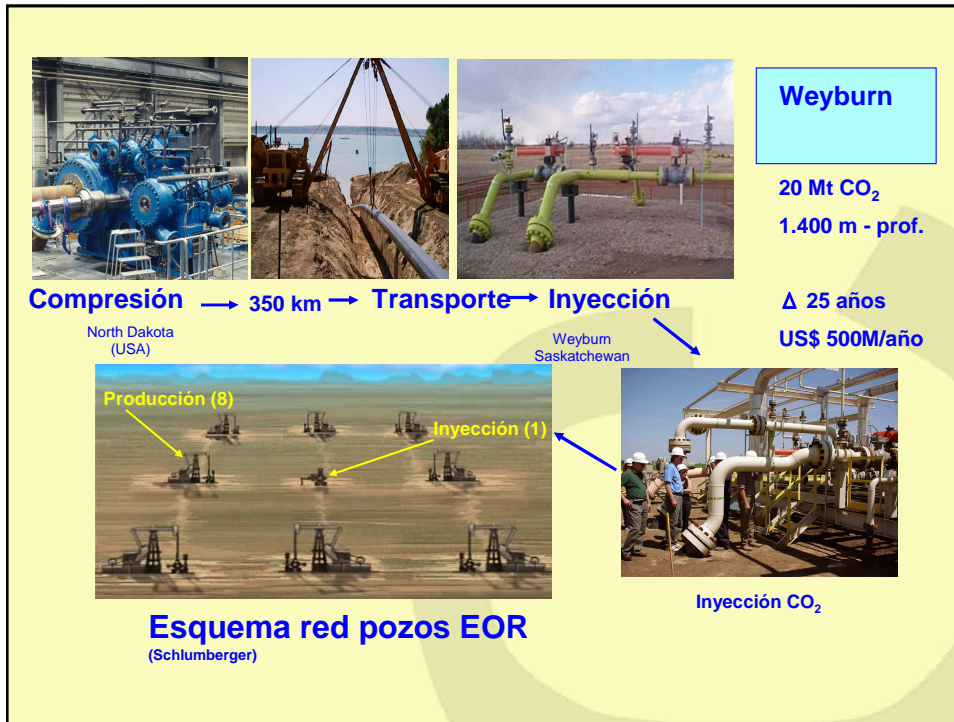
CO₂ almacenado en los poros de la roca

0,04mm

pele humano
∅ 0,04mm

0.5 mm





Weyburn

20 Mt CO₂
1.400 m - prof.

Δ 25 años
US\$ 500M/año

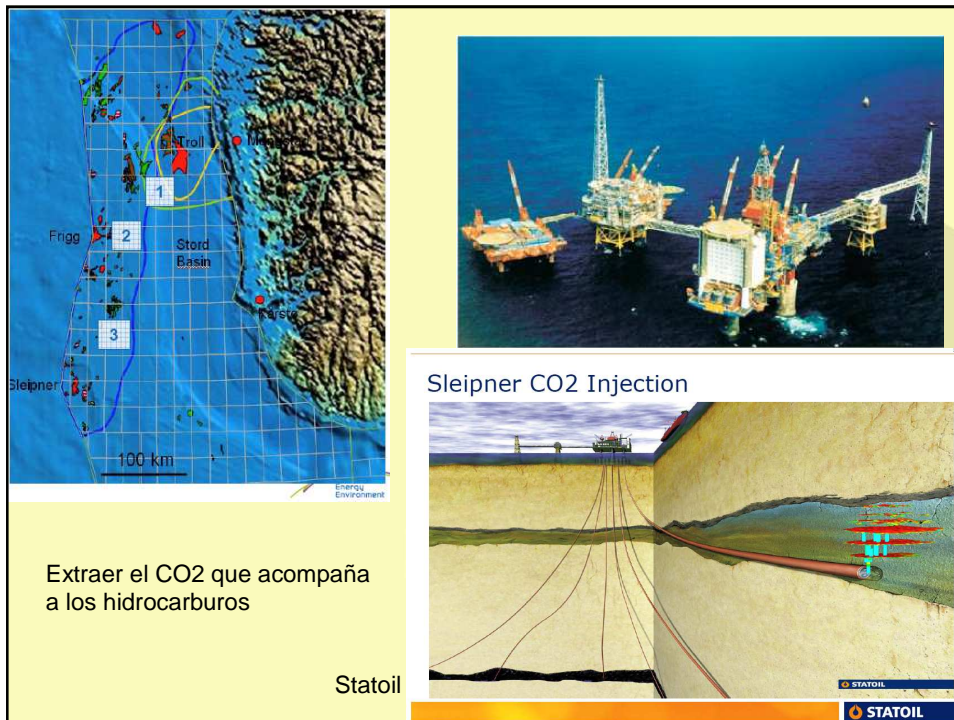
Compresión → 350 km → Transporte → Inyección

North Dakota (USA) → Weyburn Saskatchewan

Producción (8) → Inyección (1)

Esquema red pozos EOR
(Schlumberger)

Inyección CO₂





Extraer el CO₂ que acompaña a los hidrocarburos

Statoil

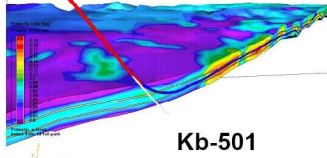
Sleipner CO₂ Injection

STATOIL

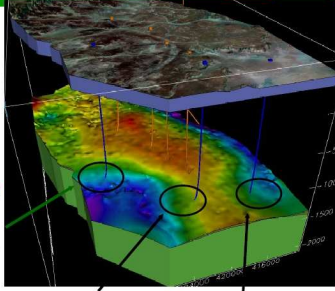




- Geosteering of wells to target high porosity / permeability intervals
- Well tests to assess injectivity




Kb-501



Kb-502 **Kb-503**

In Salah CO₂ Project – NETL Conference 4th May 2005

In Salah




Programa de Almacenamiento Geológico de CO₂

CIUDEN



B. Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



GOBIERNO
DE ESPAÑA



Para resolver los problemas metodológicos y tecnológicos necesarios para poder avanzar en el Almacenamiento industrial de CO₂ es necesario:

- 1) Conocer los procesos implicados en el almacenamiento
- 2) Poder modelar estos procesos para predecir sus efectos en el corto y largo plazo
- 3) Disponer de experimentos de laboratorio que nos indiquen la forma de asegurar el almacenamiento, su viabilidad económica y su control
- 4) Poder realizar proyectos de almacenamiento a escala real para demostrar su funcionamiento y las capacidades tecnológicas disponibles



GOBIERNO
DE ESPAÑA



CIUDEN

Objetivo 1

Distribución y destino del CO₂: Procesos, modelado, y experimentos

Objetivo 2

Seleccionar una estructura geológica para la construcción de una **Planta Piloto** de almacenamiento de CO₂ para I+D+i

Objetivo 3

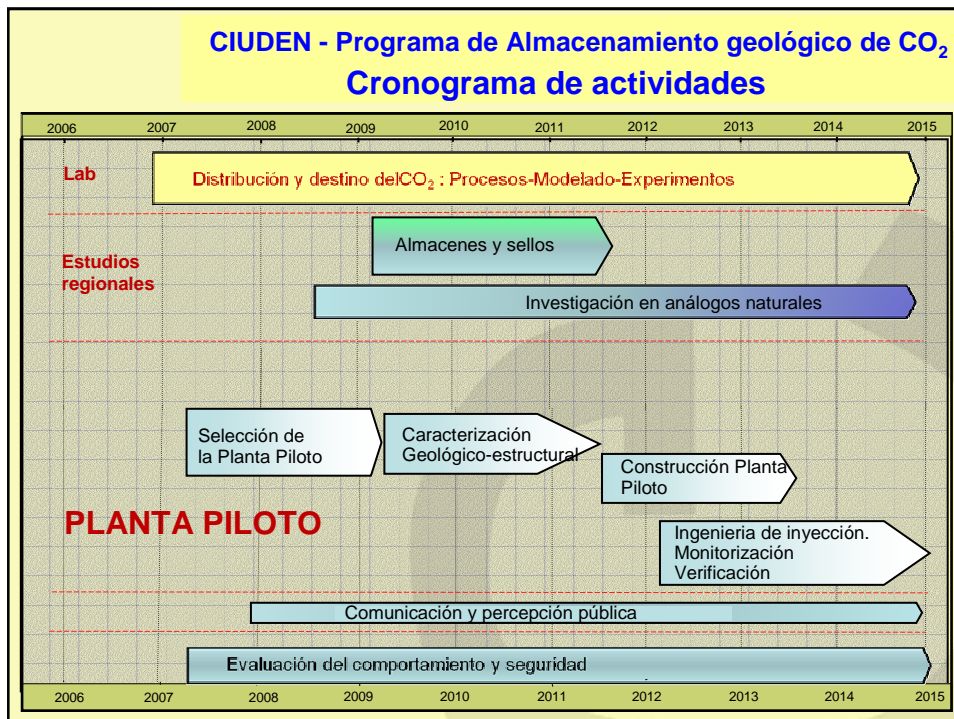
Caracterización del complejo de almacenamiento de la **Planta Piloto** de almacenamiento: FASE 1

Objetivo 4

Identificación y realización de los proyectos de almacenamiento a escala real: **Planta Piloto** FASE 2

Fases 1+2 PLANTA PILOTO:

- Selección del emplazamiento
- Caracterización
- Definición de los experimentos a desarrollar
- Construcción de la Planta Piloto
- Desarrollo de los experimentos, monitorización y verificación





DISTRIBUCIÓN Y DESTINO DEL CO₂: PROCESOS, MODELACIÓN, EXP.

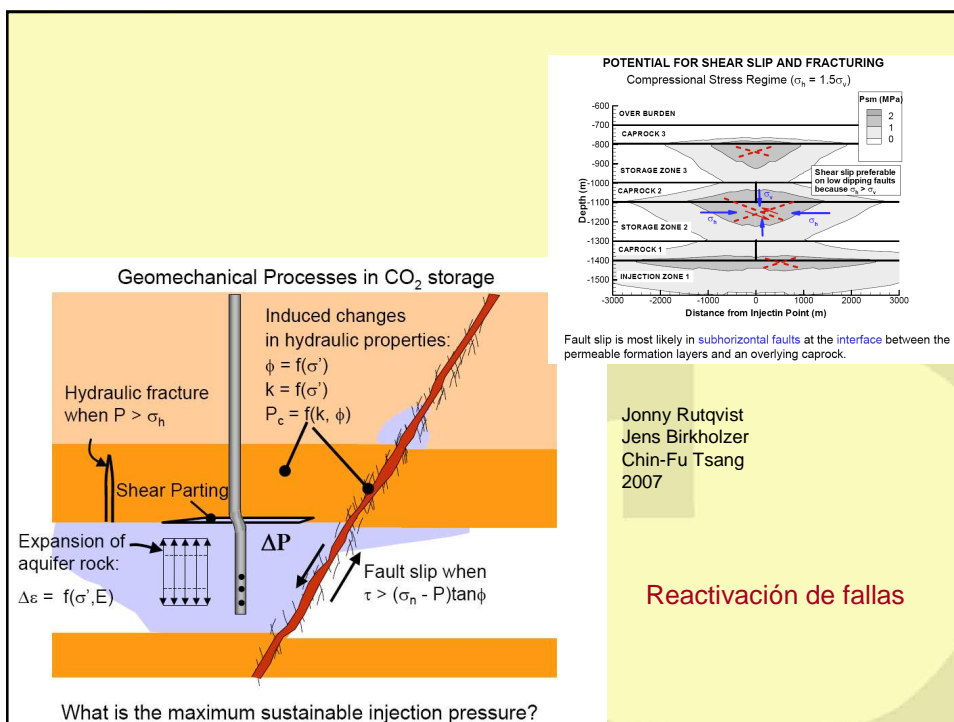
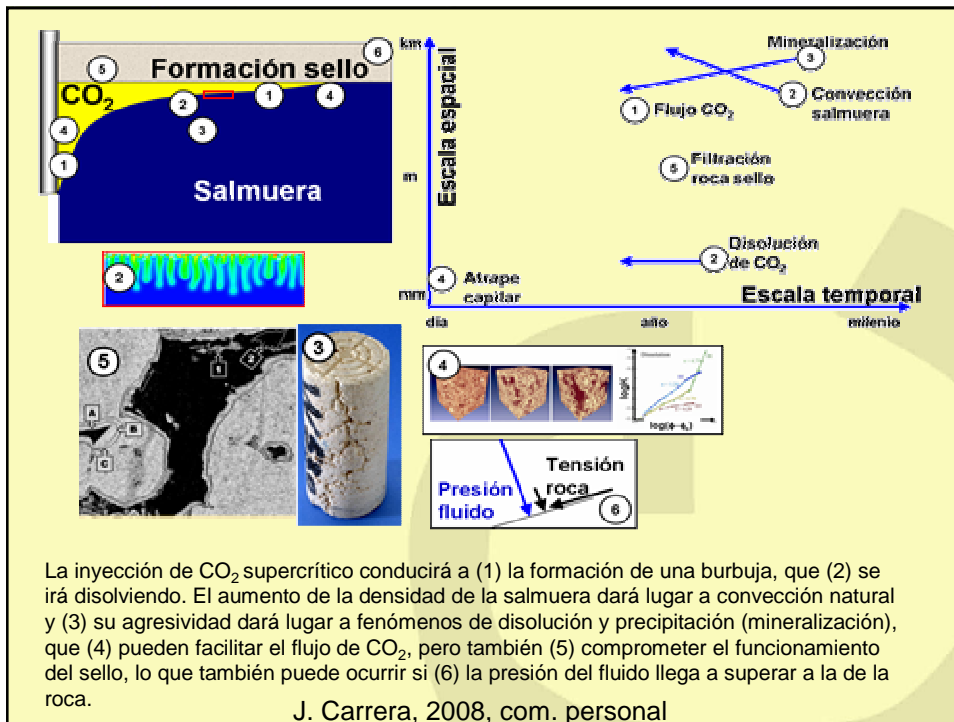
-Entender **cómo se mueve** la fase de CO₂. Importante tanto para facilitar la inyección como para asegurar su aislamiento a largo plazo.

-Entender **cómo se disuelve** en la fase acuosa, fijándose así como soluto (idealmente bicarbonato, pero también ácido carbónico disueltos).

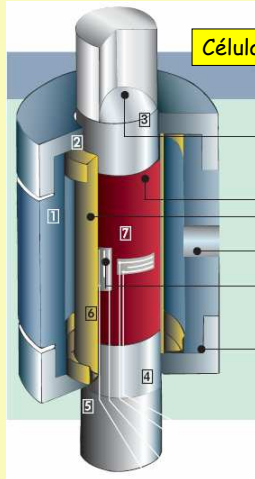
-Cuantificar la **interacción entre estos solutos y los minerales** del medio, y la capacidad de éste de neutralizar la solución y mineralizar el CO₂.

-Evaluar los **cambios de propiedades del medio** causados por estas reacciones.

-Evaluar la **interacción hidromecánica**. La inyección implica aumento de las presiones del fluido que podría comprometer el funcionamiento del sello.



Ensayos experimentales
-caracterización geomecánica
-transporte reactivo
-fenómenos acoplados



Célula triaxial de Hoek

Actuador de acero enaureciado (alta rigidez)

Probeta cilíndrica de roca
Vaina de aislamiento (vitón, teflón, silicona, etc.)

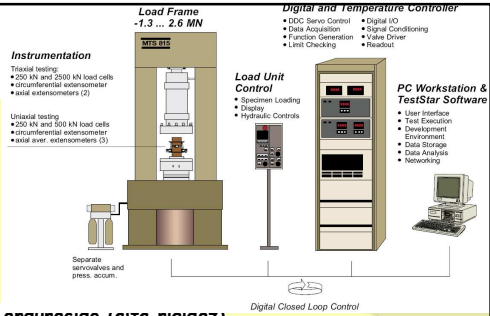
Entrada para el fluido hidráulico

Extensómetros

Cilindro de confinamiento



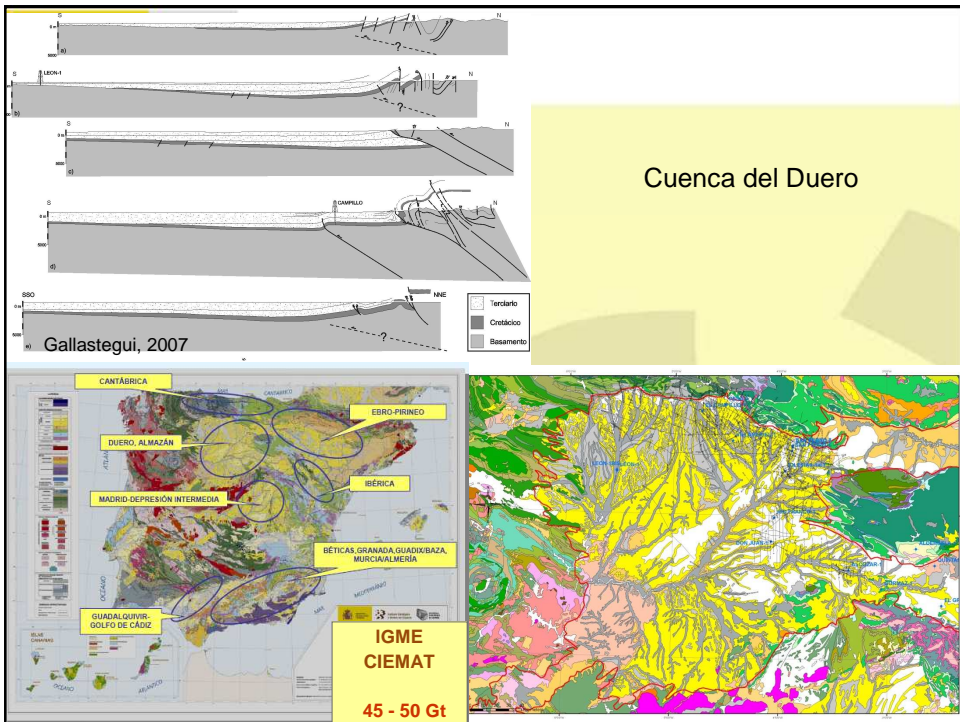
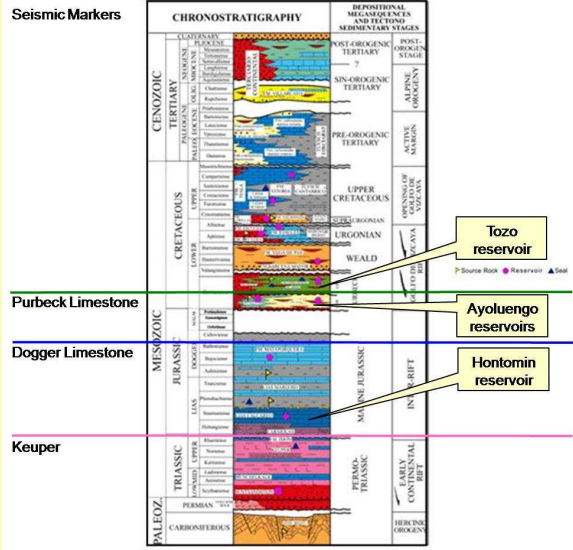
Experimentos en autoclave, columna, pseudotriaxiales y triaxiales

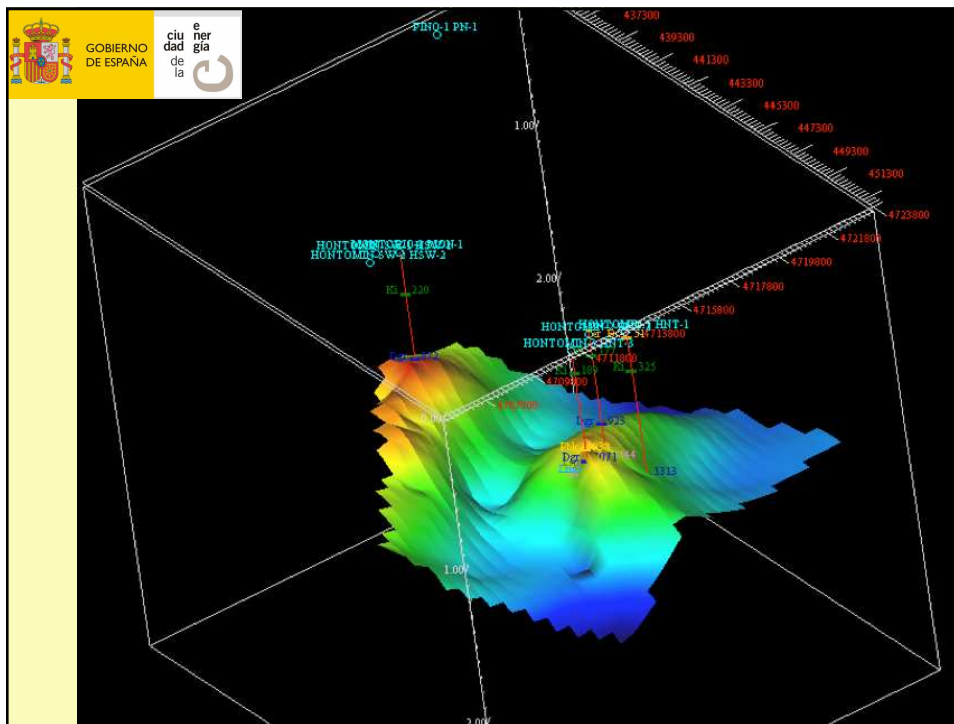
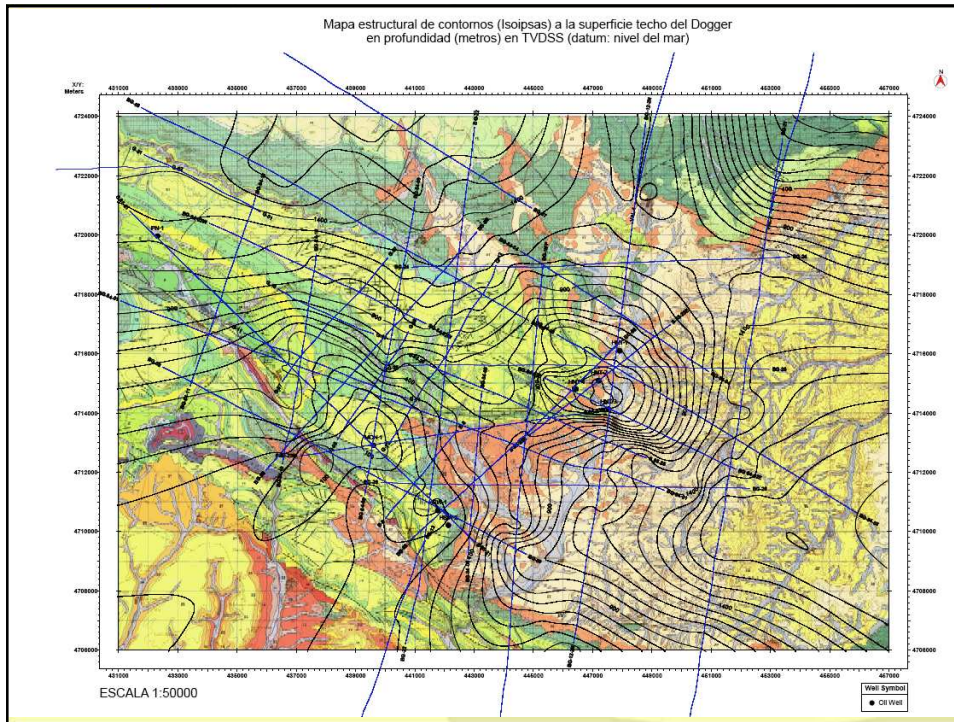


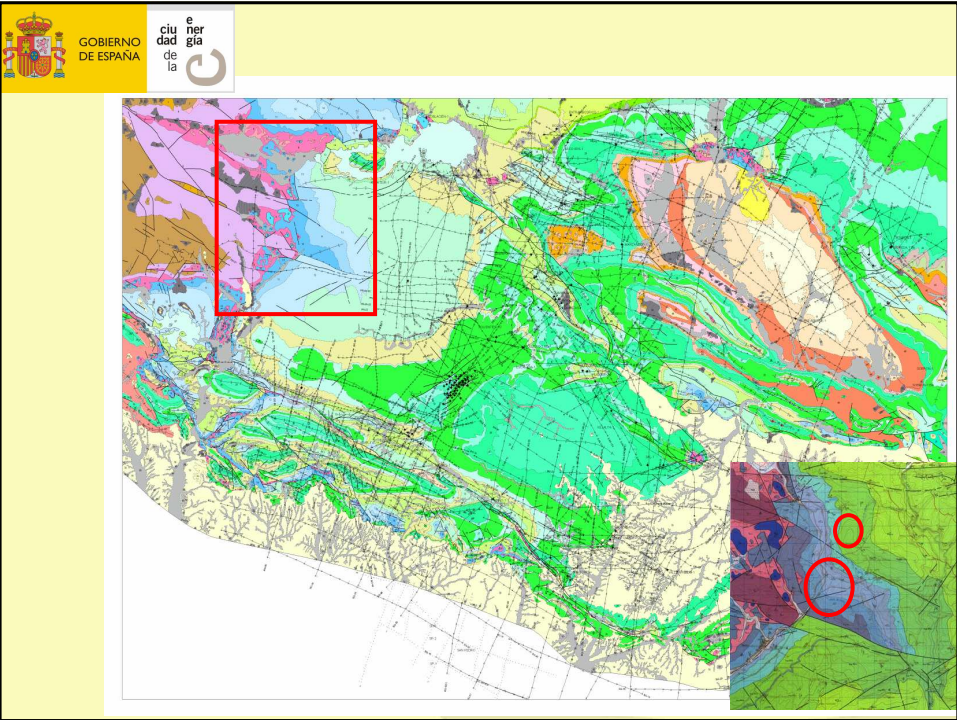
SELECCIÓN DE UNA PLANTA
(PILOTO)
DE ALMACENAMIENTO DE CO2

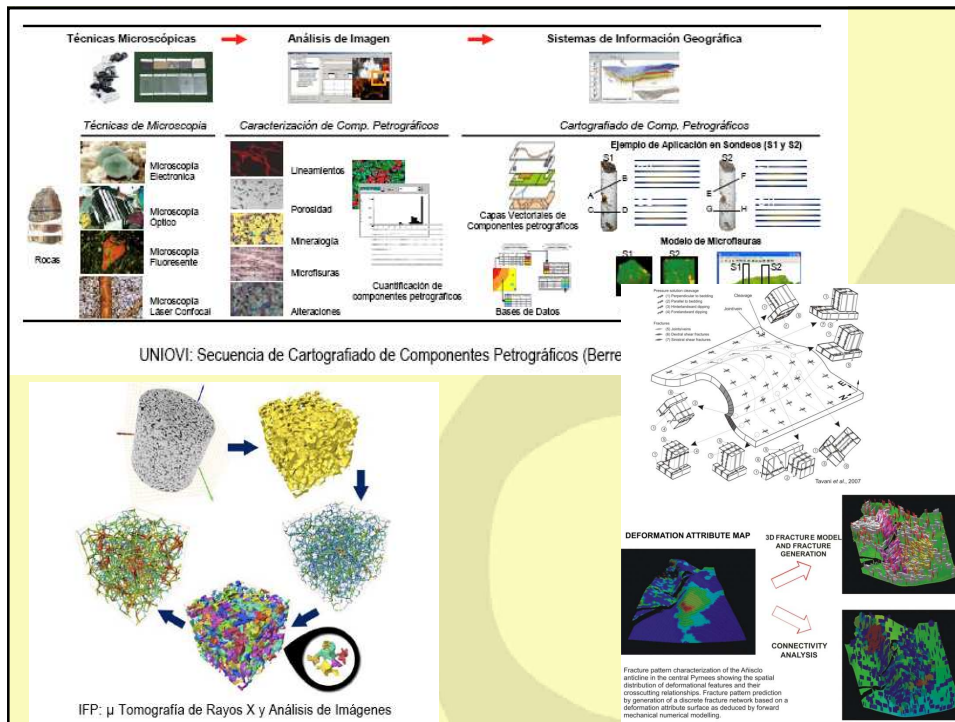


Seismic Markers









GOBIERNO DE ESPAÑA
 el ministerio de
 Energía

PLANTA PILOTO ESTUDIOS A DESARROLLAR EN FASE 1

- MONITORIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SUPERFICIE
- CARACTERIZACIÓN



Training & Dialogue Workshop - Paris, October 3rd, 2007

GOBIERNO DE ESPAÑA
 el ministerio de
 Energía

Caracterización de la Planta Piloto 2009-2010

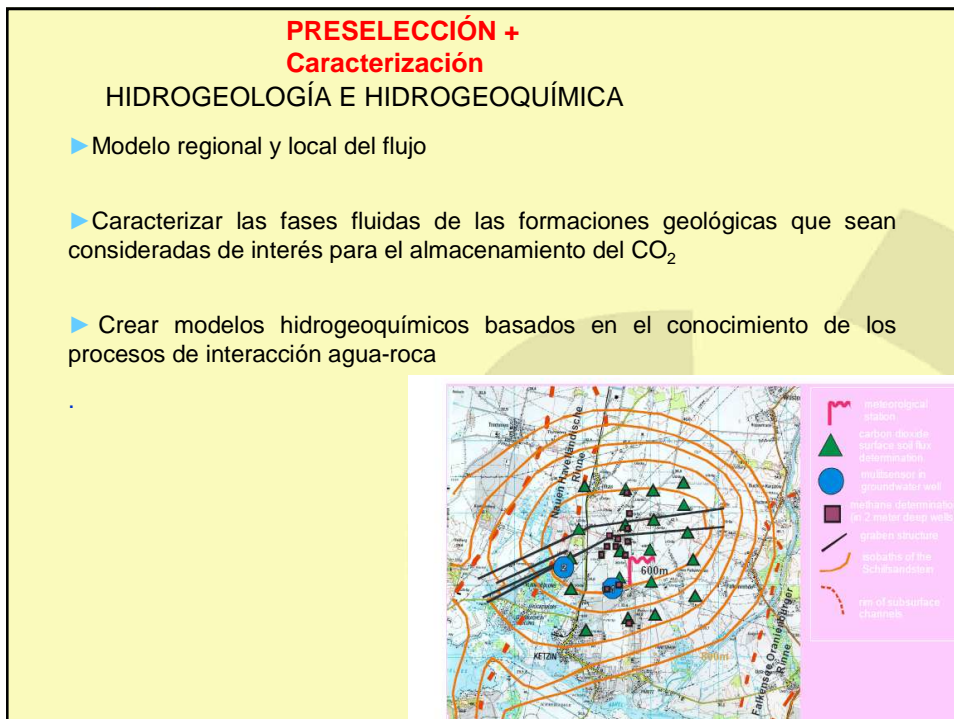
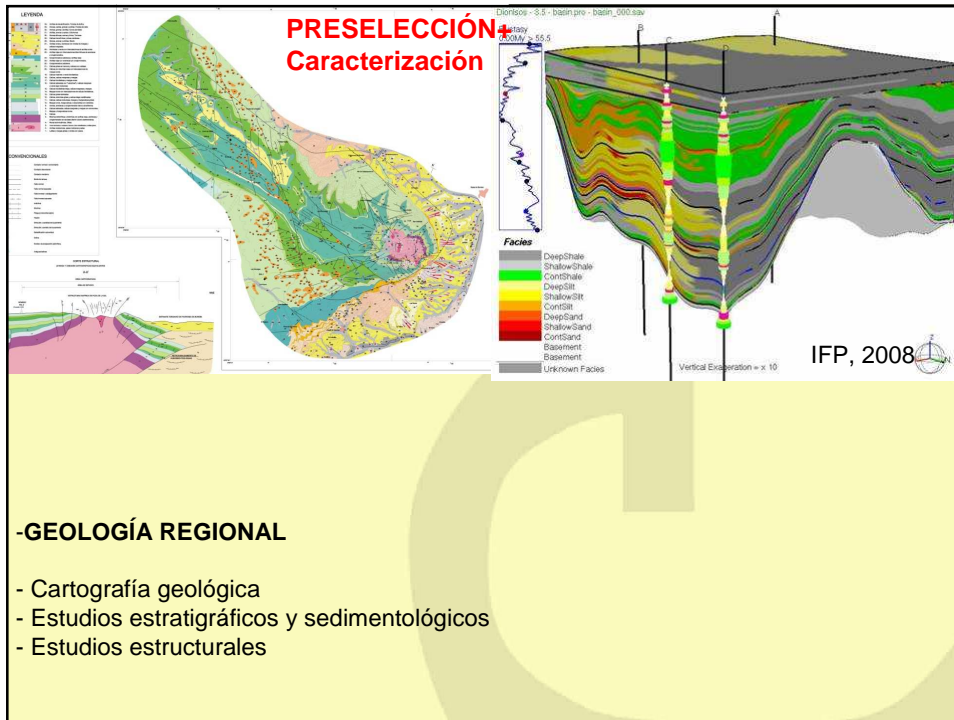
- Hidrogeología e hidrogeoquímica
- Emisiones naturales de gases– Monitoreo estacional.
- Monitoreo atmosférico
- Análisis topográfico
- Estudios geotérmicos
- Sismicidad

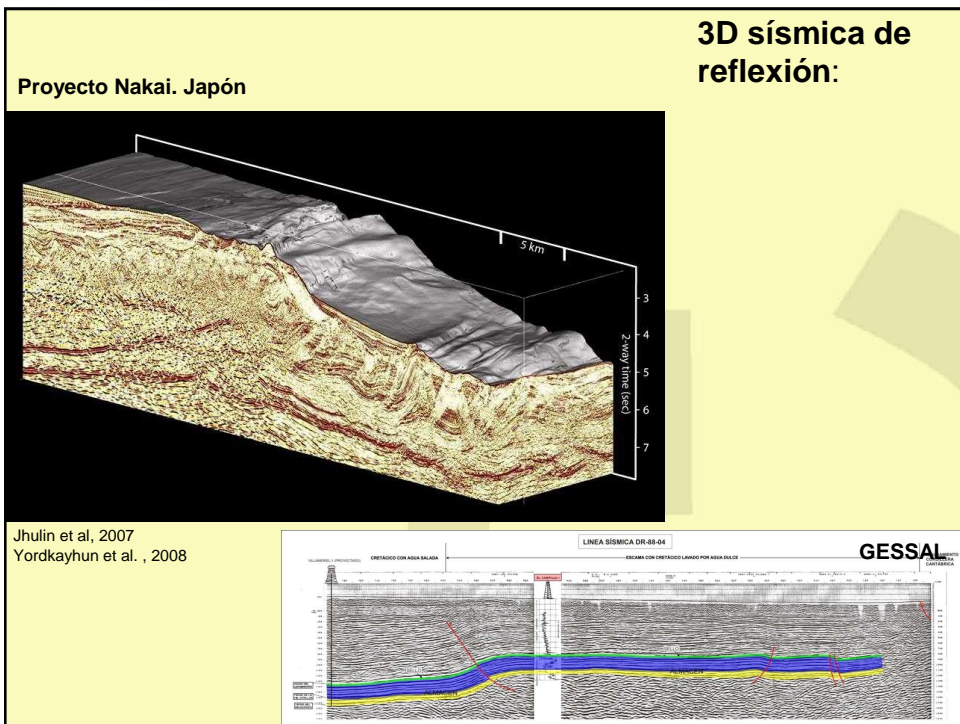
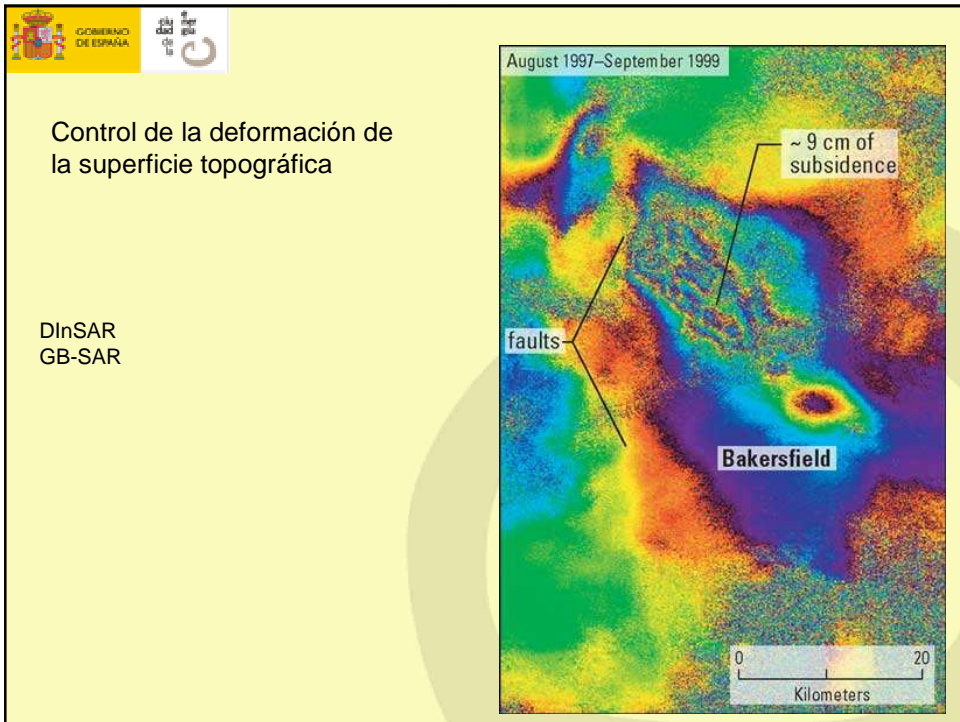
- Cartografía geológica y estructural
- Gravimetría de alta resolución
- Sísmica 3D**

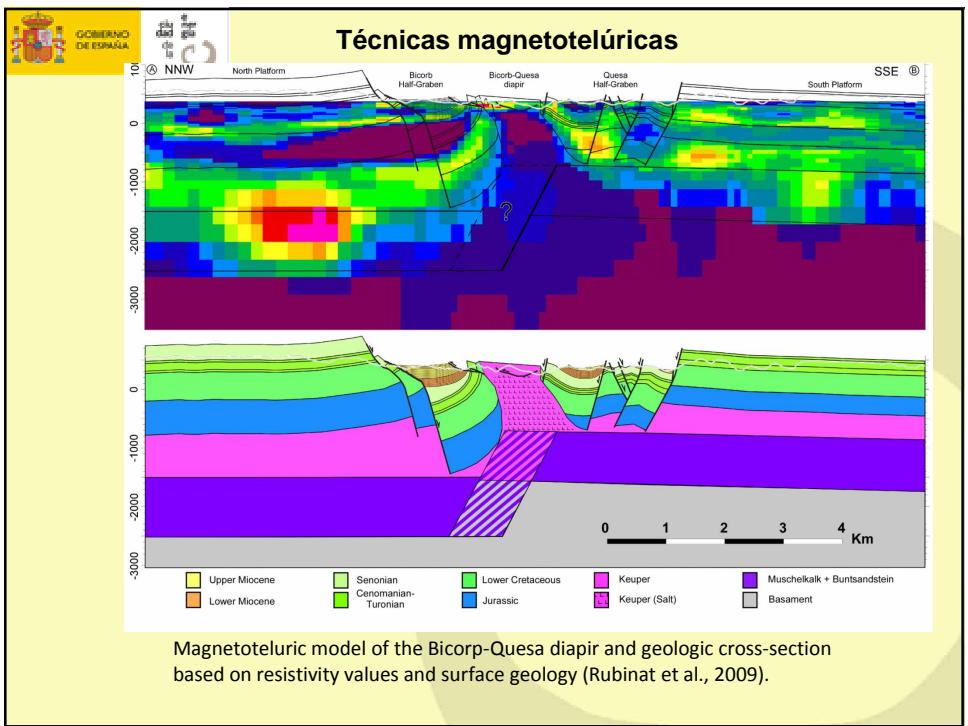
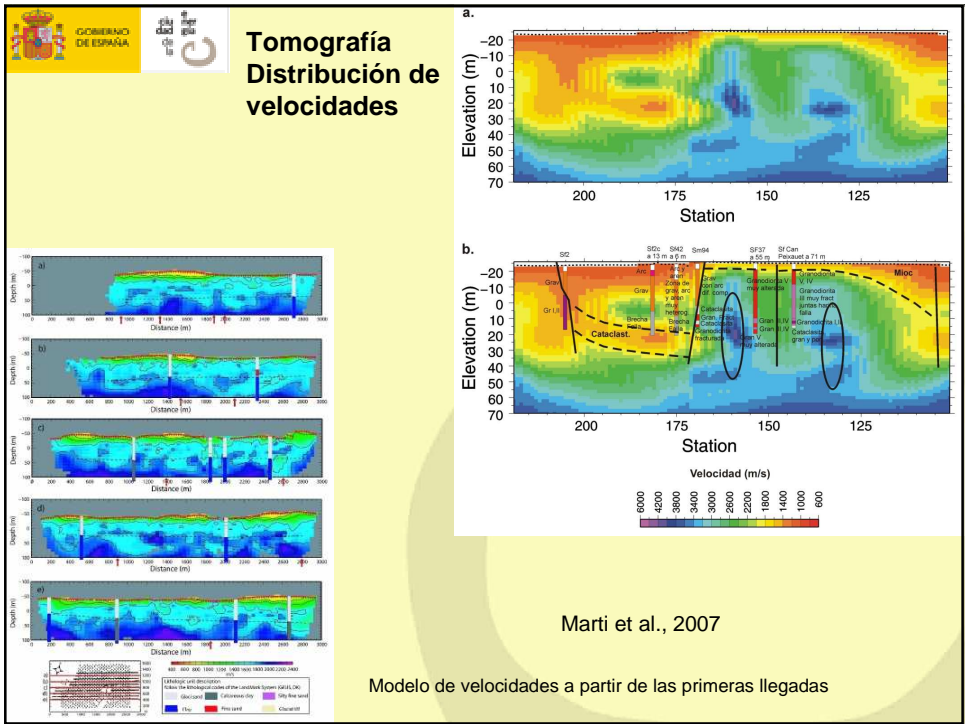
- Estudios petrofísicos de las rocas almacén y sello

- 3D modelo estructural

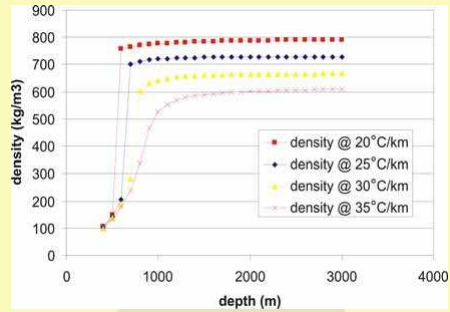
- Pozo 1.500 m (diseño, permitages, contratos...)



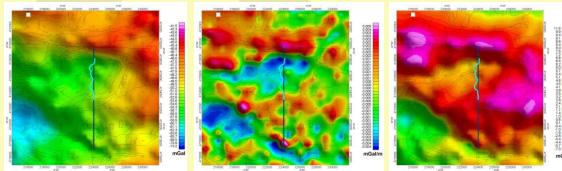




Microgravimetría



Variación de la densidad del CO2 con la profundidad para distintas temperaturas.

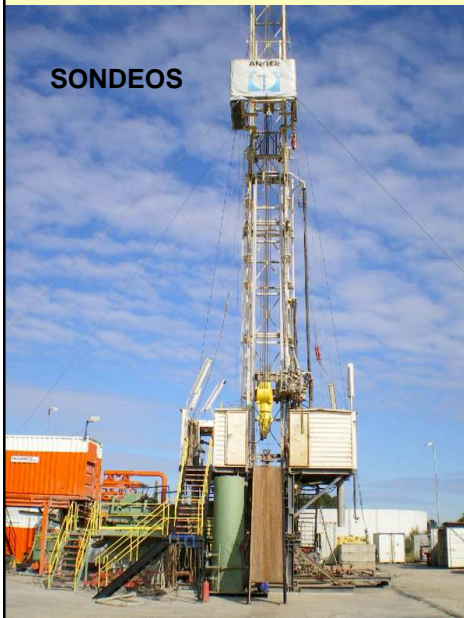


Anomalia de Bouguer

Gradiente vertical

Anomalia de Bouguer residual

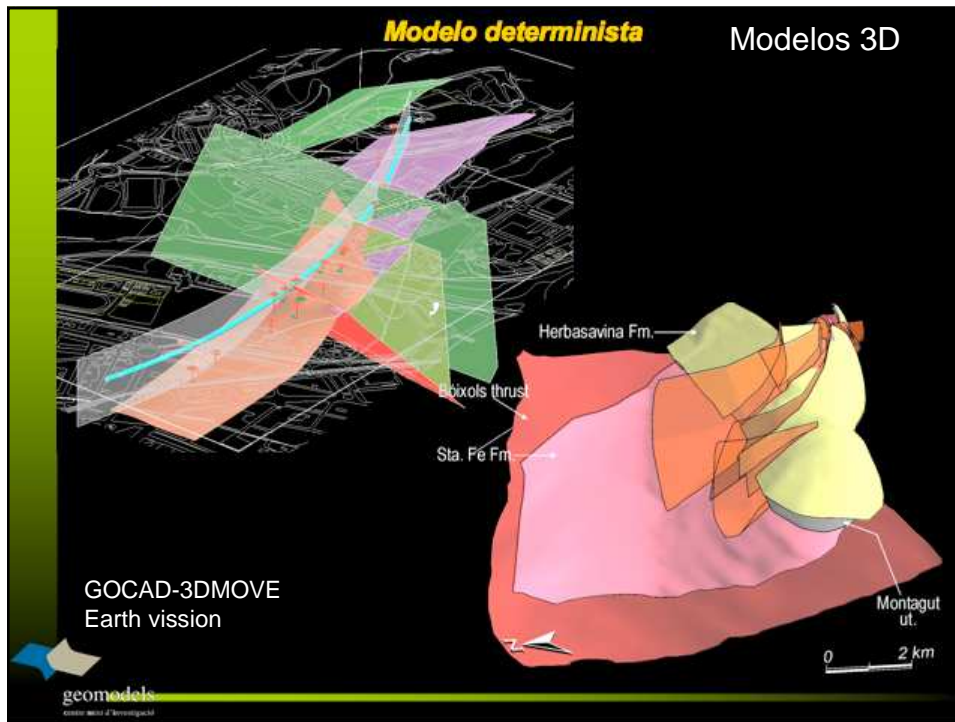
SONDEOS




SONDAS



Sondas: Pex-HRLA, densidad, neutron porosity GR y resistividad/microresistividad

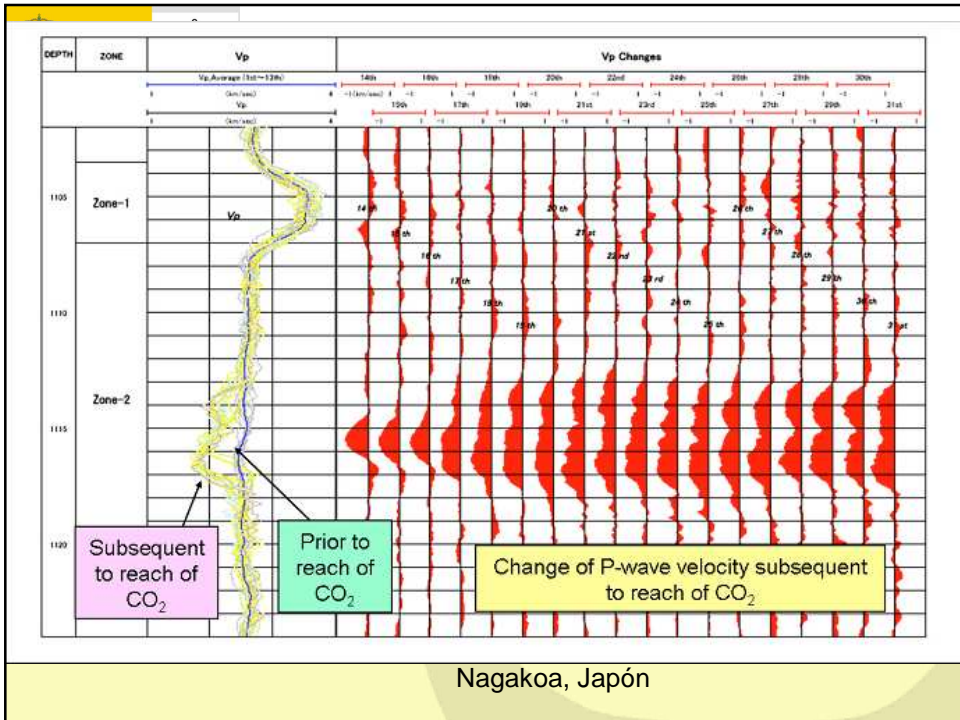
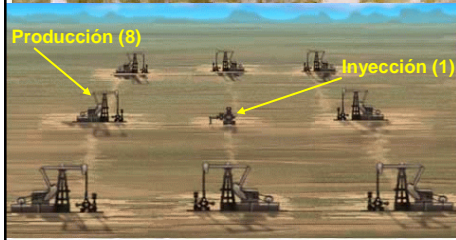


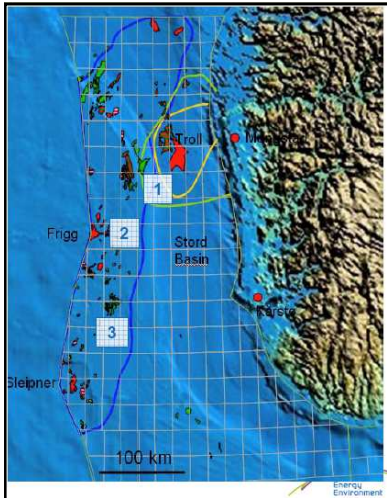


CARACTERIZACIÓN DE UN ALMACÉN

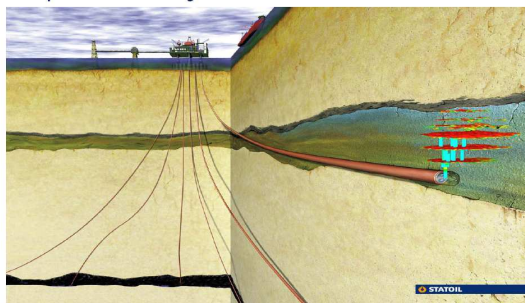
- Modelo Geológico-Estructural 3D (estático)** con la distribución de las propiedades físico-químicas del complejo del almacenamiento. Sobre este modelo se establecerán todos los demás y se diseñarán los modelos dinámicos.
- Modelo de Flujo:** proporciona predicciones cuantitativas del comportamiento del almacén y de los procesos básicos en el sistema, de la capacidad y de la probable extensión lateral del CO₂, así como identificar los desplazamientos del CO₂ y sus posibles vías de escape.
- Modelo Geoquímico:** permite establecer los mecanismos de atrapamiento del CO₂, así como, los impactos geoquímicos y geomecánicos en el almacén, en la formación sello y en la instrumentación.
- **Modelos de riesgos.** Evaluación del comportamiento y análisis de riesgos. Se elaboran los modelos para la evaluación probabilista de riesgos del almacenamiento de CO₂.

PLANTA PILOTO FASE 2: INYECCIÓN Y MONITOREO DEL ALMACENAMIENTO DE CO₂





Sleipner CO2 Injection



Extraer el CO2 que acompaña a los hidrocarburos

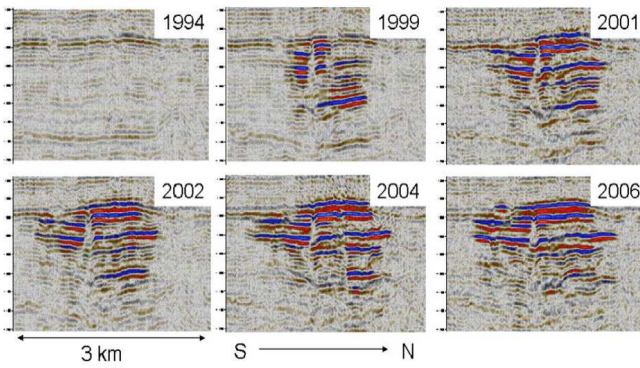
Statoil



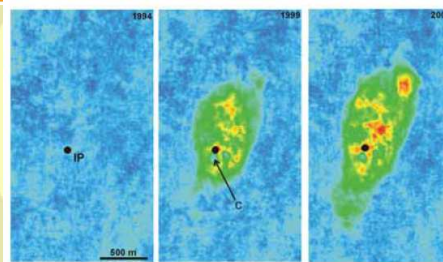
MONITORIZACIÓN

Sleipner
STATOIL

Time-lapse seismic datasets of CO₂ stored in Utsira formation



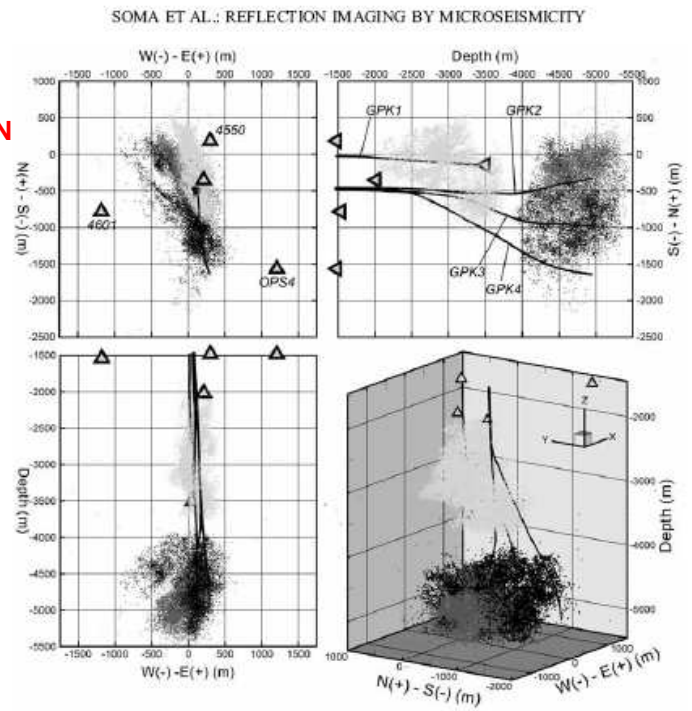
CO2STORE



MONITORIZACIÓN

Microsismicidad

Soultz
Soma et al., 2007



MONITORIZACIÓN

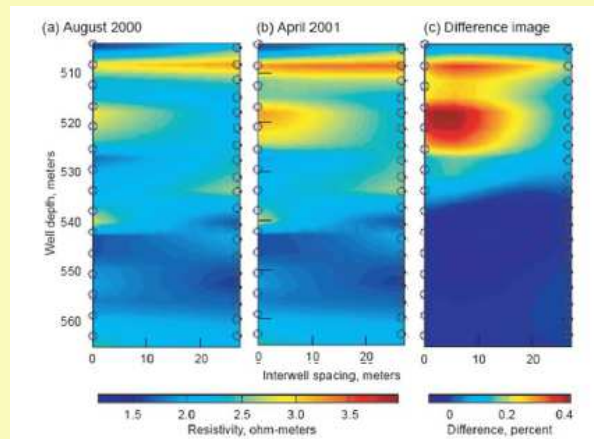
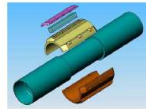


Figure 16 : Induction EM entre puits : Une image de la résistivité dans le plan vertical des deux puits est obtenue a) avant l'injection, b) après 3 mois d'injection. c) Une variation positive de résistivité traduit la présence de CO₂ (d'après Kirkendall et Roberts 2001)

Development of Technology

Permanent installed sensors – smart casing



Pressure Sensor
Temperature Sensor
Microseismometer



Electrical-
resistivity
tomography

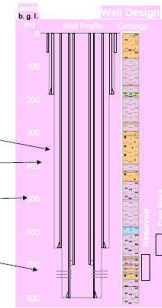
Special features:

Gas tight casing

Sensors behind
the casing

CO₂-resistant cement

Oriented perforation



PROGRAMA PRELIMINAR PARA LA PLANTA PILOTO DE CIUDEN

A. Estrategias de inyección para incentivar la disolución del CO₂ en la salmuera:

-1. Metodologías y técnicas para provocar convección durante la inyección. La convección es fundamental para acelerar la disolución .

-2. Inducir cambios geoquímicos en el reservorio

-3. Ensayar la inyección del CO₂ en diferentes fases. Eficiencia de la inyección de CO₂ ya disuelto. Uso de energía geotérmica en el proceso.

B. Experimentos de remediación. Uso de diferentes compuesto para el sellado de fallas. Cuantificación de posibles fugas.

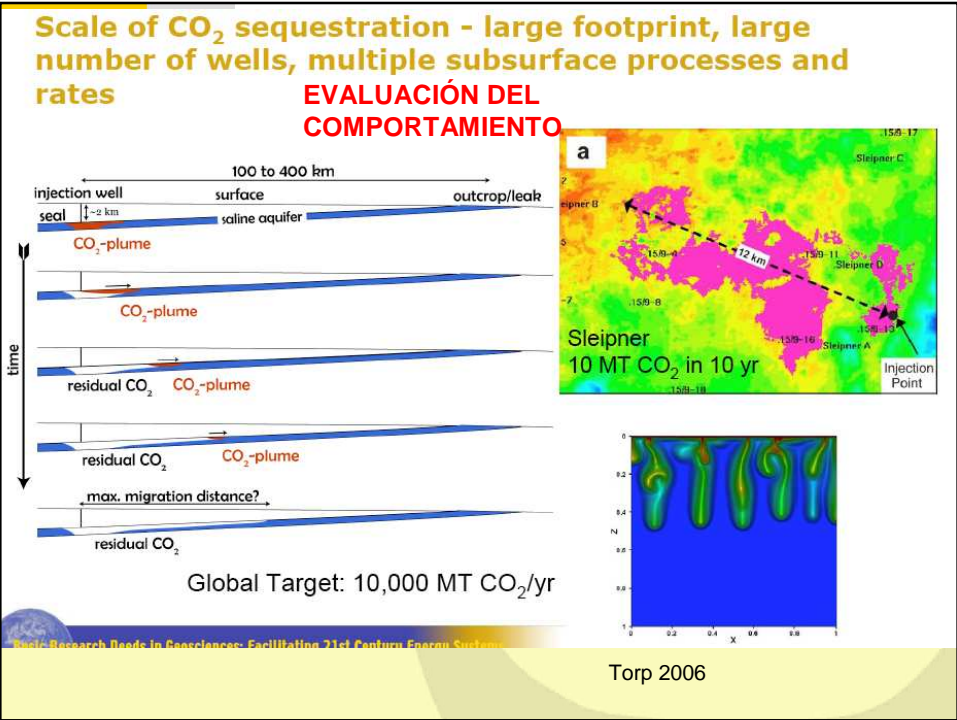
C. Cuantificación del CO₂ atrapado y evaluación de los diferentes mecanismos de atrapamiento. Consecuencias en la estimación de la capacidad del reservorio.

D. Efectos d ela presurización durante la inyección en el comportamiento hidro-mecánico del sello.

E. Desarrollo de nuevas técnicas geofísicas de coste razonable para la caracterización y monitorización de los almacenamientos.



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO Y SEGURIDAD



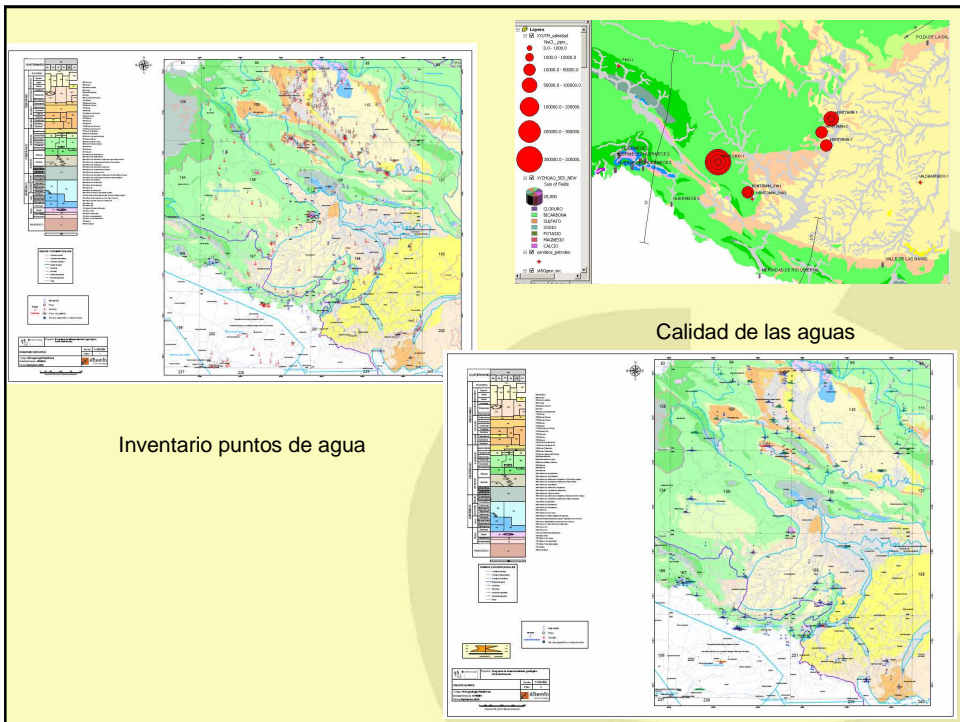
EL ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DEL CO₂ ES VIABLE

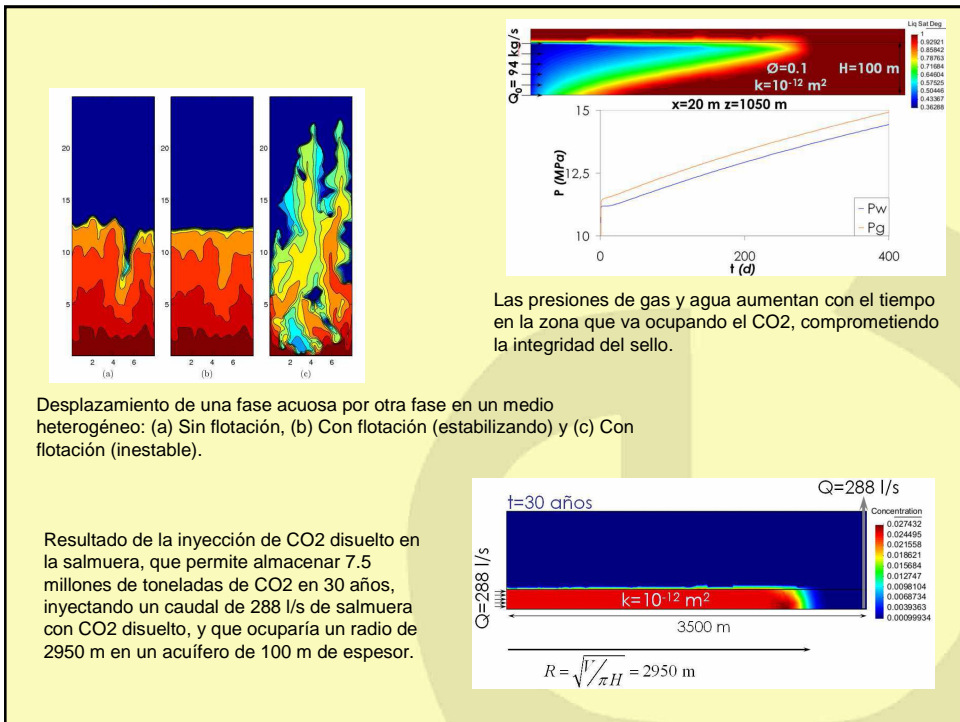
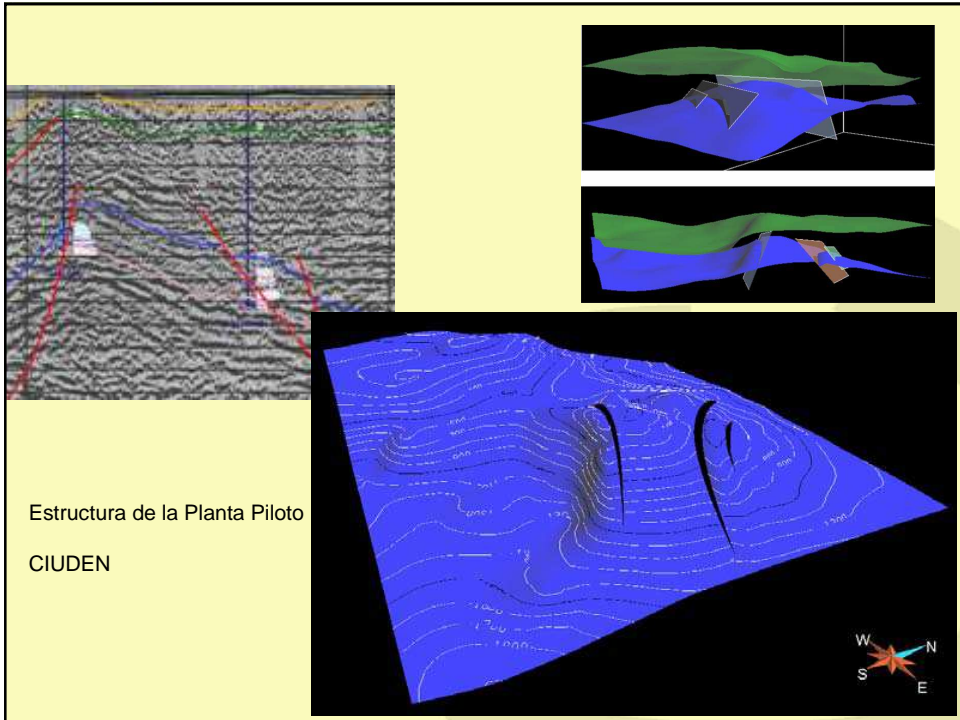
EL ALMACENAMIENTO DE CO₂ EN ACUÍFEROS SALINOS ES VIABLE, PERO...

- NECESITA DESARROLLOS METODOLÓGICOS Y TECNOLÓGICOS PARA MEJORAR SU VIABILIDAD ECONÓMICA Y SEGURIDAD



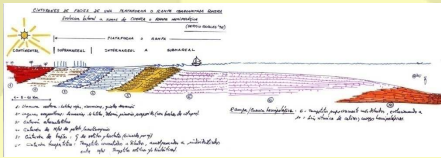
- La captura y almacenamiento de CO₂ no son la solución única para disminuir el impacto del co2







GOBIERNO de la Comunidad Valenciana

CIEMAT, CSIC, UPV, UB, IGME, GEA, SIEMCALSA

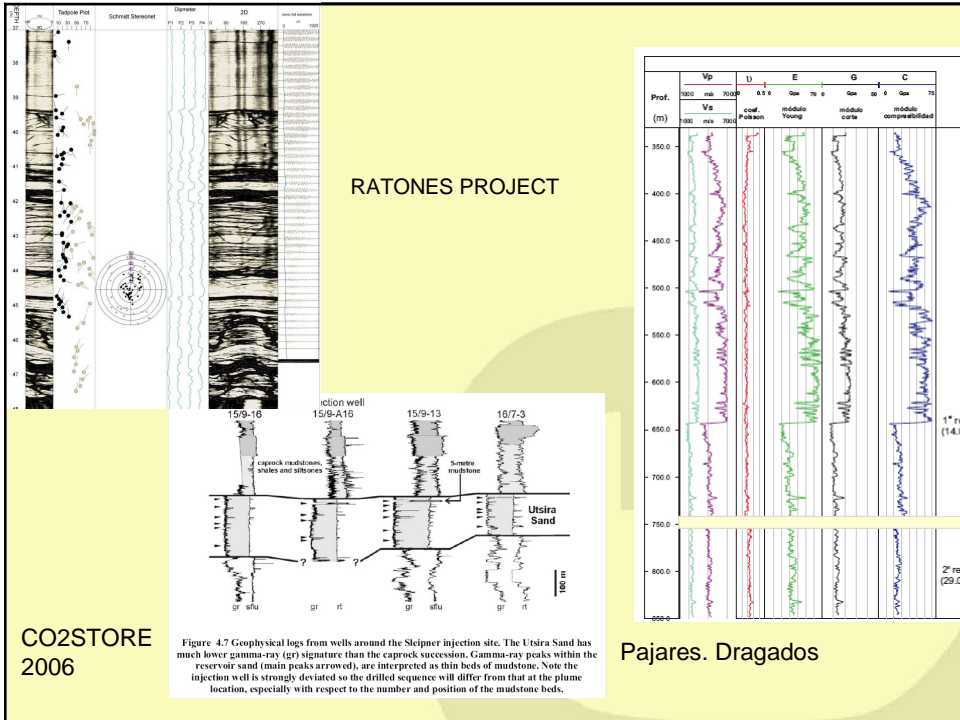
**-Adquisición de datos del subsuelo
Sísmica de reflexión**




CARACTERIZACIÓN




RATONES PROJECT



CO2STORE
2006

Figure 4.7 Geophysical logs from wells around the Sleipner injection site. The Utsira Sand has much lower gamma-ray (gr) signature than the caprock succession. Gamma-ray peaks within the reservoir sand (main peaks arrowed), are interpreted as thin beds of mudstone. Note the injection well is strongly deviated so the drilled sequence will differ from that at the plume location, especially with respect to the number and position of the mudstone beds.

Pajares, Dragados