

Almacenamiento Geológico de CO₂

Índice

- Principales Sectores Implicados
- Aspectos Técnicos
- Metodología de desarrollo de Proyecto Integral
- Metodología de Fase de investigación seguida por el IPF
 - Etapa 0: Selección preliminar de posibles emplazamientos y Solicitud de Permisos de Investigación
 - Etapa 1: Estudios de viabilidad, ensayos de laboratorio y modelo geológico inicial
 - Etapa 2: Trabajos de Campo: Campaña sísmica y prueba piloto de inyección
 - Etapa 3: Modelo actualizado y simulación detallada
 - Etapa 4: Seguimiento
- Conclusiones

Principales Sectores Implicados

Político: esfuerzo global para reducir las emisiones: Protocolo de Kioto. 2012 año crítico.

Industrial: Bonos de carbono. Certificados de emisión reducida; CER.



Ejemplo de gráfica de precio y volúmenes de Ton CO2 comerciados en la Unión Europea. Point carbon 2005

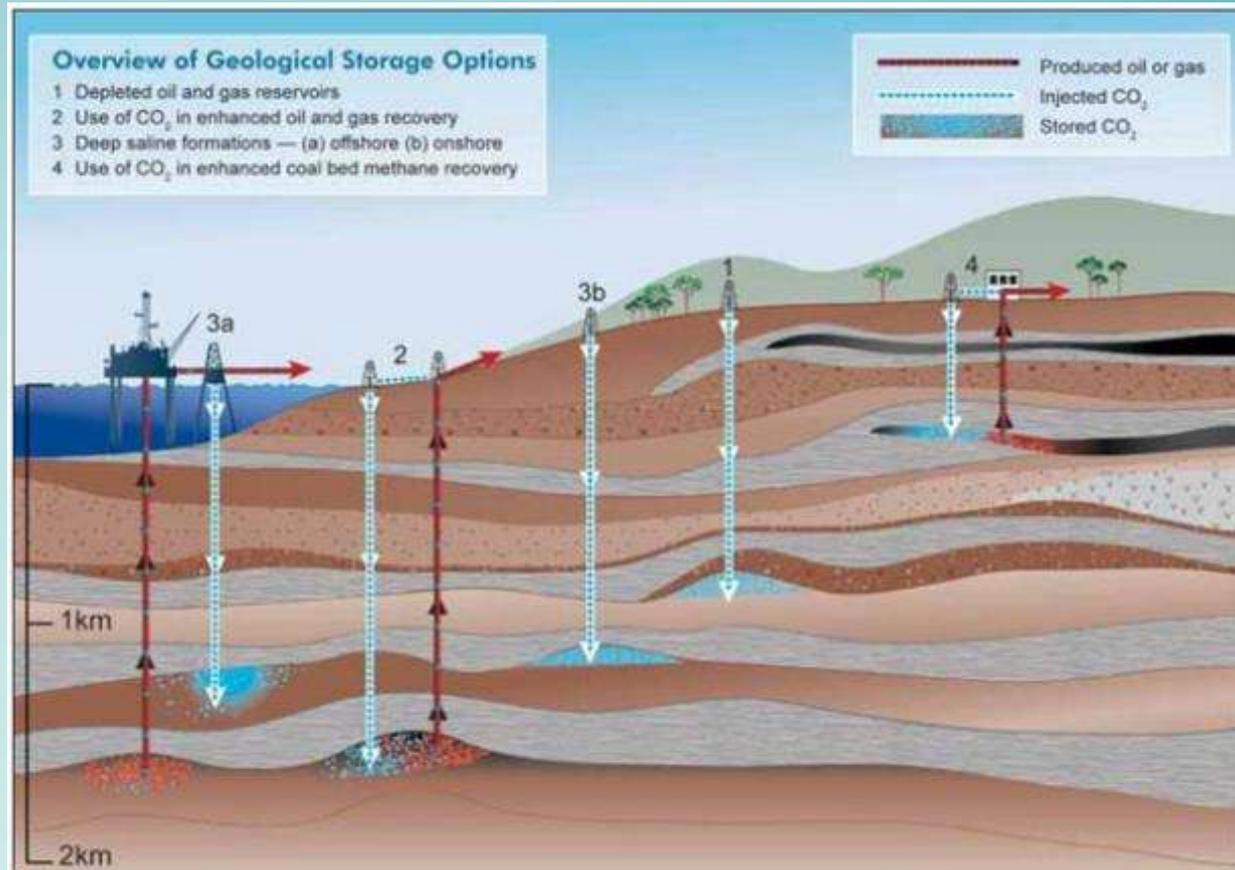
I+D+i: nuevo sector estratégico de investigación, subvenciones estatales e internacionales, proyectos que relaciona empresa y/o industria con entidades de investigación y/o Universidades.

Social: mejora de las condiciones ambientales del entorno, generación de puestos de trabajo y actividad en regiones poco industrializadas.

Aspectos Técnicos Básicos. ¿Dónde?

¿DÓNDE ALMACENAR EL CO₂?

1. Reservas de gas o petróleo agotadas
2. Recuperación secundaria de gas o petróleo
3. Acuíferos salinos profundos
4. En capas de carbón



Aspectos Técnicos Básicos. ¿Dónde?

Experiencia pilotos mundiales en yacimientos de hidrocarburos agotados (Lacq, Sleipner, Snohvit, Gorgon, In Salah).

El interés en España por el almacenamiento subterráneo de CO₂ comienza en 2003 liderado por el IGME en la búsqueda de emplazamientos susceptibles de ser almacenamientos de CO₂.

En España, en cambio, hay una amplia EXPERIENCIA en ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE GAS NATURAL.

Aspectos Técnicos Básicos. ¿Cómo?

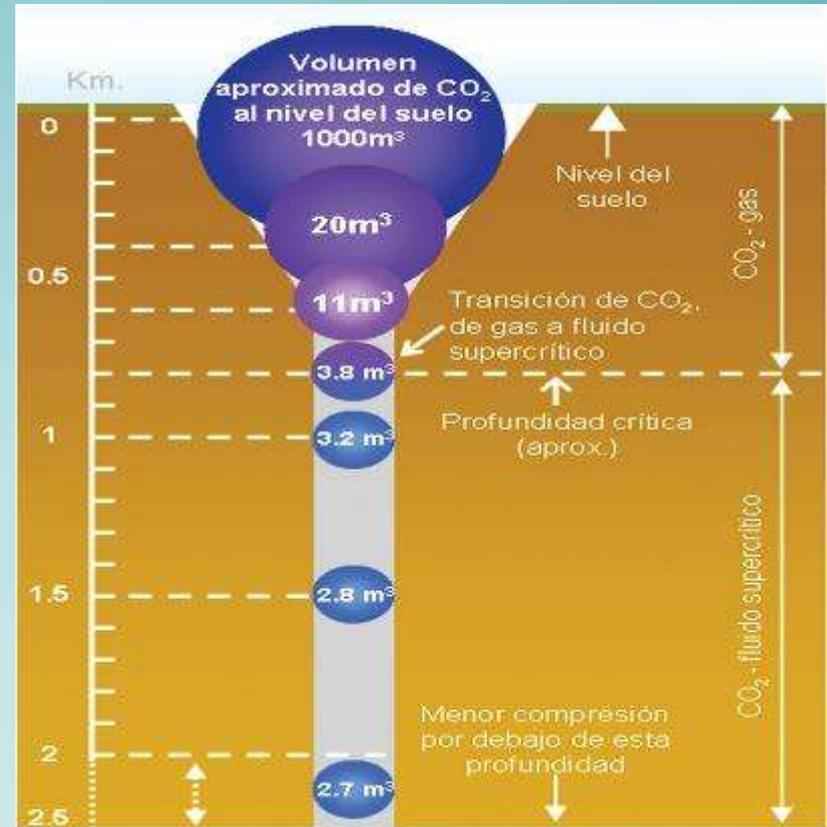
Fluido supercrítico

El dióxido de carbono presenta un cambio volumétrico de hasta 400 veces su volumen cuando es sometido a unas condiciones superiores a su presión y temperatura crítica:

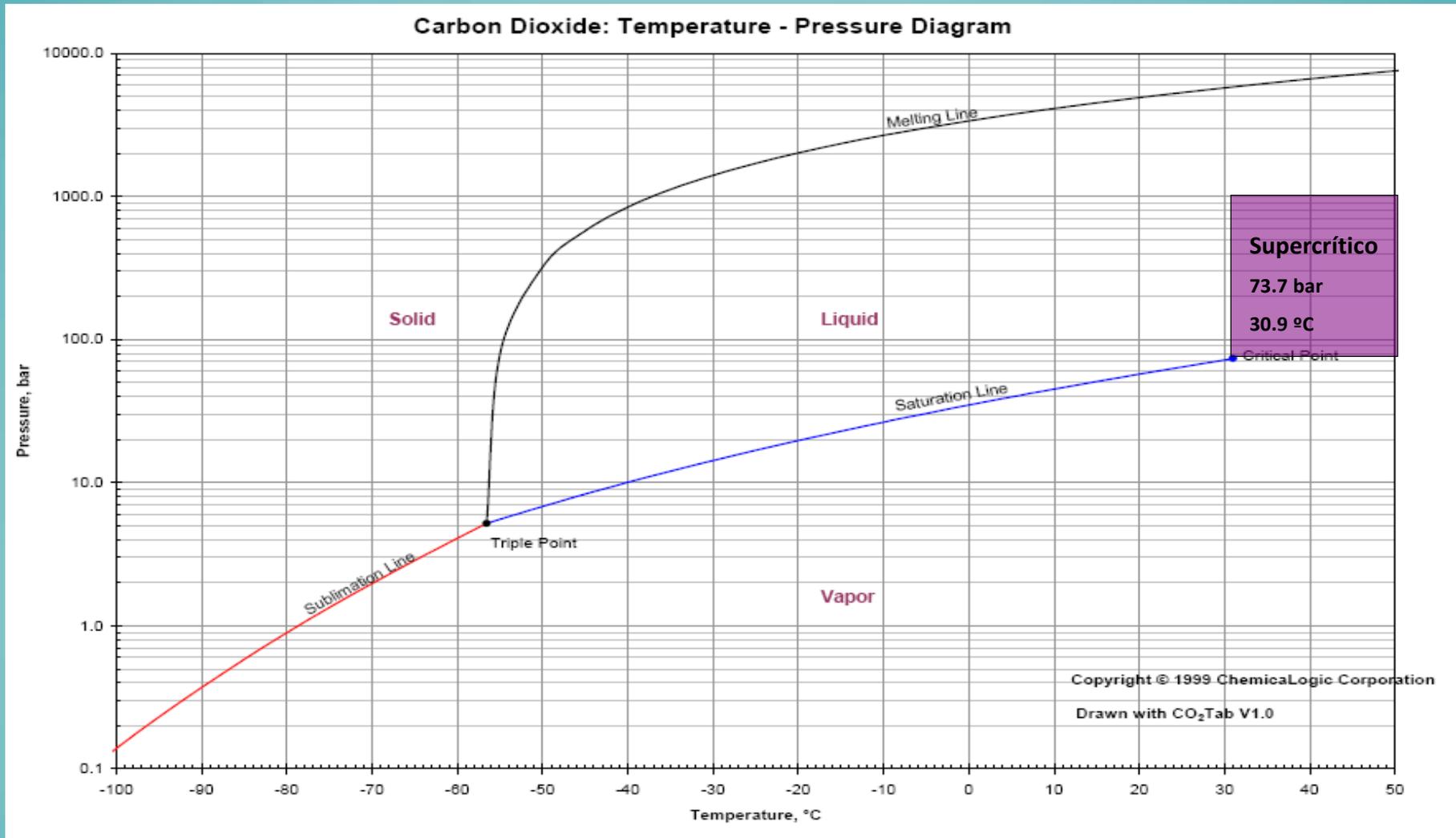
1 tonelada de CO₂ en C.N. (0°C y 1 bar), ocupa 509 m³

1 tonelada de CO₂ en cond. de subsuelo (35°C y 100 bares), ocupa 1,39 m³

Esta disminución de volumen, favorece su almacenamiento subterráneo.



Aspectos Técnicos Básicos. ¿Cómo?



Aspectos Técnicos Básicos. ¿Cómo?

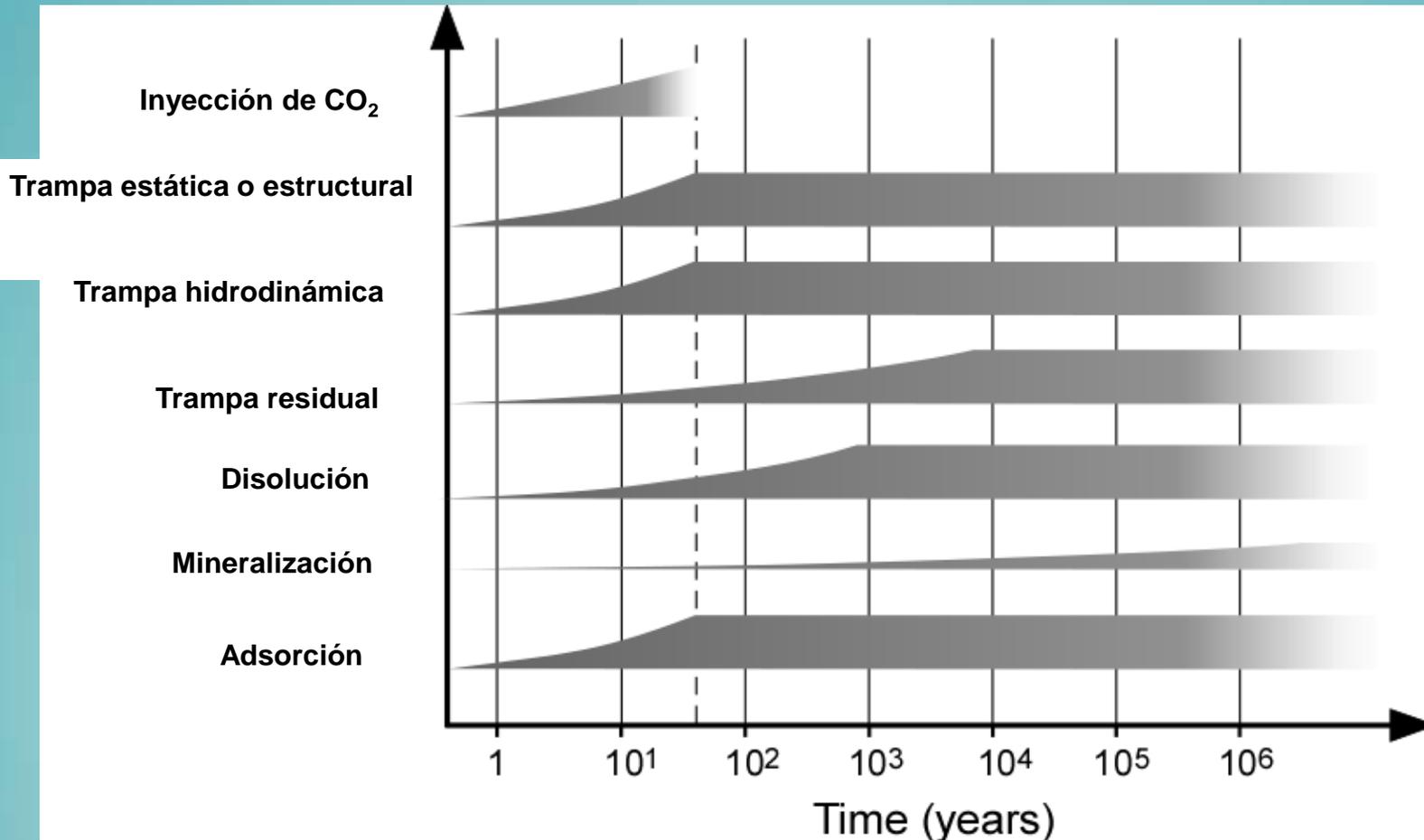
1.- Inicialmente coexisten dos fases separadas del dióxido de carbono (L+G).

2.- A medida que se incrementa la temperatura (con presión crítica superada), las densidades del gas y del líquido comienzan a ser similares, y el “menisco” de separación de ambas fases es cada vez más difícil de ver.

3.- Una vez que se ha sobrepasado la temperatura y presión crítica, las dos fases originales gas-líquido no se distinguen, sólo existe una fase homogénea (fluido supercrítico).



Aspectos técnicos. Mecanismos de fijación



Operating time frame of various CO₂ geological-storage mechanisms (modified from IPCC, 2005).

Aspectos técnicos. Mecanismos de fijación

MECANISMO	NATURALEZA DE LA TRAMPA	MÉTODO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD
Trampa estructural y estratigráfica	El CO ₂ permanece retenido por el sello del almacén	Cálculo del volumen simple de la formación con las características petrofísicas que se conozcan
Trampa hidrodinámica	Fijación del CO ₂ en el almacén a través de la presión ejercida por el flujo del agua que contiene la formación permeable	Requiere simulaciones y modelo del flujo regional en el almacenamiento
Trampa residual	A la vez que el CO ₂ tiende a ascender a través del almacén, algo de él es retenido en pequeños poros por las fuerzas capilares	Requiere el conocimiento de las propiedades petrofísicas y la simulación
Disolución	El CO ₂ fluye por debajo del sello y eventualmente se disuelve en el agua de la formación	Necesaria la simulación y el conocimiento del volumen de CO ₂ a inyectar y el ratio de inyección
Mineralización	Fijación química mediante reacciones del CO ₂ con el agua de la formación y con la roca almacén	Conocimiento de la mineralogía y la cinética de reacción. Necesaria la simulación
Adsorción	Se desarrolla de forma específica en las capas de carbón. El CO ₂ queda adherido a las paredes internas de los poros del carbón	Requiere de conocimientos de la adsorción de gases, así como de la permeabilidad y la reactividad del CO ₂ con el carbón

Metodología desarrollo Proyecto Integral



Metodología Fase de Investigación. Etapa 0

Selección preliminar de posibles emplazamientos. Criterios técnicos

- Criterios tectónicos:
 - Se descartan cuencas en zonas muy plegadas, falladas, con actividad sísmica reciente y que estén en cinturones de plegamiento.
- Criterios geológicos:
 - Presencia de formaciones almacén y sello de interés a las profundidades adecuadas y con una capacidad determinada.
- Criterios hidrodinámicos
 - Dinámica natural de los fluidos.
 - Contenidos en sales.

Metodología Fase de Investigación. Etapa 0

Reservas del Estado para almacenamiento de CO₂

Posición geográfica



Leyenda

Reservas del Estado

-  1. Zaragoza
-  2. Teruel
-  3. Palencia
-  4. Madrid
-  5. La Mancha
-  6. Alicante
-  7. Vizcaya
-  8. Santander Marina 1
-  9. Santander Marina 2
-  10. Huelva Marina

Metodología Fase de Investigación. Etapa 0

Solicitud de Permisos de Investigación

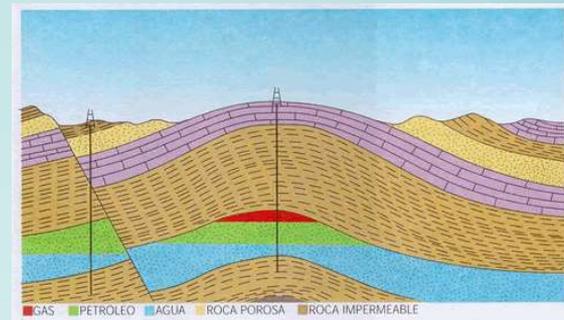
- Regidos por la Ley de Minas (Ley 22/1973, de 21 de Julio) y Reglamento Minero (Real Decreto 2857/1978, 25 de Agosto)
- En trámites  Transposición de la Directiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono
- Es necesario presentar un informe técnico al MITYC con un programa de Investigación.

Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Estudios de Viabilidad

Análisis previo:

- Recopilación y revisión de la información geológica existente:
 - Historia geológica: sedimentación, tipo de cuenca, características de las formaciones de interés, sismicidad de la zona,...
 - Geofísica: líneas sísmicas
 - Sondeos: informe geológico, logs, testigos (si los hubiese)
 - Hidrogeología: informes previos de acuíferos, dinámica de fluidos
 - Geomecánica

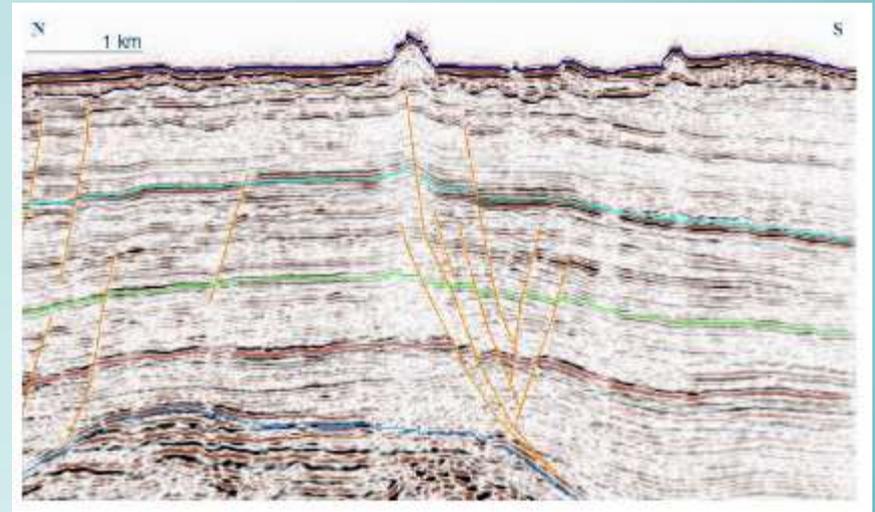
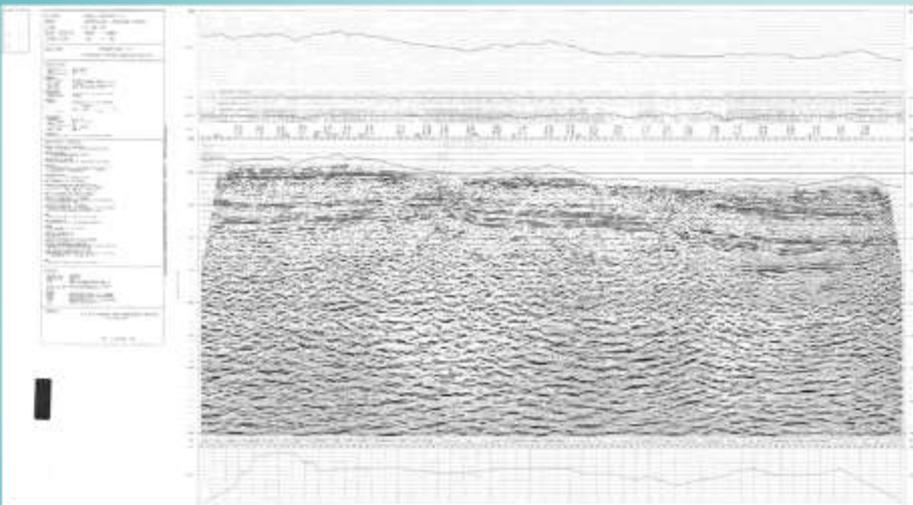


Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Estudios de Viabilidad

Problemática:

- La información existente puede ser muy antigua y de mala calidad.
- Necesidad de:
 - Digitalización de la información (sísmica, logs, etc...)
 - Reprocesado de la sísmica

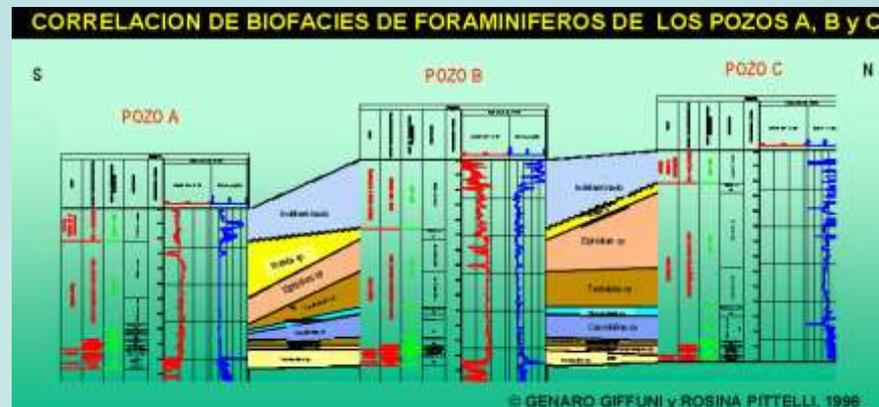


Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Estudios de Viabilidad

Estudio detallado de la información:

- Una vez obtenida la digitalización de los documentos y el reprocesado se realizará:
 - Reinterpretación de la sísmica digitalizada
 - Análisis y correlación de pozos
 - Síntesis de la información



Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Estudios de Viabilidad

Ensayos de Caracterización Petrofísica:

- Determinar las propiedades petrofísicas de las rocas. Necesarias para realizar un modelo geológico.
- Se realizan en:
 - Testigos de los sondeos realizados.
 - Muestras de afloramiento de análogos de las formaciones almacén y sello.

Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Ensayos de laboratorio

- **Laboratorio Petrofísico** para realizar ensayos de RCAL y SCAL.

- Promovido por:

- La Fundación Gómez-Pardo de la E.T.S.I.M



- El Instituto Francés del Petróleo



- Gas Natural Fenosa



- Enagás



Metodología Fase de Investigación. Etapa 1



Microscopio Electrónico de barrido

- Departamentos:
 - R.C.A.L.
 - S.C.A.L.
 - Módulo Mecánica de rocas
 - Simulación e Interpretación de resultados



Porosímetro de Mercurio



Difractómetro de Rayos-X



Escáner

Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Cálculo de la porosidad

Por medio de medidas rutinarias (volumen de poros y volumen total) o utilizando la porosimetría de mercurio

Distribución de la porosidad

Resonancia Magnética Nuclear y porosimetría de mercurio

Cálculo de la permeabilidad

Absoluta o relativa de tipo líquido/líquido o gas/líquido

Cálculo de presión capilar

Por medio de centrifugación o porosimetría de mercurio

Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Análisis petrográfico

Utilizando Microscopio Óptico, Microscopio Electrónico de Barrido y Difracción de Rayos-X

Homogeneidad de las rocas

Por medio de tomografía computerizada (Escáner CT)

Propiedades Fluidomecánicas

Mediante equipos piloto de laboratorio

Determinación de la saturación de fluidos

Resonancia Magnética Nuclear

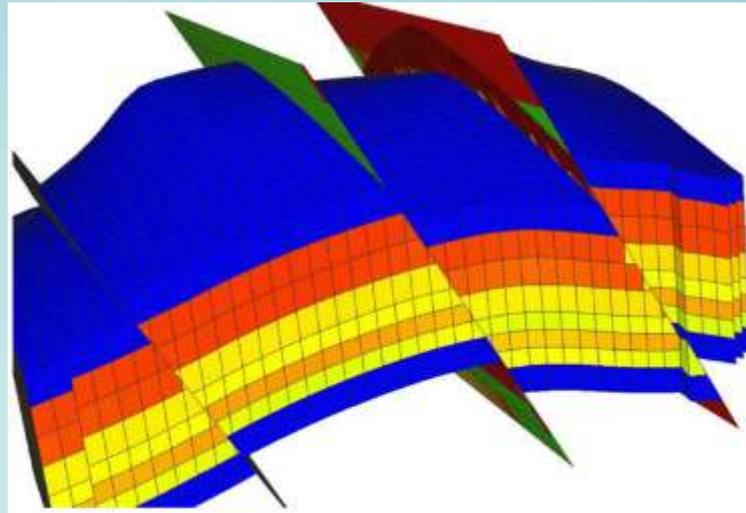
Factor de Formación e índice de resistividad

Medidas eléctricas

Metodología Fase de Investigación. Etapa 1

Modelo geológico preliminar

- A continuación, se obtendrá un modelo geológico inicial utilizando la información geológica y los datos del laboratorio:
 - Estimación inicial de la geometría y volumen del cuerpo del almacén



Metodología Fase de Investigación. Etapa 2

Campaña sísmica

- Una vez que desarrollado un modelo conceptual inicial del almacenamiento, para disminuir la incertidumbre y si la cobertura sísmica previa es escasa o de mala calidad se preparará una campaña de adquisición sísmica 2D / 3D.
- Método sísmico de reflexión: Técnica geofísica usada para representar en 2 o 3 dimensiones las capas internas del subsuelo.
- Técnica comúnmente utilizada por las industrias del petróleo y gas.
- Basada en ondas de compresión generadas artificialmente que viajan a través de los materiales rocosos y son reflejadas parcialmente en cada interface de roca



Generador de ondas



Receptor de la energía reflejada

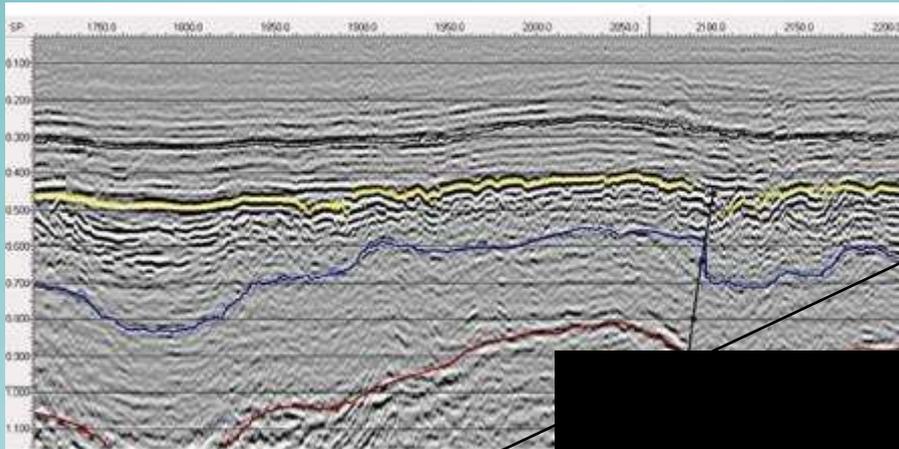
Metodología Fase de Investigación. Etapa 2

Campaña sísmica

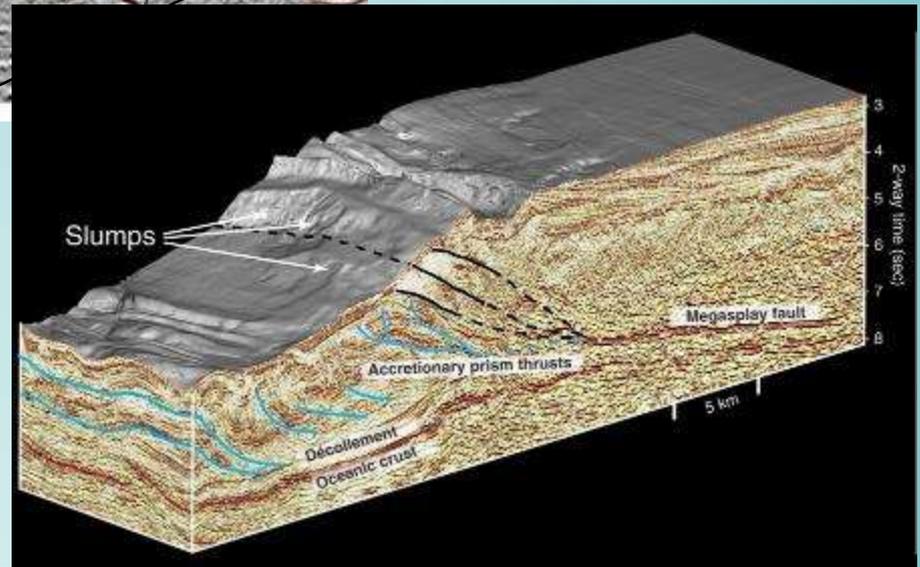
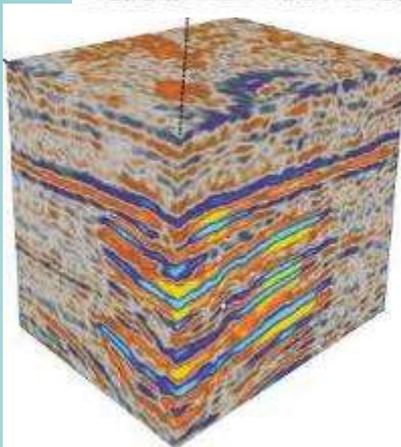
Dependiendo de la densidad de información sísmica tendremos:

■ Sísmica 2D

■ Sísmica 3D



Reconocimiento de la estructura interna de la tierra

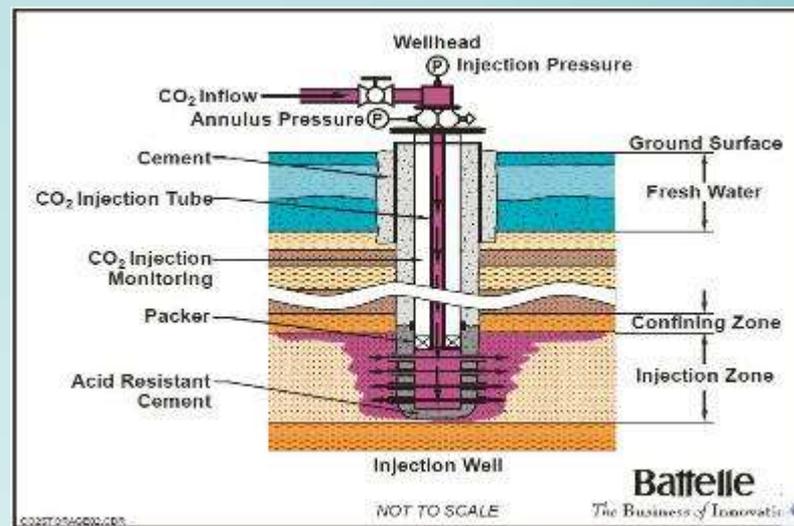


Metodología Fase de Investigación. Etapa 2

Pruebas piloto de Inyección

- El número de sondeos de investigación que se deben perforar dependerá de la geometría y extensión.
- Una vez que la caracterización inicial del almacenamiento ha sido realizada, y definido el emplazamiento, se perfora un sondeo piloto de investigación para recoger información específica:
 - Testigos del almacenamiento, sello y sidewall cores para realizar medidas petrofísicas, (porosidad, permeabilidad, etc...).
 - Pruebas de inyección → Curvas de presión para estimar la inyectividad del almacén

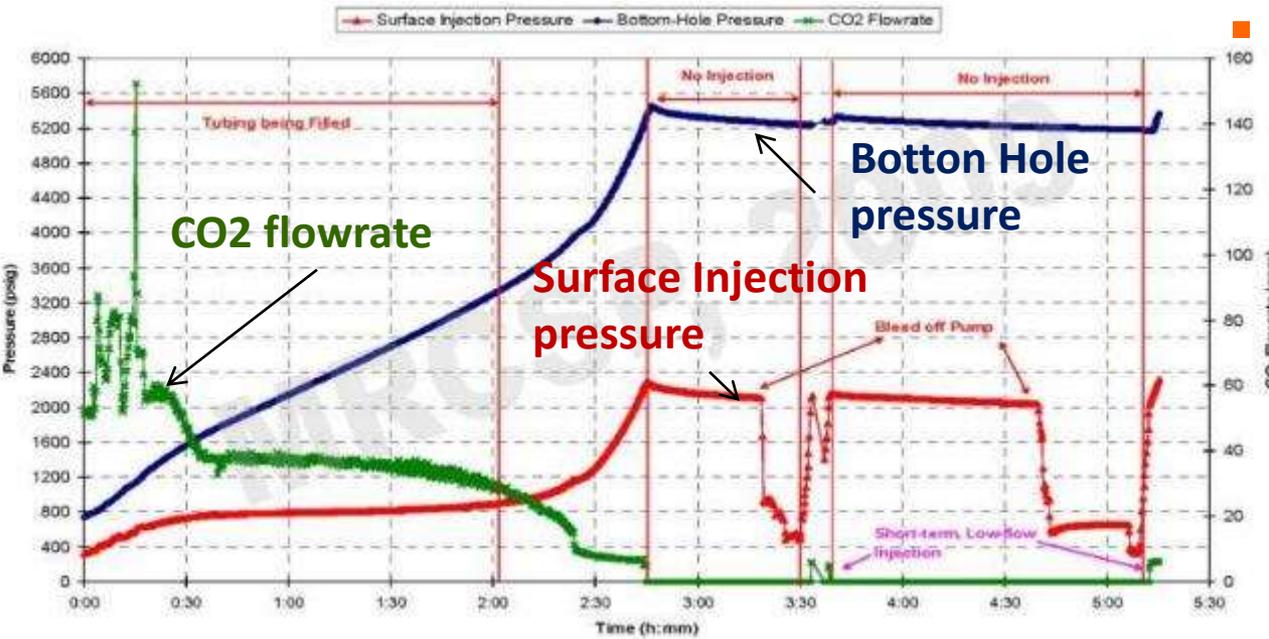
Completación de pozo para permitir la inyección de CO₂



Metodología Fase de Investigación. Etapa 2

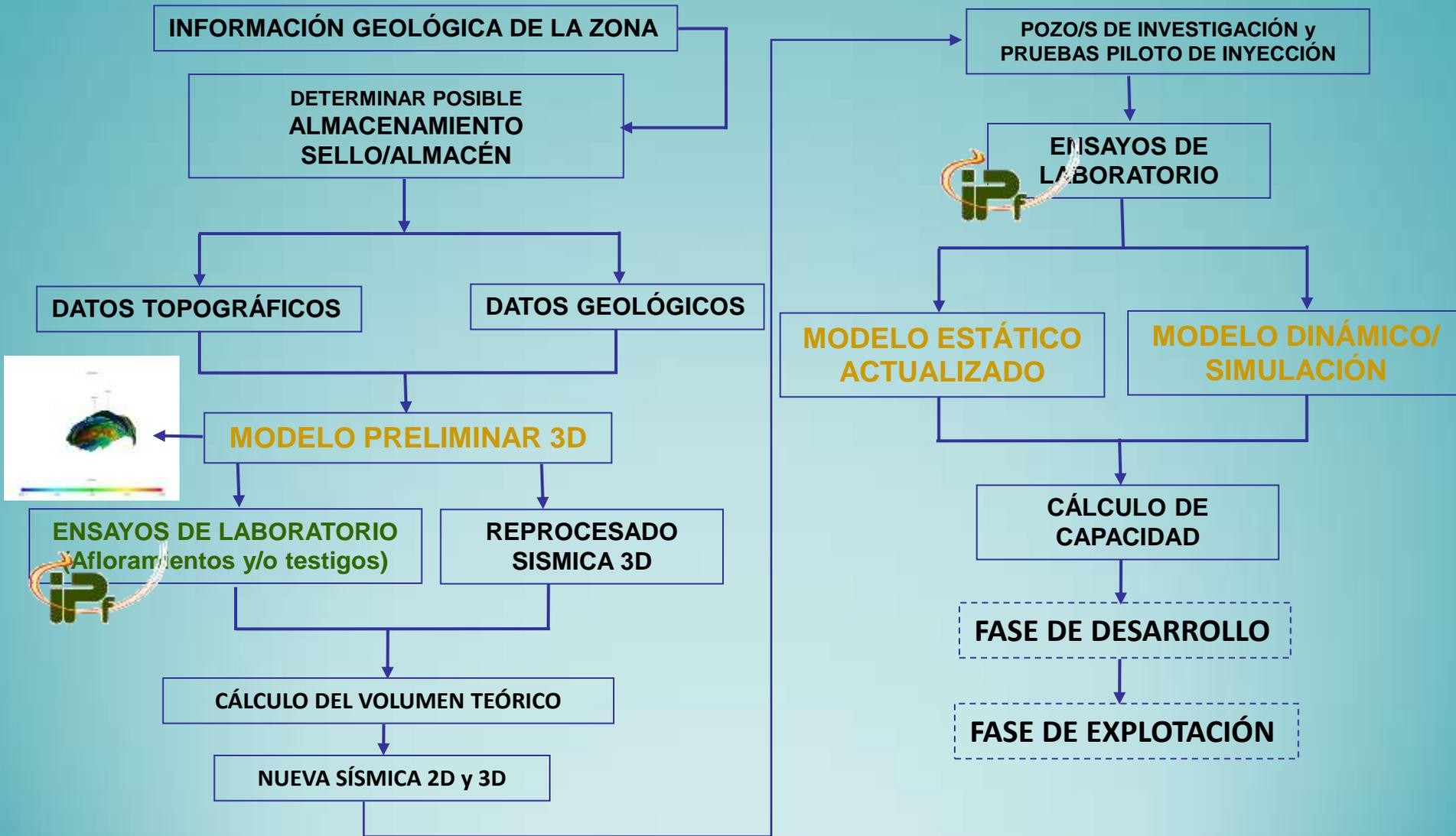
Pruebas piloto de inyección

- El CO2 para la prueba es transportado en camiones en estado líquido hasta las instalaciones.
- El trailer de inyección consta de una bomba de alta presión y calentadores para pasar el CO2 a estado supercrítico, con las condiciones de P y t^a necesarias.



Test de presión: En el ejemplo, la presión aumenta rápidamente, indicando porosidad y permeabilidad menores de lo previsto: Baja inyectabilidad

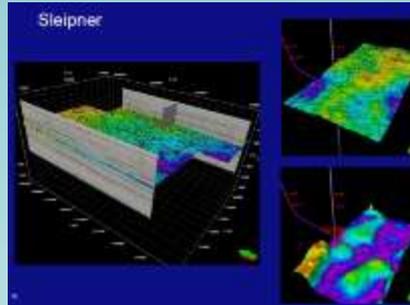
Metodología Fase de Investigación. Etapa 3



Metodología Fase de Investigación. Etapa 3

Modelo geológico actualizado y simulación

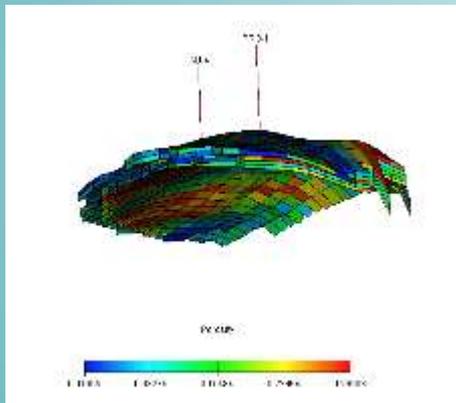
Modelo Estático actualizado → Tipo de almacenamiento



Acuífero Salino Profundo
Yacimiento agotado

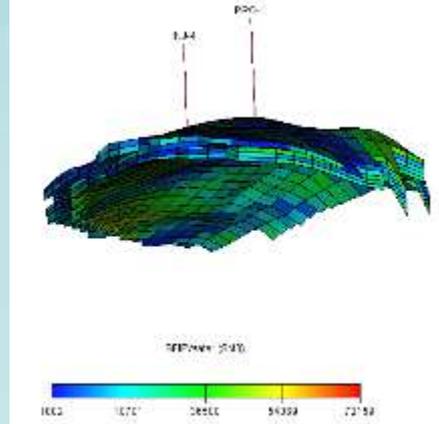
Características

Modelo Dinámico



Porosidad

Simulación



Saturación en agua

Variación de parámetros del modelo
estático a lo largo del tiempo

Parámetros del
almacenamiento

Parámetros del CO2
inyectado y
almacenado

Metodología Fase de Investigación. Etapa 3

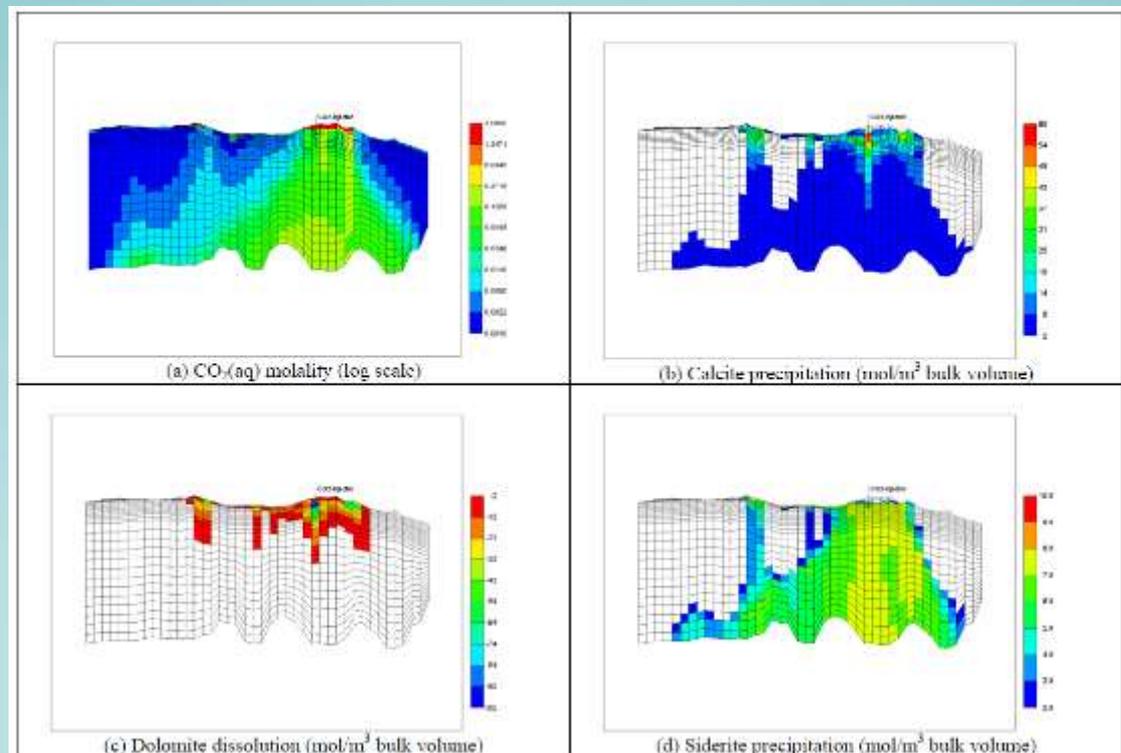
Programas de modelización y simulación en



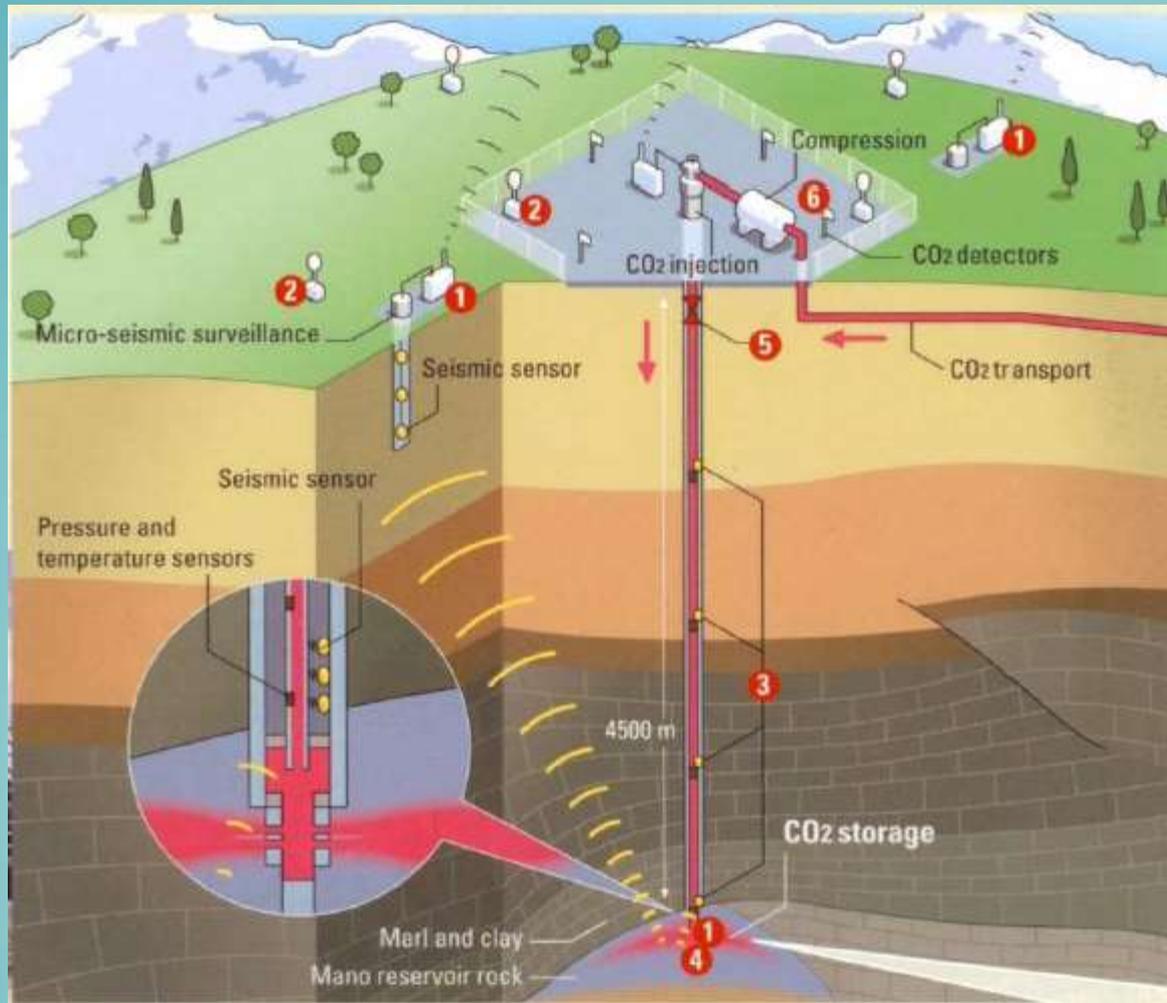
Códigos	Interpretación/Simulación a Escala de Laboratorio			
Cydar	Curvas de Presión Capilar, Permeabilidades Relativas, Porosimetría de Mercurio			
Sendra	Curvas de Presión Capilar, Permeabilidades Relativas, etc.			
Reprocesado de Sísmica/Modelización Geológica				
Kingdom Suite	Interpretación Sísmica			
JewelSuite	Modelización Geológica			
Interpretación/Simulación a Escala de Yacimiento				
Mecanismos de "Geofijación"				
Códigos	Precipitación y Disolución de Minerales	Saturación Residual (Histéresis)	Solubilidad del gas en la fase acuosa	Efectos Geomecánicos
GEM-GHG	✓	✓	✓	✓
Eclipse 300	✓	✓	✓	✓
TOUGH2 ECO2N/EOSM/Toughreact	✓	✓	✓	X

Metodología Fase de Investigación. Etapa 3

- Resultados de la simulación
 - Proyecto Sleipner, Mar del Norte.
 - Simulador: GEM-GHG



Metodología Fase de Investigación. Etapa 4



1. Vigilancia micro-sísmica
2. Medidas de gas a nivel de suelo
3. Pozo de inyección-monitoreo
4. Seguimiento de la presión y temperatura del almacenamiento
5. Válvula de cierre
6. Detectores de CO₂

Reference project at Lacq

Conclusiones-1

Para la metodología de investigación utilizada en el almacenamiento de CO₂, la iniciativa de IPF se centra en llevar a cabo de manera integrada los siguientes principios:

- Teniendo en cuenta el nivel de desarrollo tecnológico de los proyectos de CO₂, abordamos el proyecto en colaboración con otros centros de Desarrollo del Conocimiento y Empresas.
- Pese a que la fase de investigación es crítica para comprobar técnicamente la viabilidad del proyecto, el hecho de contar con la información de antiguos sondeos de exploración petrolera en el área de estudio, supone un menor coste y tiempo para los estudios a realizar.
- Como herramientas básicas, para estos proyectos, hay que contar con las medidas petrofísicas en laboratorio y la simulación numérica.

Conclusiones-2

- El éxito del desarrollo de la Investigación que se lleva a cabo sobre la localización y evolución del Almacenamiento geológico de CO₂ en el país, permitirá continuar con el uso de combustibles fósiles en la generación eléctrica y la actividad de fabricación del sector cementero, como principales emisores de fuentes concentradas de CO₂.

