

# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Moisés Dávila Serrano

Directores  
**DRA. ROSA LAURA MERAZ CABRERA**  
**DR. GUILLERMO J. ROMAN MOGUEL**

Septiembre 2011



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## INDICE



## HIPÓTESIS

México cuenta con un territorio de diversidad geológica importante y ofrece la posibilidad de que algunos sitios puedan ser utilizados para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> proveniente del sector eléctrico.

## OBJETIVO

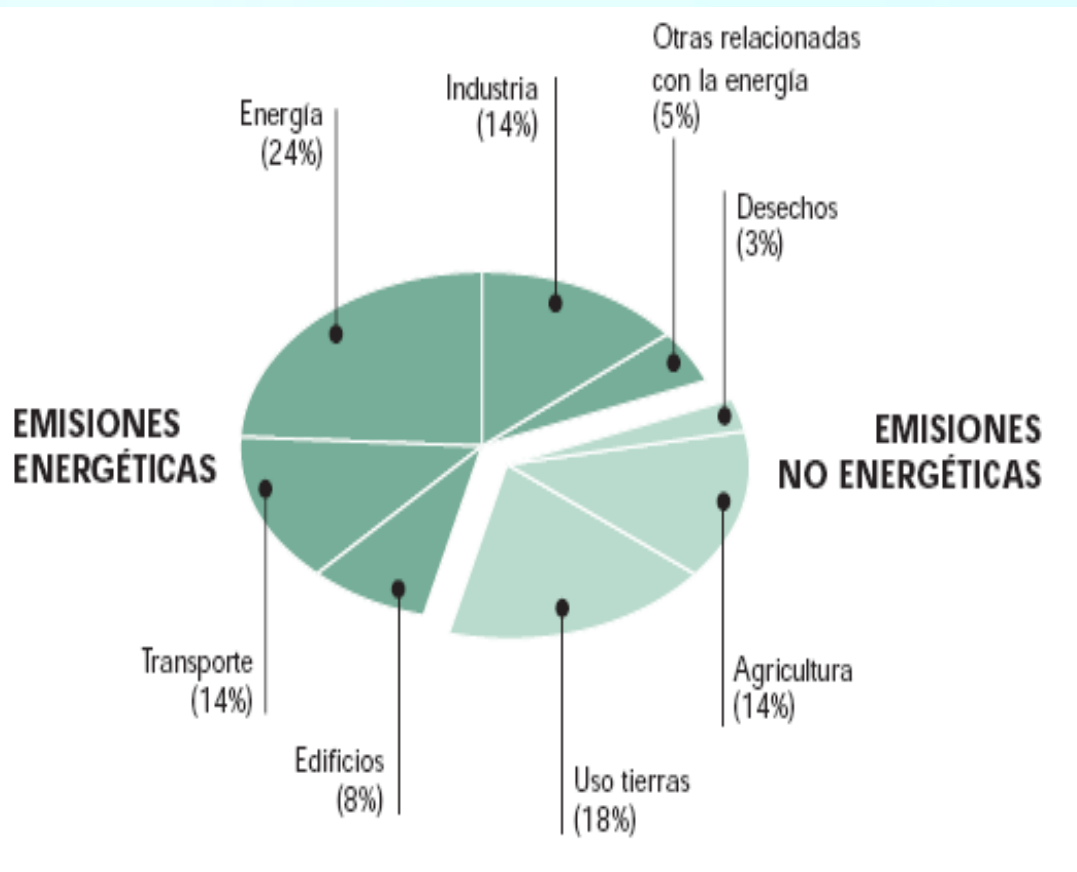
Investigar las condiciones del subsuelo mexicano en la búsqueda de sitios que cumplan geológicamente los requerimientos para almacenar CO<sub>2</sub>.

## Objetivos Específicos

- I. Analizar la información sobre el subsuelo mexicano para determinar las zonas susceptibles de ser usadas para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- II. Evaluar los impactos ambientales de las principales alternativas disponibles para almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

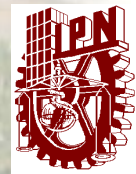


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México



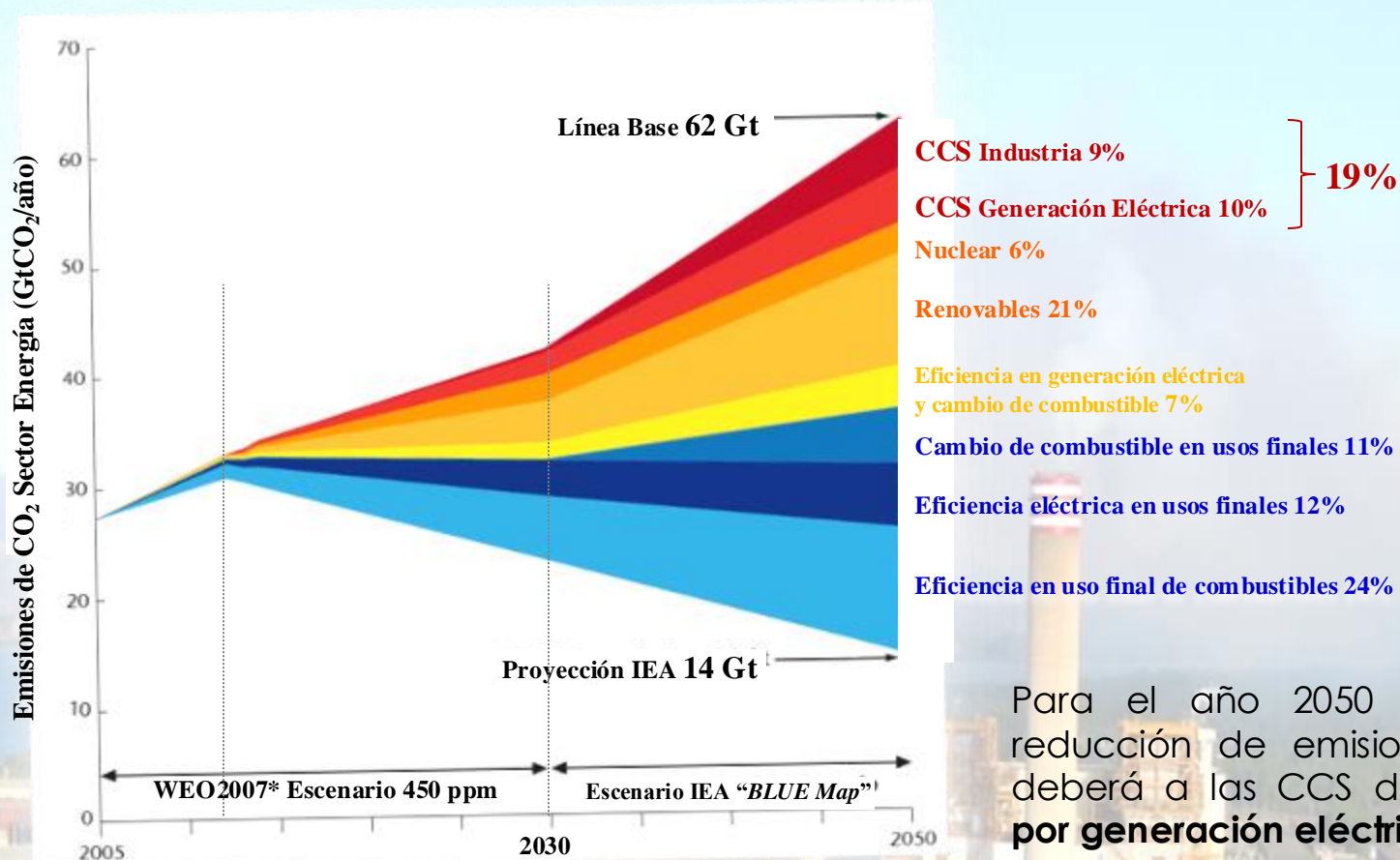
La emisión mundial de gases de efecto invernadero se estima en 42 Gt al año.

El sector energético es el mayor productor con 30 Gt.



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico



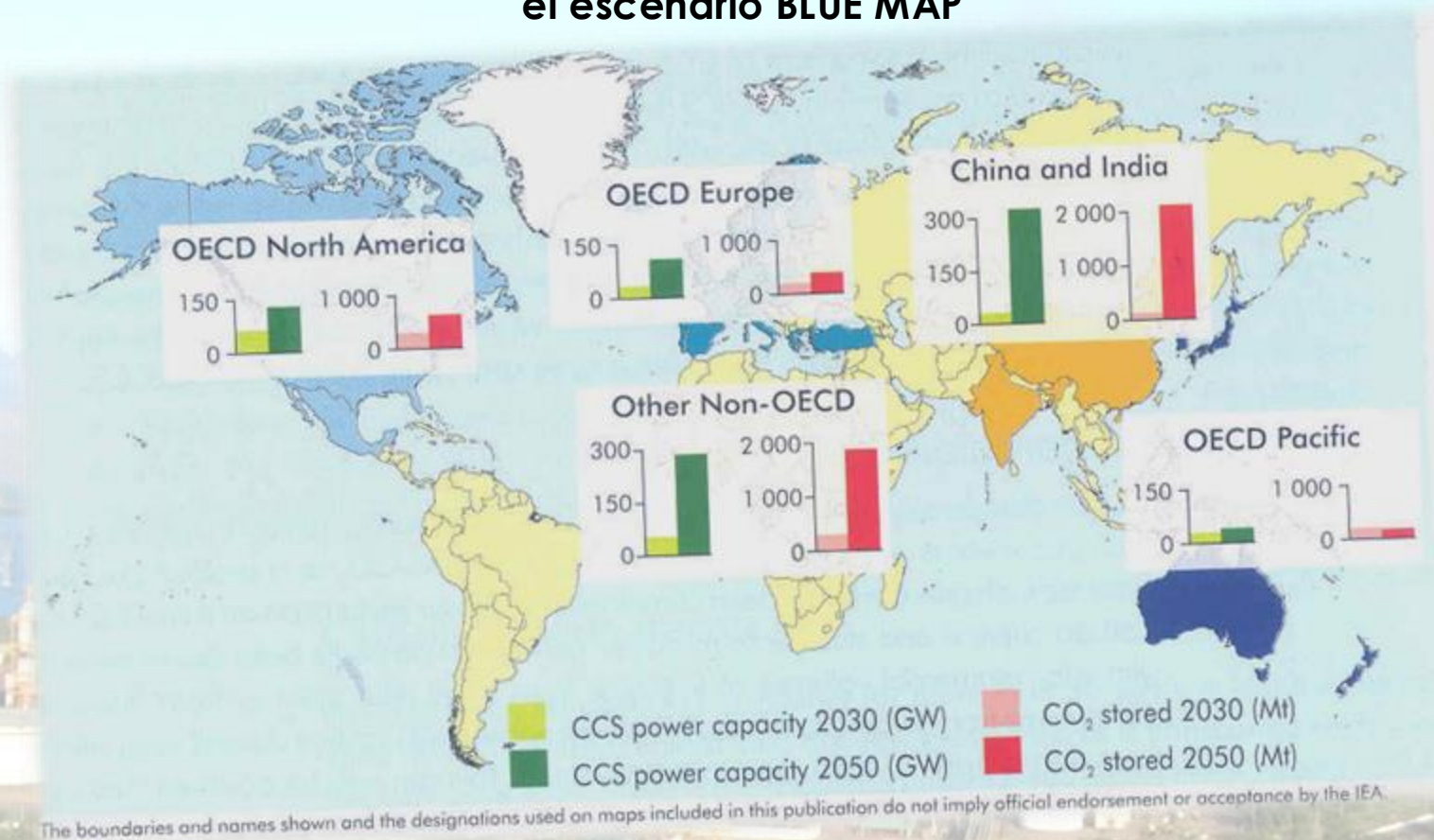
Para el año 2050 el 10% de la reducción de emisiones de GEI se deberá a las CCS de las **emisiones por generación eléctrica.**

FUENTE: IEA (Agencia Internacional de Energía). *Energy Technology Perspectives* (2010)

Si no se dispone de la tecnología CCS, la meta de reducir a la mitad las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes del sector energía al año 2050 tendría un costo adicional del 70%



## Implementación de proyectos CCS en la generación de electricidad en el escenario BLUE MAP



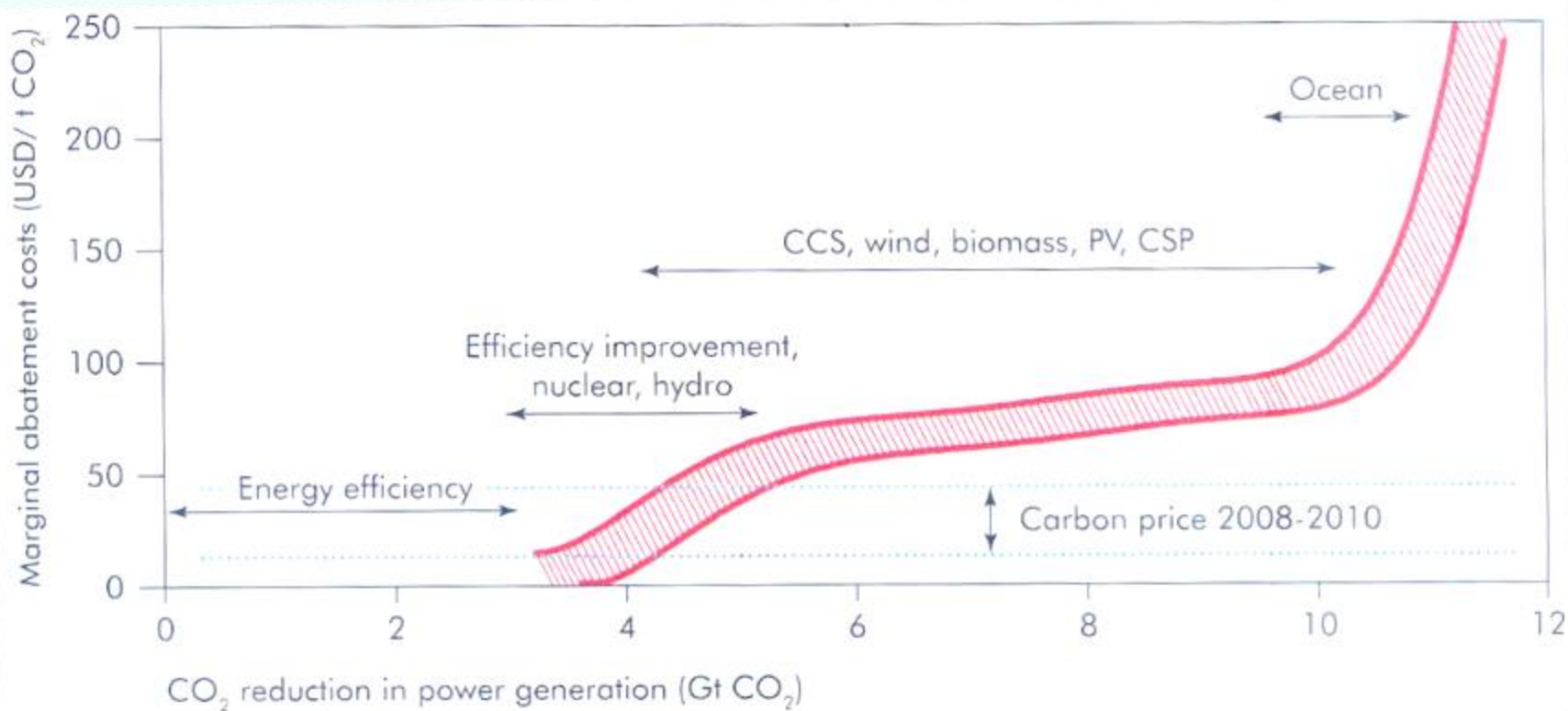
FUENTE: IEA (Agencia Internacional de Energía). *Energy Technology Perspectives* (2010)



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico

## Costos de mitigación de CO<sub>2</sub> en el Sector Eléctrico (2010-2020) y precios actuales de CO<sub>2</sub>



FUENTE: IEA (Agencia Internacional de Energía). *Energy Technology Perspectives* (2010)



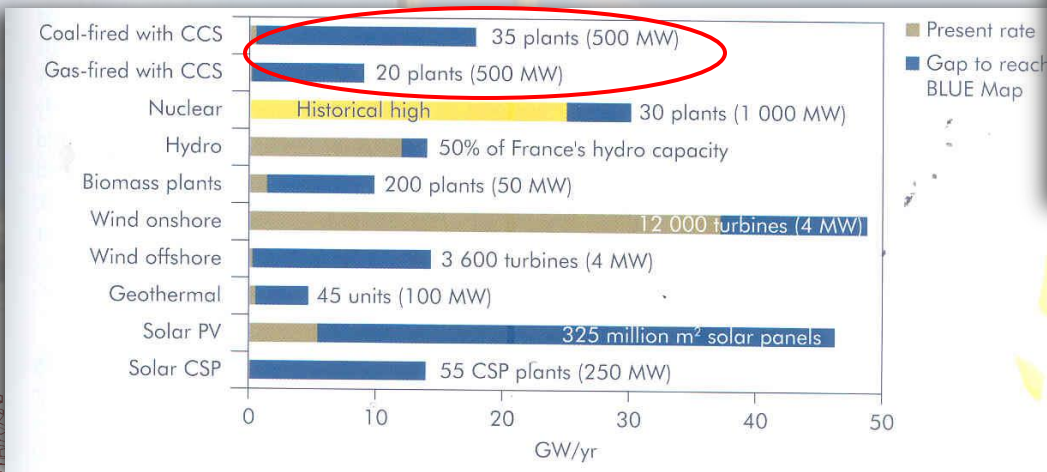
# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico

Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y necesidades de inversión en I&D en el escenario BLUE MAP

Adiciones anuales de capacidad en el sector eléctrico para lograr el escenario BLUE MAP

	Annual CO <sub>2</sub> savings in 2050 (Gt)	RDD&D spending needs (USD bn) (2010-2050)
<b>Buildings</b>		
Energy efficiency in buildings	5.1	n.a. <sup>2</sup>
<b>Industry<sup>2</sup></b>		
CCS – industry and fuel transformation	4.2-5.0	1 700-2 200
Cement	0.3-0.4	n.a. <sup>2</sup>
Chemicals	1.0-1.4	n.a. <sup>2</sup>
Iron and steel	0.7-0.9	n.a. <sup>2</sup>
<b>Power generation</b>		
CCS – power generation	4.4	1900-2200
Biomass for heat and power production	0.3	250-350
Cleaner, high-efficiency coal	1.0	500-700
Concentrating solar power (CSP)	1.2-3.1	400-600
Geothermal	0.4	90-110
Nuclear power	2.6-7.5	650-750
Smart grids <sup>4</sup>	0.8-2.2	2 000-3 000
Solar photovoltaic (PV) power	1.0-2.7	250-350
Wind energy	1.5-4.8	750-900
<b>Transport</b>		
Electric and plug-in vehicles	2.6-3.1	6 000-9 000
Natural gas, hydrogen and fuel-cell vehicles	1.7	2 000-3 000
Second-generation biofuels	2.0	320-480
Vehicle efficiency (all modes)	3.1	n.a. <sup>2</sup>

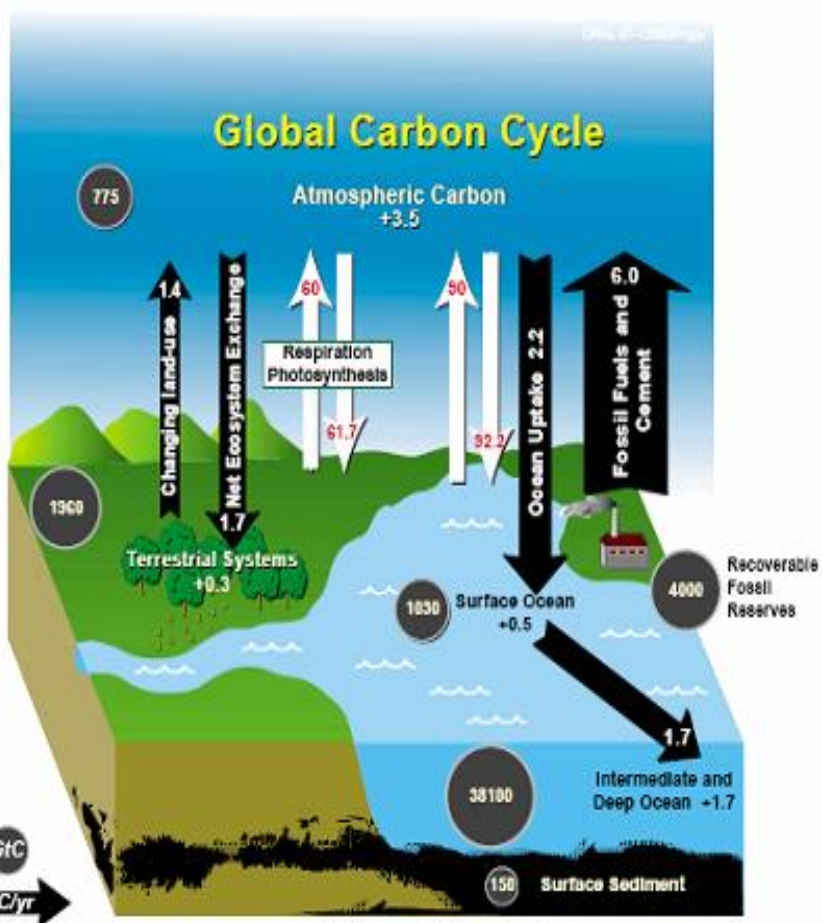


FUENTE: IEA (Agencia Internacional de Energía). *Energy Technology Perspectives (2010)*



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico



Qué es el secuestro de carbono?

Es el proceso de impedir la liberación de carbono gaseoso o de retirarlo de la atmósfera

Laboratory, O. R. N. (1999)

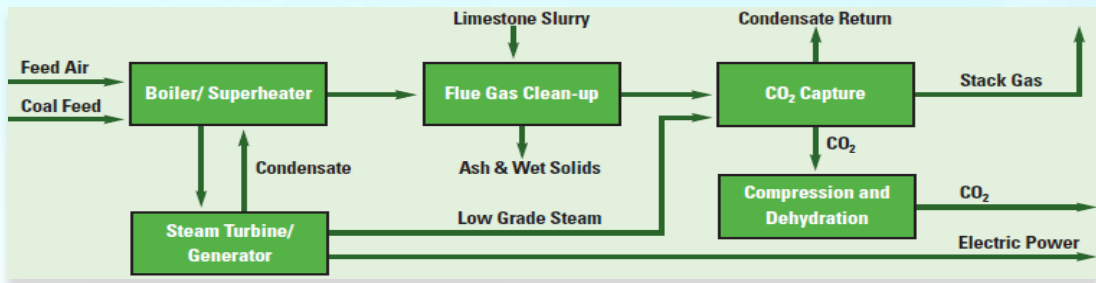


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

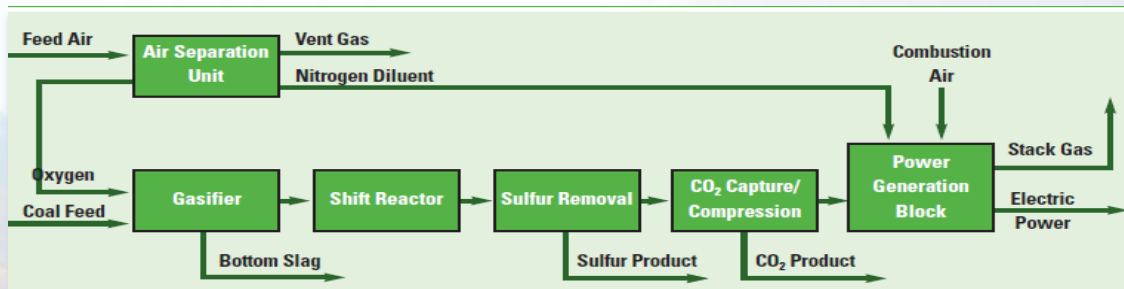
Marco Teórico

## Captura

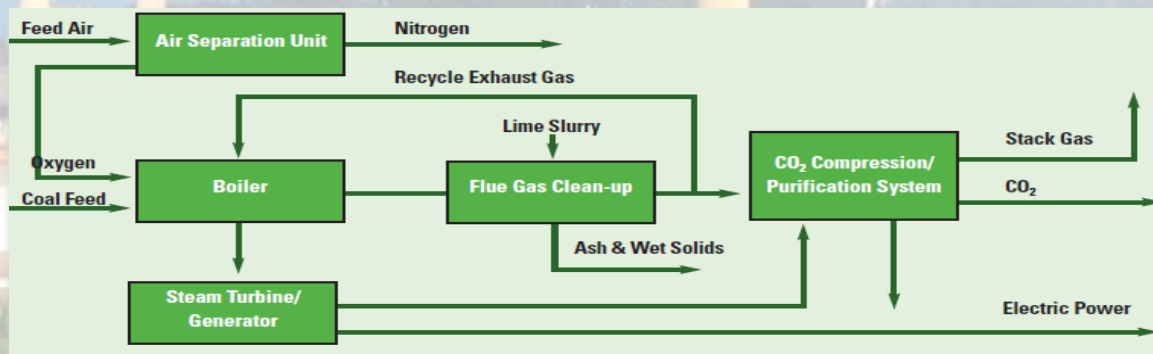
Post-Combustión



Pre-Combustión



Oxy-Combustión



WRI, 2008



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico

## Transporte de CO<sub>2</sub>

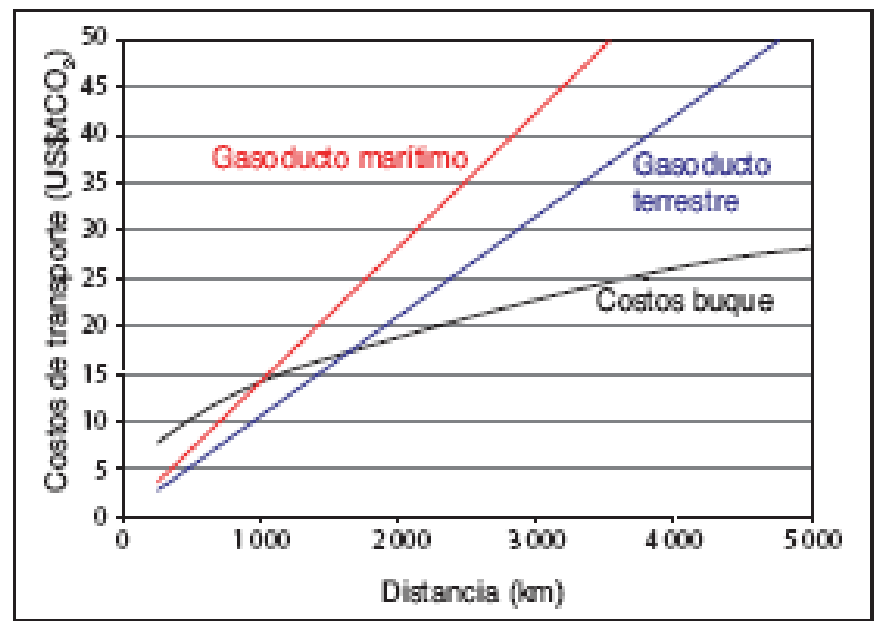
### Gasoductos



Es el medio más común, para transportar gas comprimido a 8 MPa y temperatura ambiente.

### Buques, camiones, o vagones cisterna isotérmicos

En forma líquida a temperaturas y presiones bajas (-20°C y 2 MPa). Son opciones técnicamente viables.



IPCC. 2005.



Algunos costos de transporte de CO<sub>2</sub>

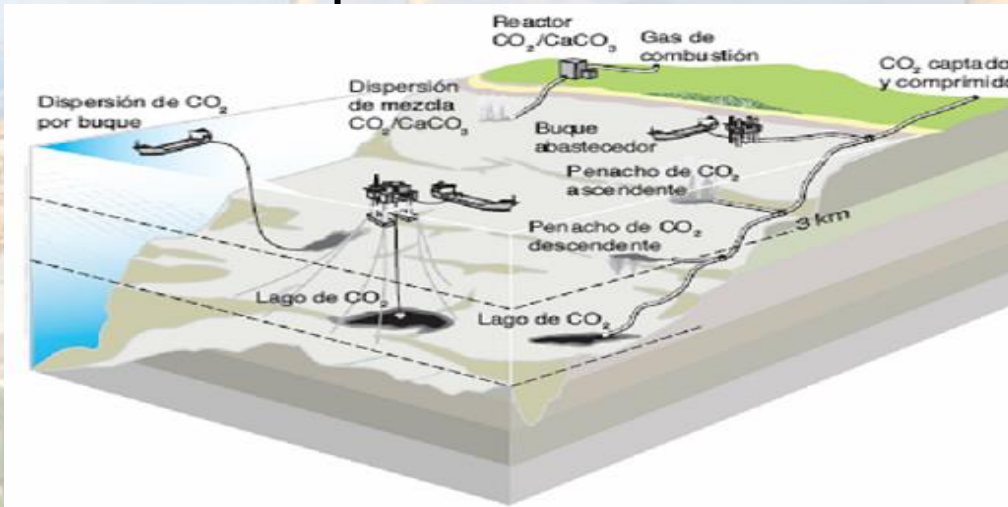
# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico

## Tipos de almacenamiento: Oceánico

Se inyecta el CO<sub>2</sub> captado y transportado por gasoducto o buque, en los fondos oceánicos a más de mil metros de profundidad.

Ventajas	Desventajas
<p>El CO<sub>2</sub> es soluble en agua, de manera que en su superficie y cerca de ella se lleva a cabo permanentemente un intercambio natural hasta que alcanzan un equilibrio.</p> <p>La formación de hidratos de CO<sub>2</sub> sólidos y/o lagos líquidos en el fondo del mar y la disolución de minerales alcalinos como la caliza para neutralizar el CO<sub>2</sub> ácido, podría prolongar cronológicamente el almacenamiento.</p>	<p>No se ha demostrado a escala experimental.</p> <p>Aunque no se conoce, es posible un mecanismo por medio del cual la liberación del CO<sub>2</sub> depositado en el lecho marino pudiera resurgir súbita o catastróficamente.</p> <p>Este sistema demandaría cantidades importantes de calizas y de energía para su preparación y depósito.</p>



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Tipos de almacenamiento: Geológico

Marco Teórico

Las estimaciones de los **costos** de almacenamiento en formaciones salinas y yacimientos petrolíferos suelen **oscilar entre 0,5 y 8 USD** por cada tonelada de CO<sub>2</sub> inyectado, más 0,1 a 0,3 por vigilancia de los mismos.

Pero habrá que considerar los beneficios del EOR que **tienen beneficios netos de 10 a 16 USD** por tonelada de CO<sub>2</sub>.

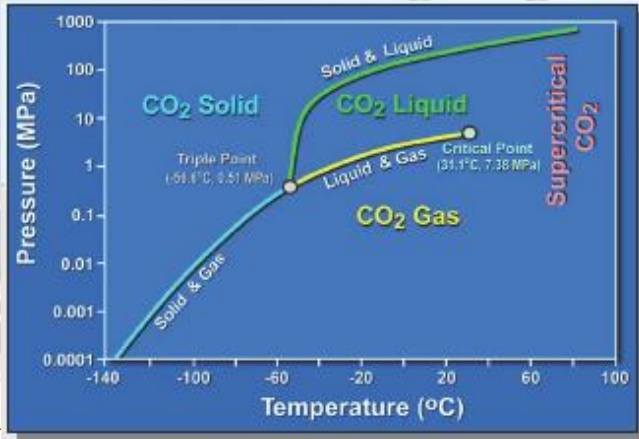


Diagrama de fase del CO<sub>2</sub>

Suarez Díaz, 2007

Tipo de almacenamiento	Descripción
Yacimientos exhaustos de hidrocarburos.	El grado de estudios que se tienen de este tipo de receptáculos los hace únicos en las estimaciones de sus condiciones físicas con un nuevo fin de almacenamiento. Un caso particular es el de recuperación mejorada de petróleo (EOR por sus siglas en inglés) lo cual no los hace útiles solamente sino incluso rentables.
Lavas basálticas profundas	Atractivos por la estructura vesicular, amigdaloides y/o brechada que le propician una porosidad efectiva importante. En México no son atractivos.
En capas de carbón mineral no minable	Tomar en cuenta que siempre están asociadas a la explotación de metano. En México no son viables.
Acuíferos Salinos.	El volumen potencial de almacenamiento oscila desde algunos puntos porcentuales a más del 30% del volumen de la roca. Las condiciones de inyección deben darse a más de 800 m.



## Criterios de Almacenamiento

Los **terrenos geológicos que son considerados de poco interés**, poseen alguna o varias de las siguientes características:

- **Altamente fracturados o plegados**
- **Una historia diagenética compleja**
- **Estar en zonas con estados de esfuerzos que inducen presiones importantes al reservorio**
- **Profundidades menores a 1000 m**
- **Sin posibilidades de algún mecanismo de sello**
- **Pobre porosidad y permeabilidad**



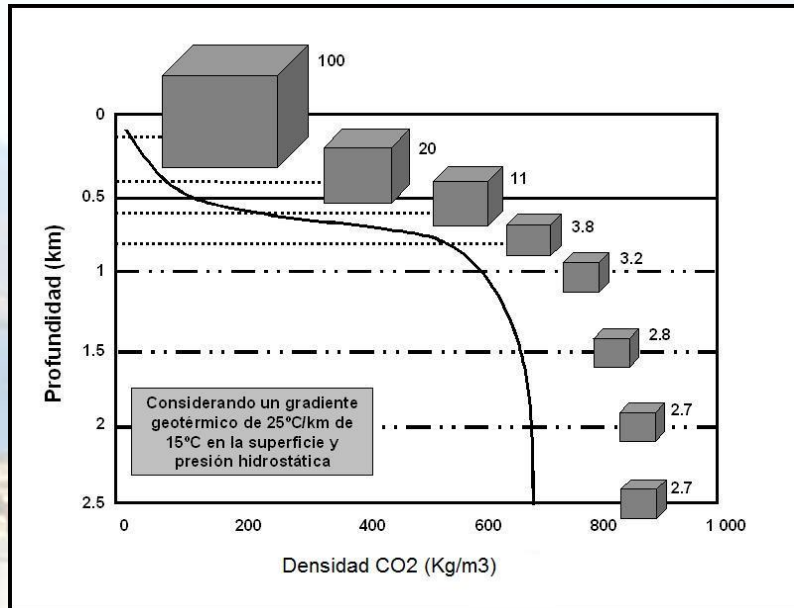
# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico

## Criterios de Almacenamiento



**almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>**



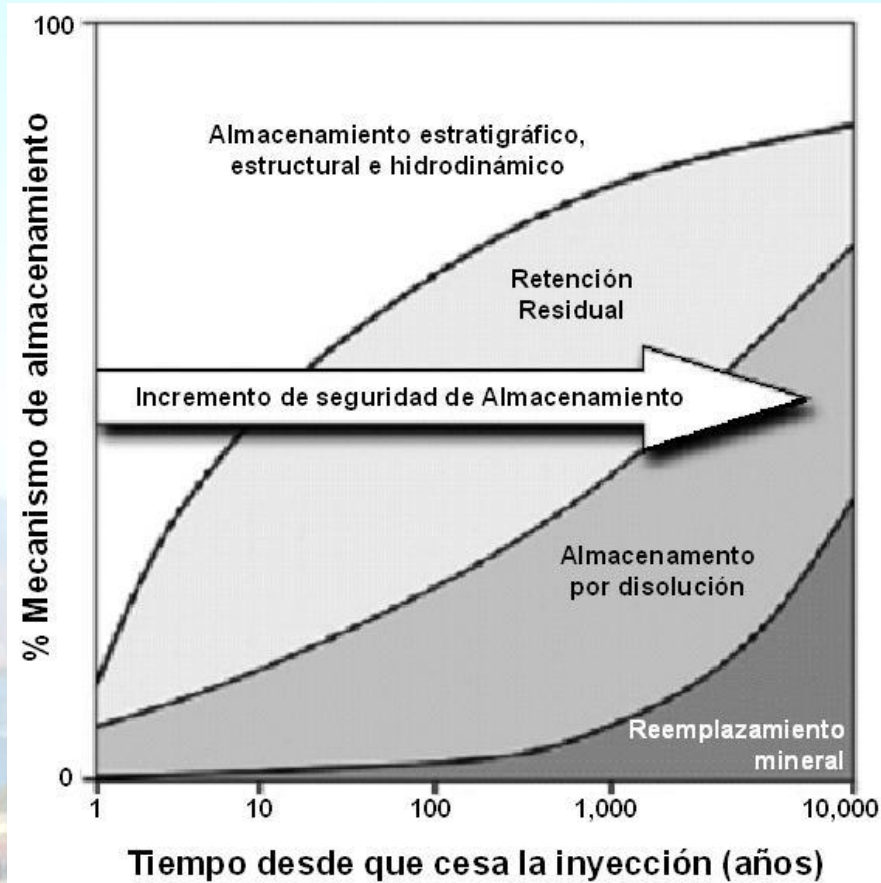
Estado supercrítico  
**temperatura 31.1°C – presión 73.9 bar**

se comporta en un estado de equilibrio entre gas y líquido.  
**se inyecta a profundidades mayores a 800m**



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Marco Teórico



Sucesión en el tiempo de los diferentes mecanismos de almacenamiento geológico.

Bachu, S., D. Bonijoly, et al. (2007). "CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: Methodology and gaps." Greenhouse Gas Control: 15.



## Estimación de Almacenamiento

Metodología, sus escalas y mecanismos que intervienen en cada caso.

Storage mechanism	Trapping mechanism	Temporal nature <sup>a</sup>	Coefficients needed <sup>b</sup>	Assessment scale				
				Country	Basin	Regional	Local	Site specific
Oil and gas reservoirs	Stratigraphic and structural	No	Yes	✓	✓	✓	✓	✓
	Enhanced oil recovery	No	Yes	-	-	-	✓	✓
Coal beds	Adsorption	No	Yes	✓	✓	✓	✓	✓
Deep saline aquifers	Stratigraphic and structural	No	Yes	✓	✓	✓	✓	✓
	Residual gas	Yes	?	-	-	-	✓	✓
	Solubility	Yes	Yes	-	-	-	✓	✓
	Mineral precipitation	Yes	Yes	-	-	-	✓	✓
	Hydrodynamic	Yes	Yes	-	-	-	✓	✓

Note: For trapping mechanisms that can be assessed only at local or site specific scales, it may be possible to be assessed at higher scales once detailed experience and knowledge develop that allow extrapolation at regional scales, and/or through probabilistic methods.

<sup>a</sup> A trapping mechanism has a temporal nature if the physical or chemical storage process continues after cessation of injection.

<sup>b</sup> Various coefficients need to be estimated to cascade the storage capacity estimate down from theoretical to effective and to practical. These coefficients have to be determined based on field experience and/or numerical simulations.

Aplicabilidad de las diferentes metodologías para estimar la capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub> a varias escalas y mecanismos de almacenamiento. Bachu, S., Bonijoly, D., et al. 2007.

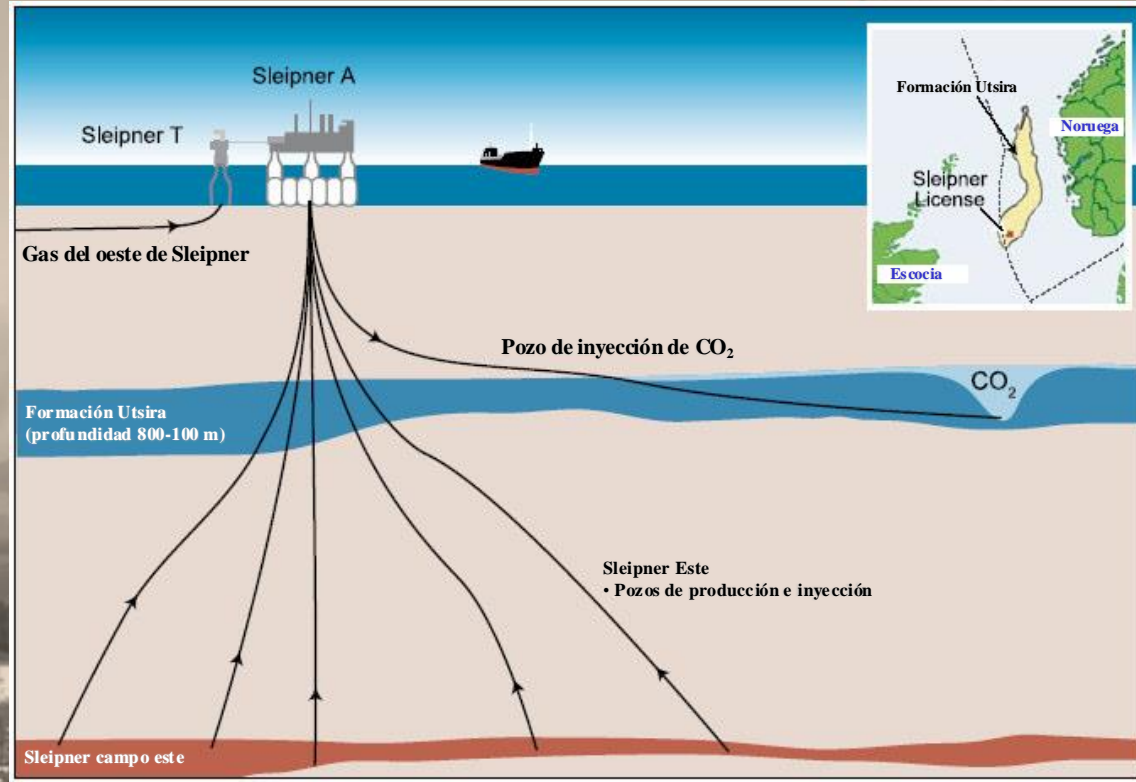


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

## Sleipner

Es un campo productor de gas que se ubica en el Mar del Norte. Se ha inyectado 1 Mt CO<sub>2</sub> anualmente desde septiembre de 1996.



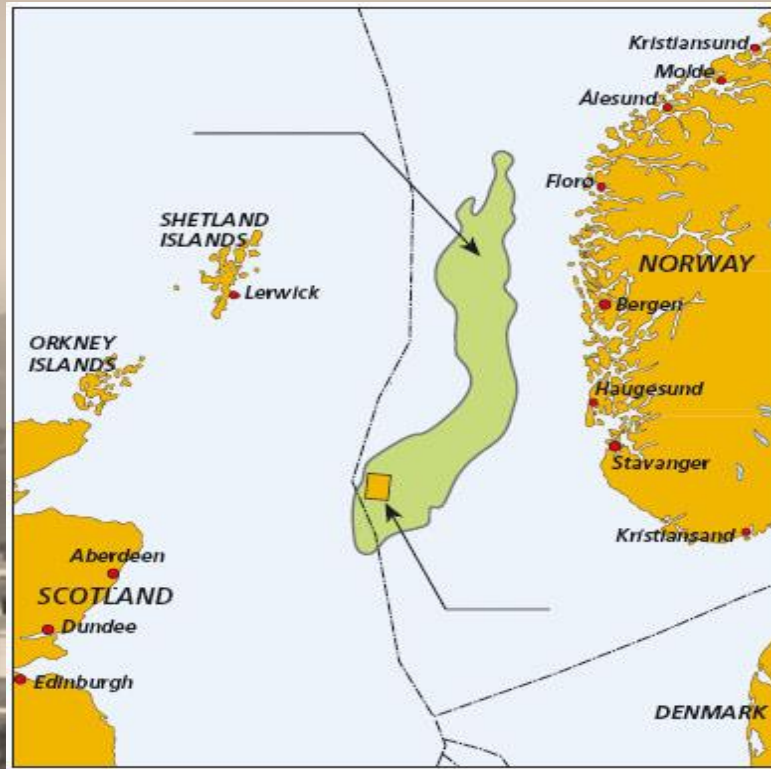
Esquema de Inyección de CO<sub>2</sub> en un acuífero salino Sleipner. Solomon, S. 2007



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

## Sleipner



## Marco Geológico

- ❑ Se extiende a lo largo de 400 Km de norte a sur y entre 50 y 100 Km de este a oeste.
- ❑ El reservorio está en la Formación Utsira de edad Mioceno Medio – Plioceno Temprano (20 a 14 M años aproximadamente).
- ❑ Área de depósito de aproximadamente 26,100 Km<sup>2</sup>.
- ❑ Espesor de la formación entre 200 y 300 m (en su mayoría de areniscas y arenas (70%)).
- ❑ La Fm. Utsira está cubierta por lutitas pliocénicas, lo que constituye su caprock.
- ❑ Los sedimentos que las sobreyacen son del Pleistoceno y no están consolidados; están constituidos principalmente por arenas y limos con depósitos glaciares hacia su cima.

Esquema de localización de la Fm Utsira y el Proyecto Sleipner. Solomon, S. 2007



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

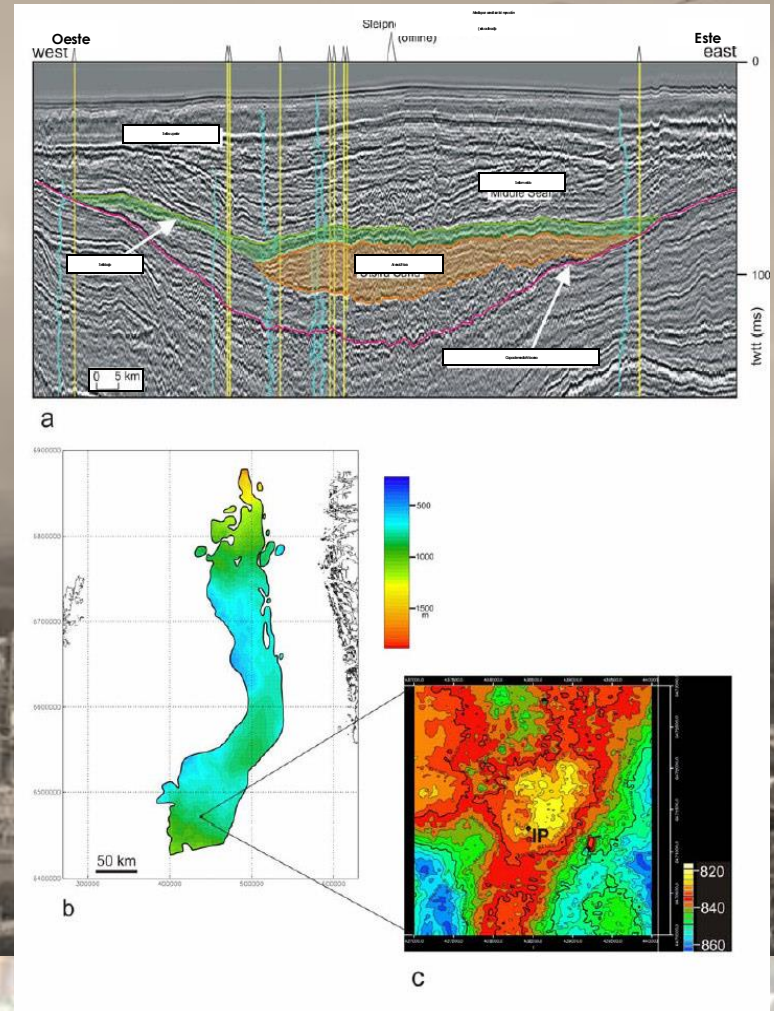
## Sleipner

Caracterización del reservorio y el caprock

El conjunto de las sísmicas 2D y 3D son las bases para la delimitación del reservorio.

De la información de pozos más útil resultó ser la de registros de pozos y en lo particular los registros gama para la determinación de relaciones arena/arcilla y apoyada con registros de resistividad.

Los registros sísmicos y de densidad también han sido útiles para la estimación de porosidades.



Perfil sísmico de reflexión 2D transversal a la Fm Utsira. b.- 2D regional de la cima de la Fm Utsira mejorado con 3D alrededor del sitio de inyección. C.- 3D de detalle alrededor del sitio de inyección. Solomon, S. 2007



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

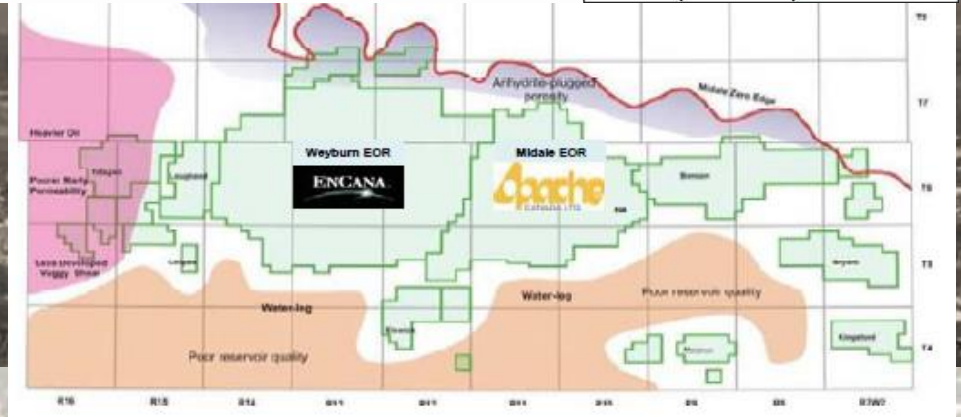
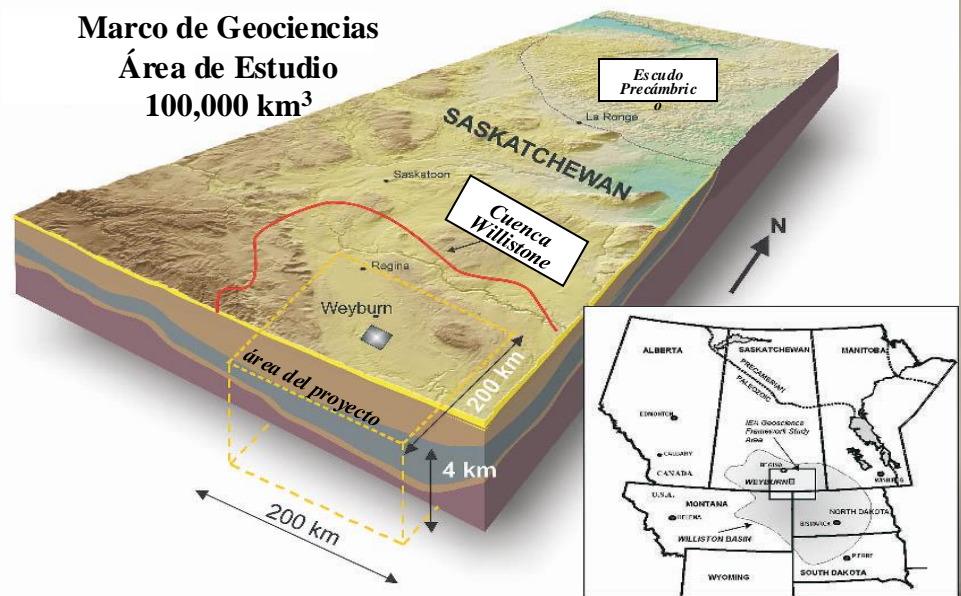
## Weyburn

Weyburn es por el momento el mayor almacén de CO<sub>2</sub> continental en el mundo. Sobrepasa los 12 Mt de CO<sub>2</sub> almacenados a la fecha (hasta 2008). El proyecto de secuestro está combinado con un esquema de EOR en los campos de Weyburn y Midale al sureste del territorio de Saskatchewan, Canadá

Marco de Geociencias

Área de Estudio

100,000 km<sup>3</sup>

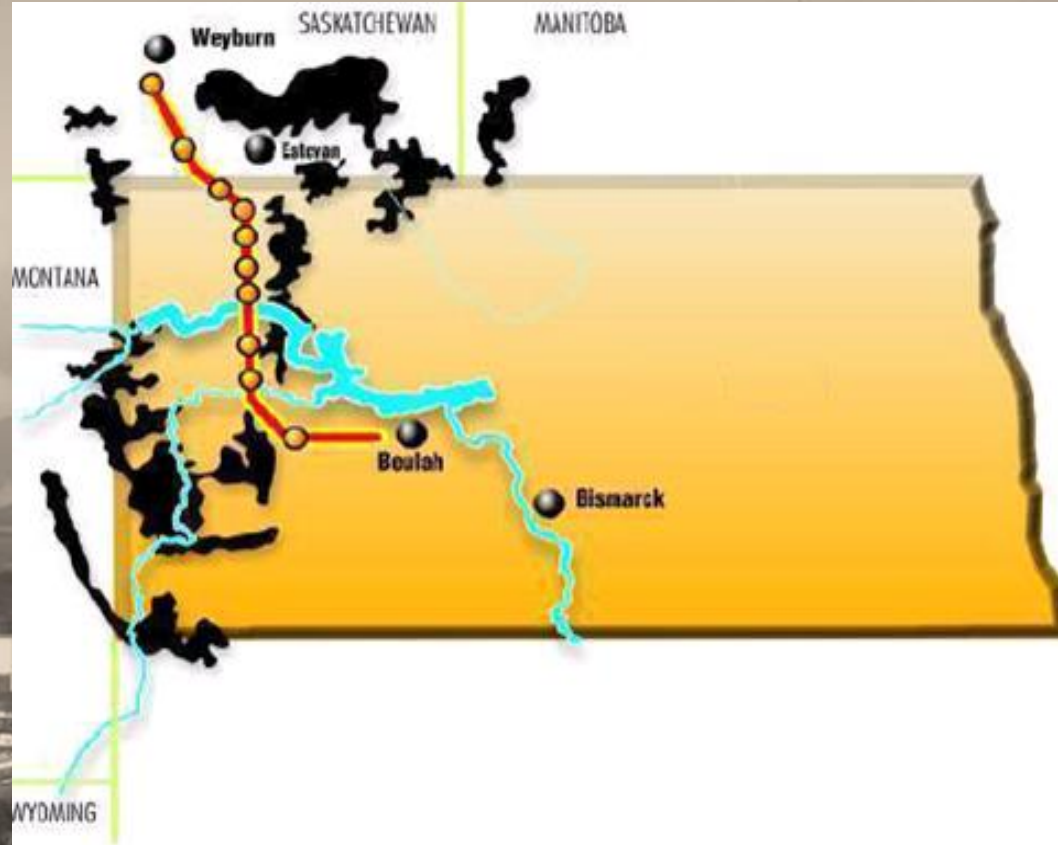


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

## Weyburn

El CO<sub>2</sub> que se inyecta en los campos Weyburn y Midale proviene del centro de Dakota del Norte (Beulah), de la Planta de Gas de Síntesis de las Grandes Planicies de la Dakota Gasification Company.



Localización del origen del CO<sub>2</sub> de Weyburn y Midale. Monea, 2002

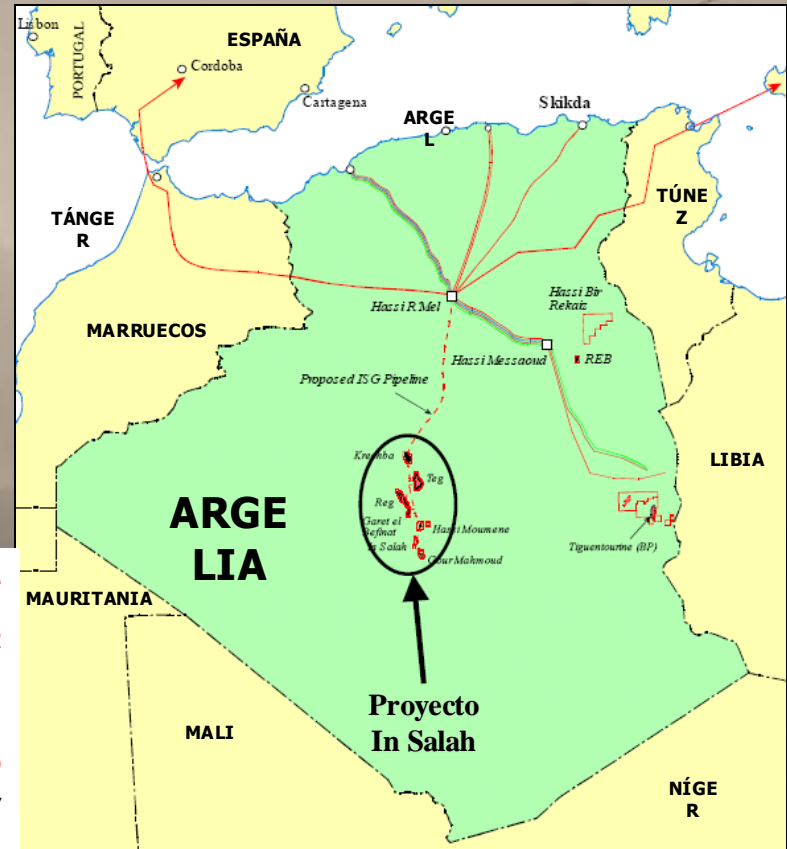


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

## In Salah

El proyecto de In Salah de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> está en operación en Argelia desde el año 2004. Desde entonces ha capturado 2,5 Mton CO<sub>2</sub>. El proyecto tiene su reservorio en el sitio Krechba y se le considera el depósito de CO<sub>2</sub> continental en acuífero salino más grande hasta ahora (no considera EOR) y el primero que se lleva a efecto en un campo de gas en producción al mismo tiempo.



Localización del proyecto In Salah. Keddam, 2003

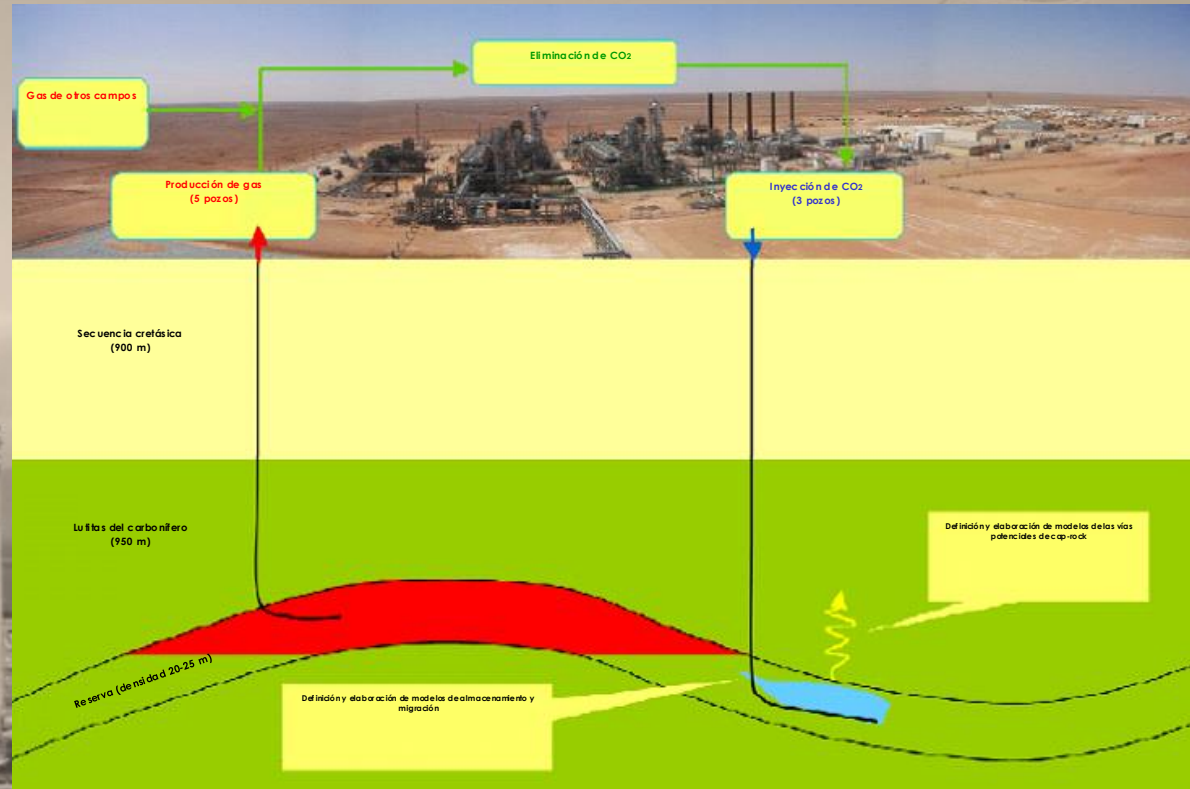


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Casos de éxito

## In Salah

El CO<sub>2</sub> de Krechba proviene de tres campos de gas del que es removido y reinyectado en un acuífero salino de edad carbonífera. El depósito está a 1,880 m de profundidad a una presión de 175 bar y una temperatura de 93°C. Esta figura muestra una sección por el campo Krechba e ilustra esquemáticamente la disposición de los cinco pozos productores y los tres de inyección.



Sección esquemática del campo In Salah mostrando sus aspectos más importantes. Idring et. al. 2009

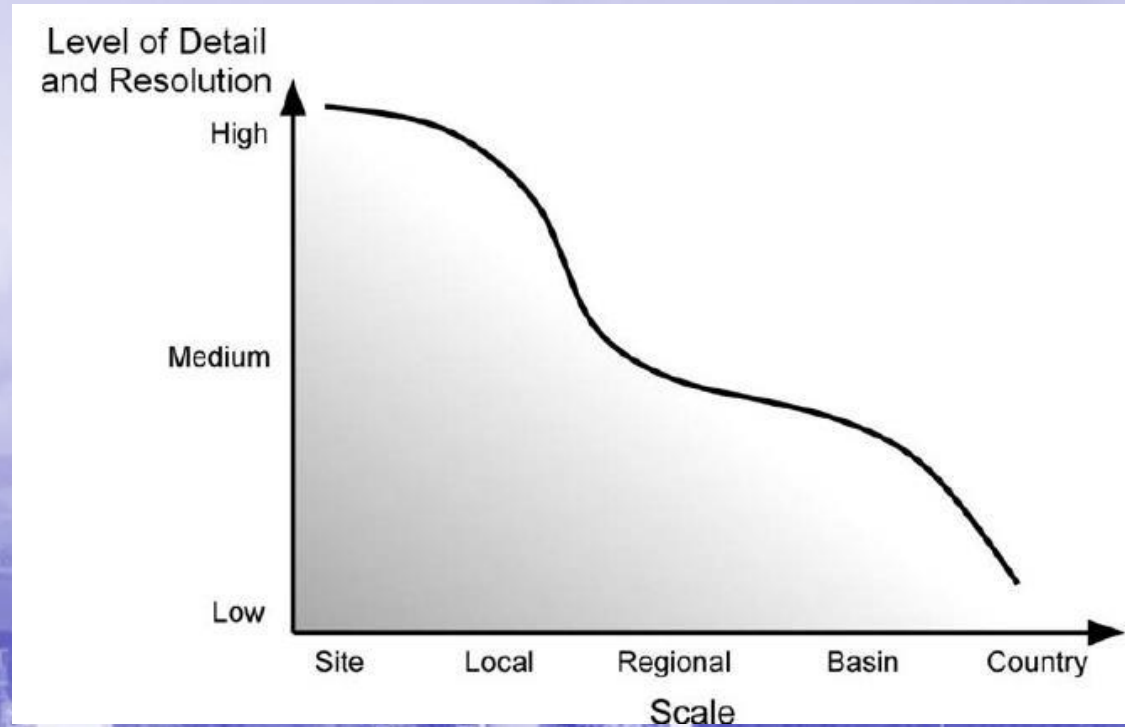


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades

## Objetivo

**Delimitar zonas** de exclusión e inclusión para **almacenamiento** geológico de CO<sub>2</sub>, de **acuerdo con expresiones superficiales** de tipo geológico, sísmico, tectónico, volcánico litológico, en la **República Mexicana**.

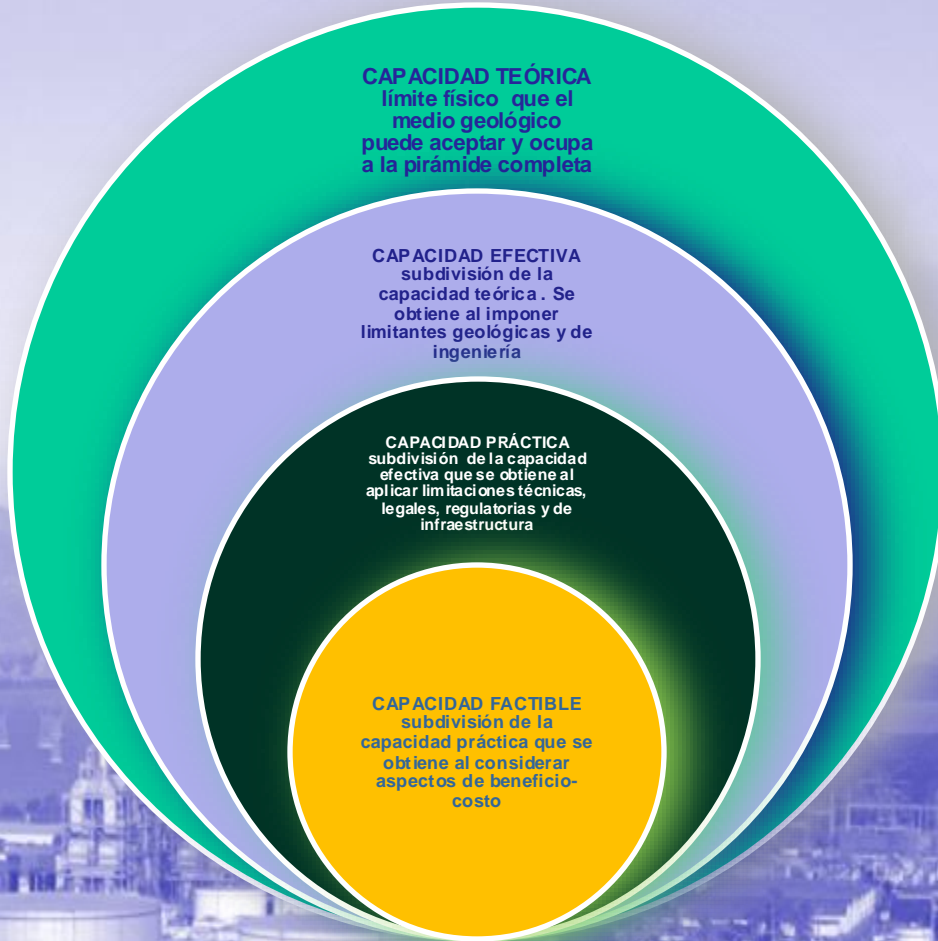


Bachu, 2005

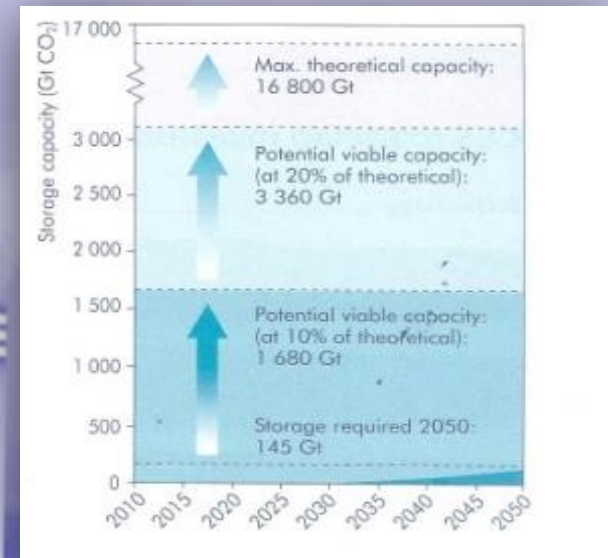


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades



Necesidades de Almacenamiento de CO<sub>2</sub> es menos de 1% de la capacidad de los Acuíferos Salinos Profundos

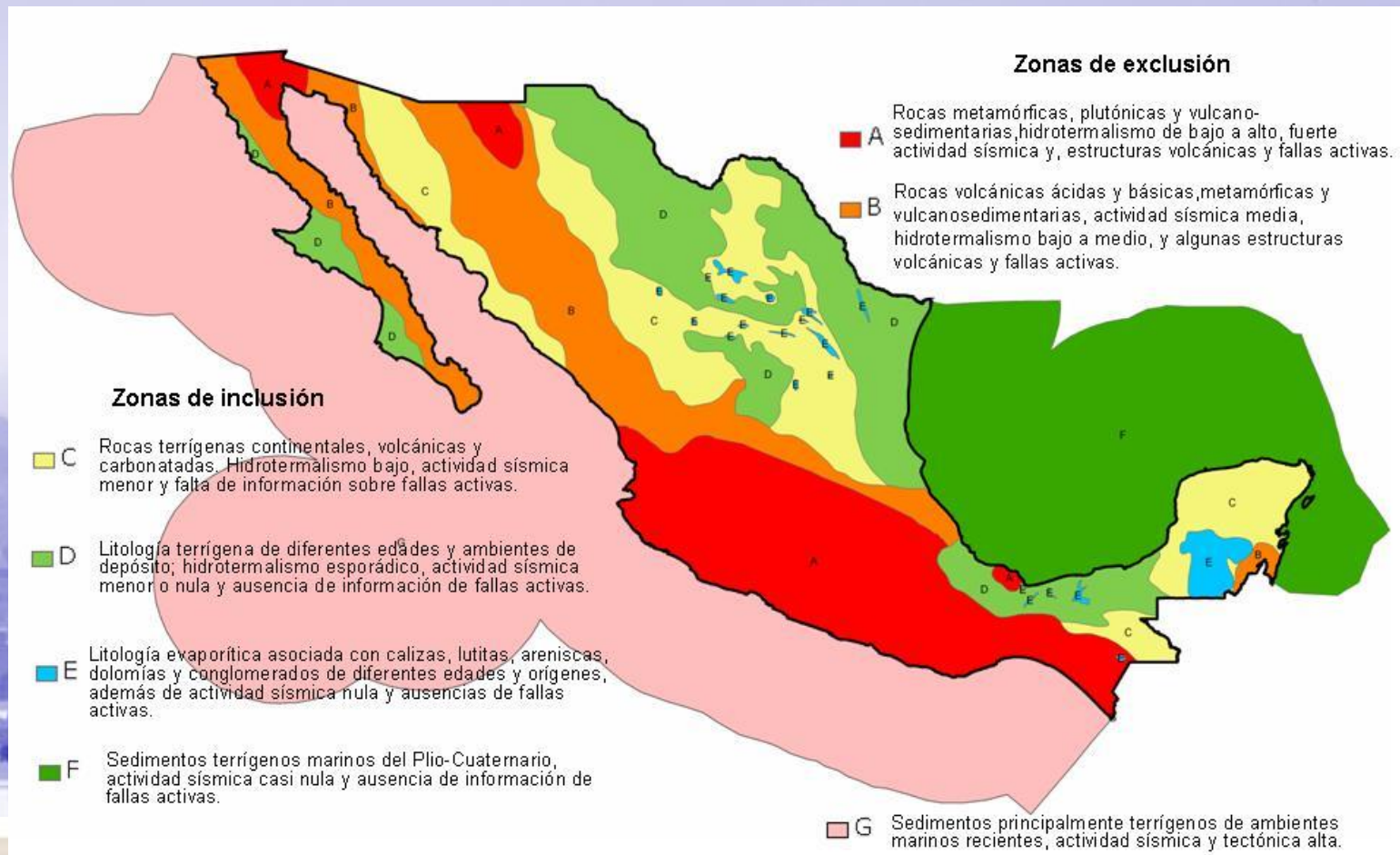


FUENTE: IEA (Agencia Internacional de Energía). *Energy Technology Perspectives (2010)*

Pirámide Tecno-Económica de Recursos-Reservas para la Capacidad de Almacenamiento de CO<sub>2</sub>

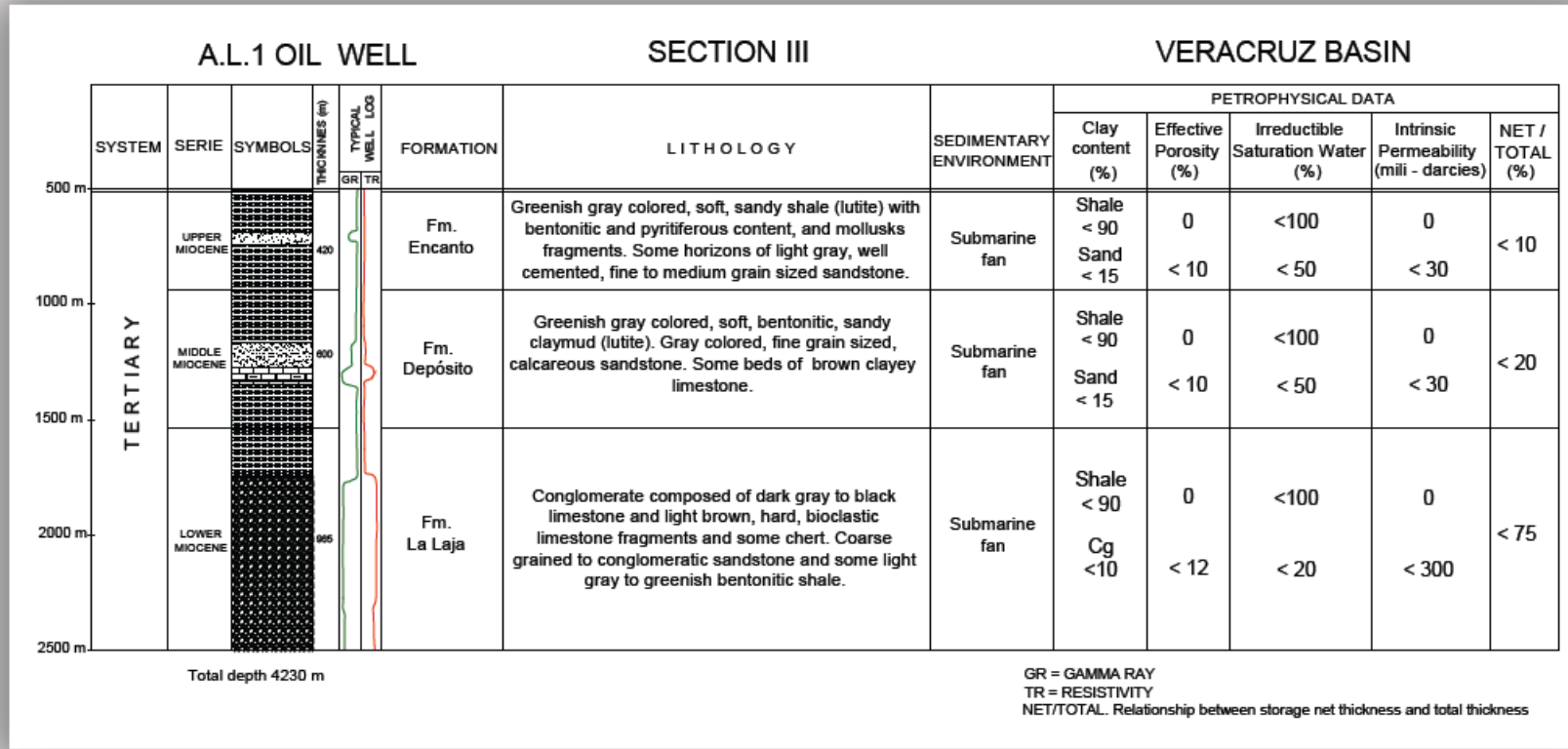


## Regionalización de zonas de exclusión e inclusión



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

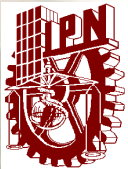
Estimación de capacidades



De acuerdo a Bachu *et al.*, 2007:

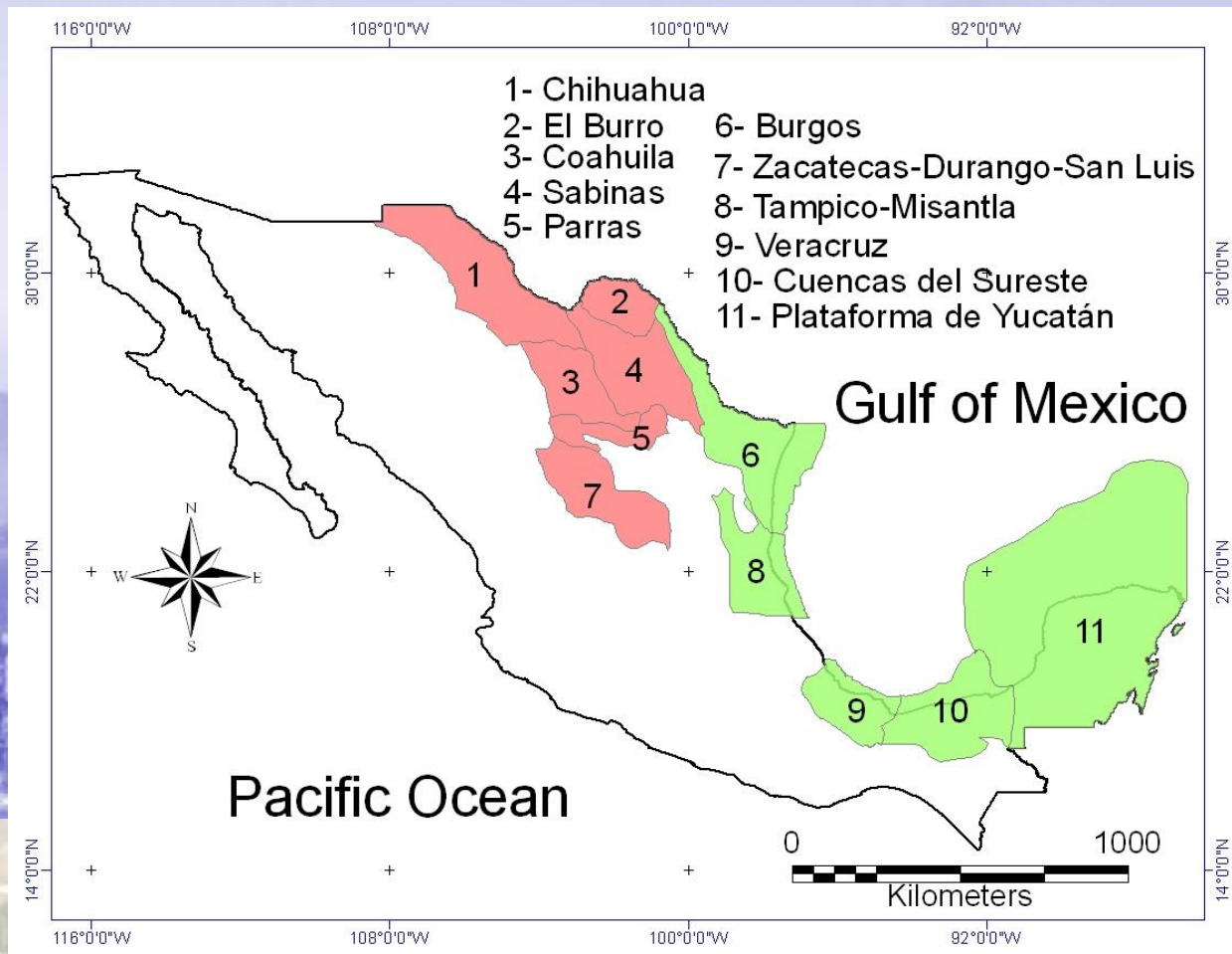
$$V_{CO2t} = V_{trap} \phi (1 - S_{wirr}) \equiv A_h \phi (1 - S_{wirr})$$

y Brennan & Burrus, 2003 con  $\rho_{CO2} = 600 \text{ kg/m}^3$

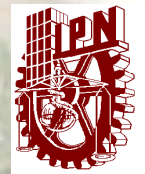


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Cuencas Evaluadas a la Fecha por el Criterio de Acuífero Salino Profundo

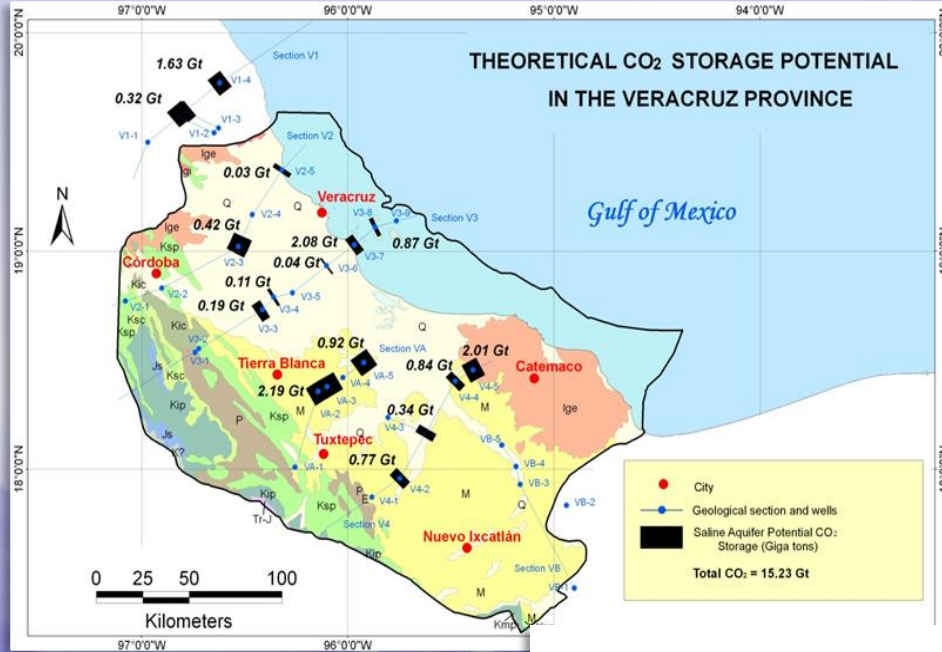


Estimación de capacidades



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades

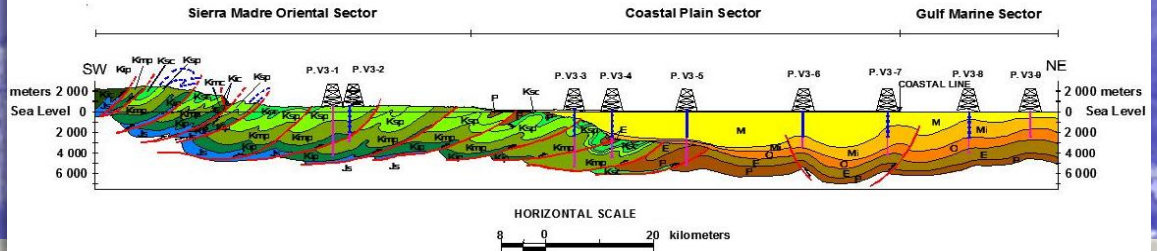


## Veracruz Province

15 Gt CO<sub>2</sub>  
 21 sectors assessed\*

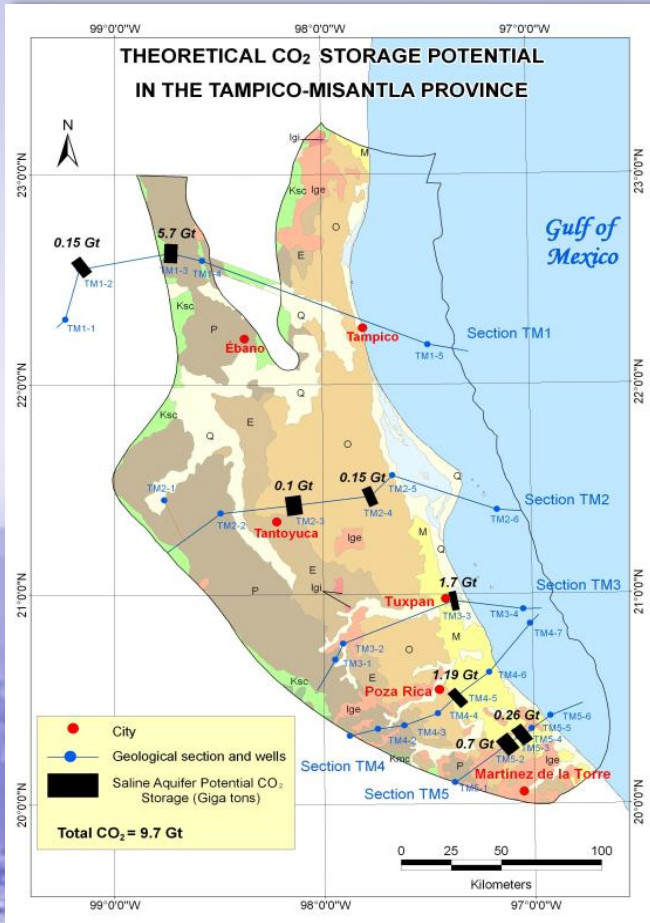
\*Level 2 CSLF

### VERACRUZ PROVINCE SECTION V3



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

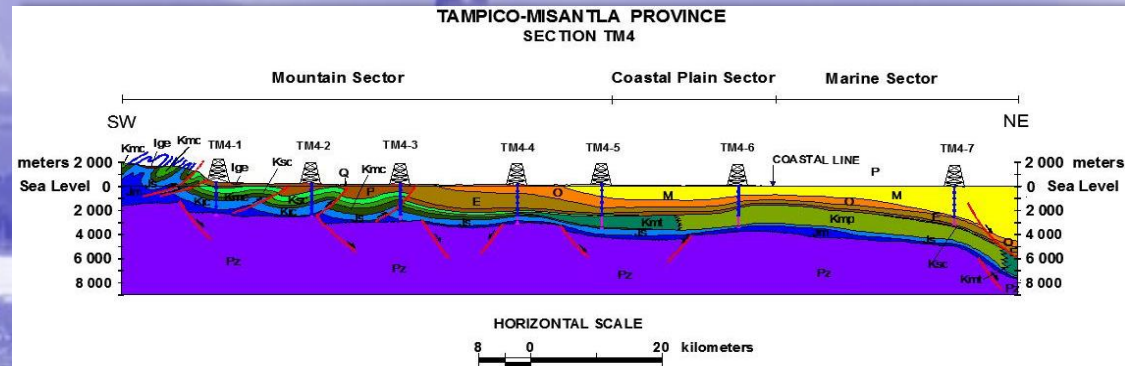
Estimación de capacidades



## Tampico-Misantla Province

9 Gt CO<sub>2</sub>  
12 sectors assessed\*

\*Level 2 CSLF

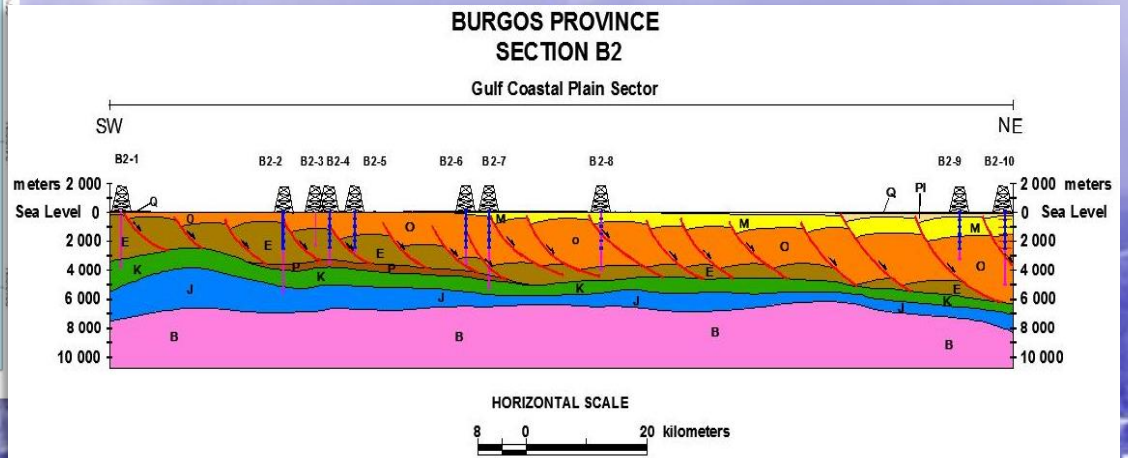
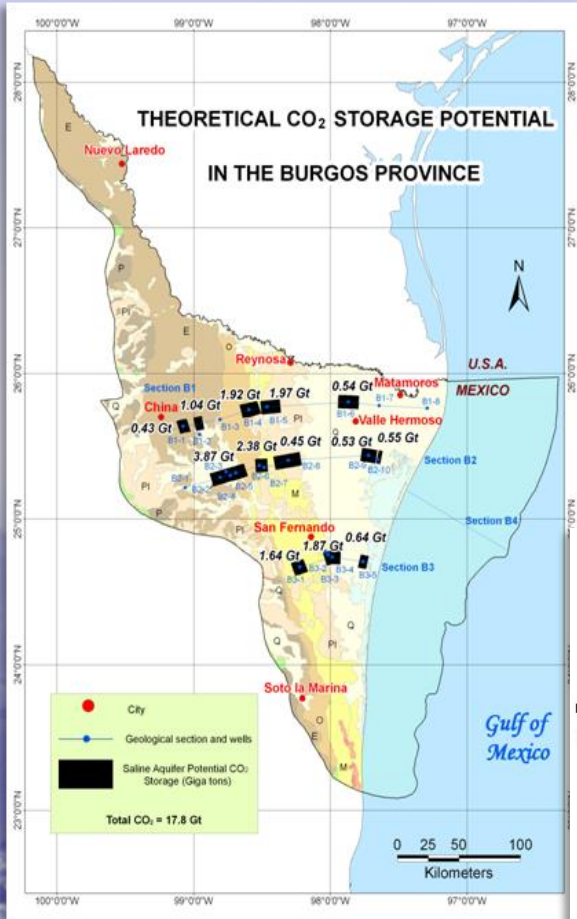


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades

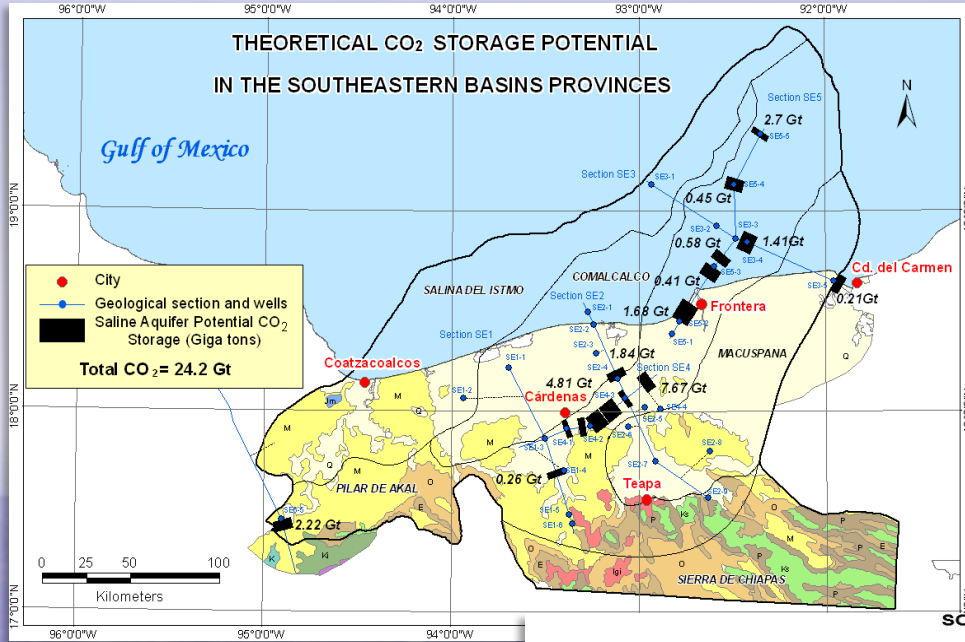
## Burgos Province

17 Gt CO<sub>2</sub>  
31 sectors assessed\*



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

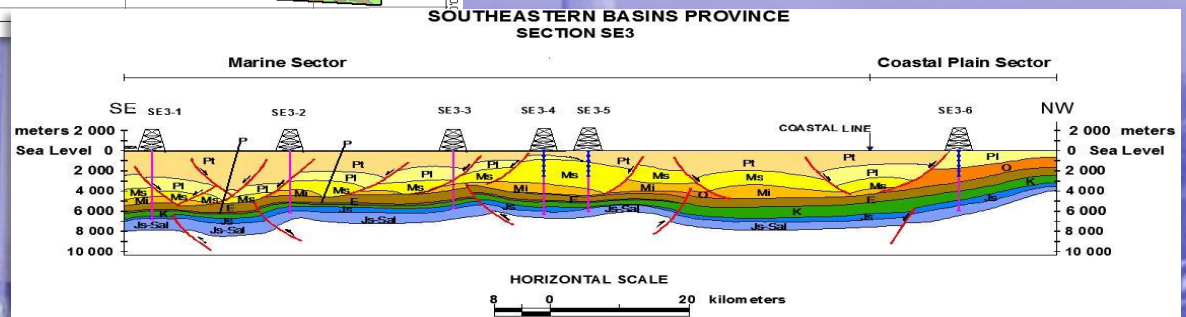
Estimación de capacidades



## Southeastern Basins Province

24 Gt CO<sub>2</sub>  
 17 sectors assessed\*

\*Level 2 CSLF



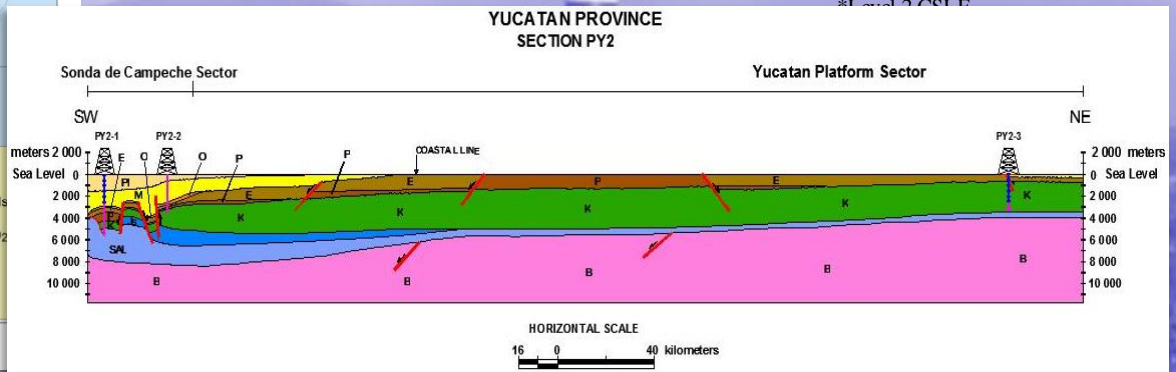
# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades



## Yucatan Province

17 Gt CO<sub>2</sub>  
9 sectors assessed\*



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Evaluación a la fecha de 5 cuencas en Acuífero Salino Profundo

PROVINCE	THEORETICAL CO <sub>2</sub> STORAGE POTENTIAL (Giga tons)	SECTORS ASSESSED
VERACRUZ	15	21
TAMPICO-MISANTLA	9	12
BURGOS	17	31
SOUTHEASTERN BASINS	24	17
YUCATAN	17	9
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>90</b>

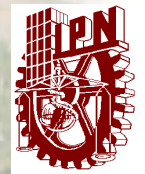
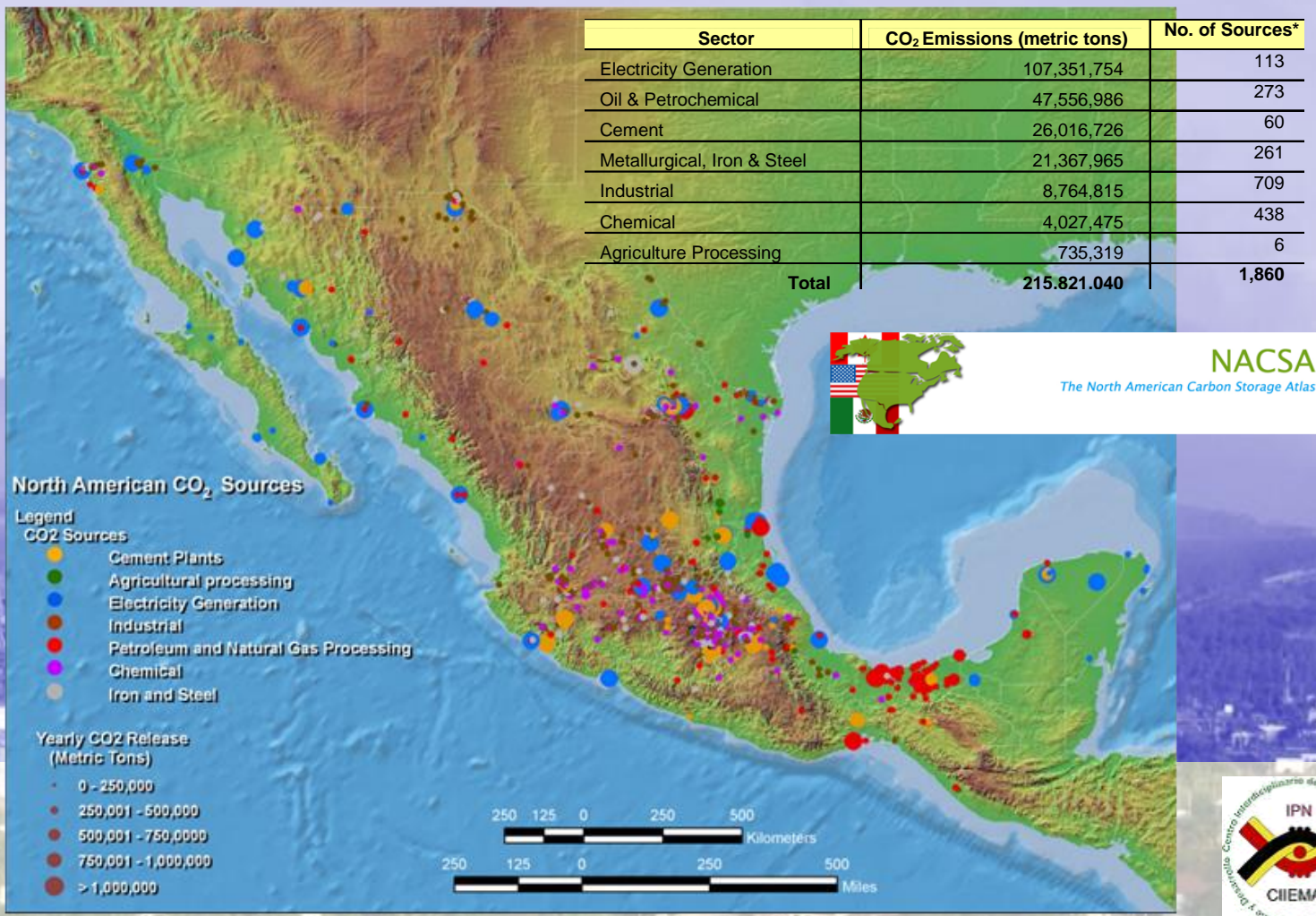
Estimación de capacidades



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Estimación de capacidades

## Distribución de la Principales Fuentes Fijas Emisoras de CO<sub>2</sub> en México

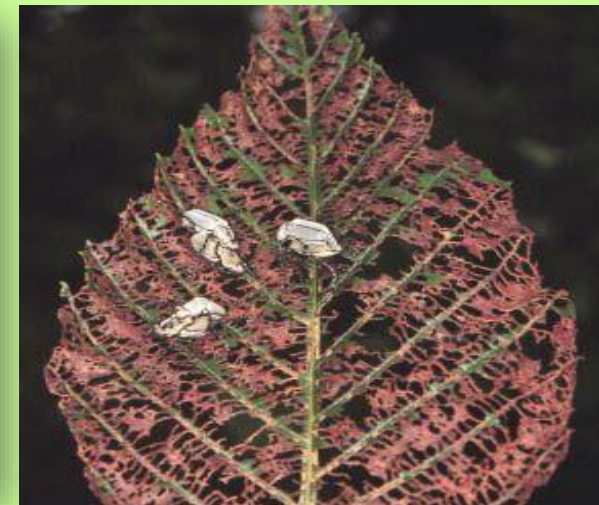


# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Evaluación del impacto ambiental

## OBJETIVO

Evaluar la viabilidad ambiental a nivel conceptual para instalar centrales de generación de electricidad con captura de carbono en México



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Tres sistemas diferentes (supuestos)

1) Una central carboeléctrica de referencia ya existente en el país

2) integra a la misma central pero con un sistema de captura tipo post-combustión, compresión del CO<sub>2</sub> capturado, transporte vía gasoducto y su respectiva inyección a acuífero salino profundo (ASP) teórico.

3) Misma que la segunda, pero la inyección geológica se realiza para EOR .



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Evaluación del impacto ambiental

## Unidad Funcional

Necesario determinar una Unidad Funcional (UF) o unidad de referencia que es un aspecto importante pues es la forma de comparar con otros sistemas similares



En este caso  
UF: 1 kWh (3.6 MJ)  
de electricidad producida



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Método de Evaluación : CML<sup>1</sup>2001

Evalúa categorías de impacto en un marco de referencia levantado a nivel mundial en 1995.

Las categorías de impacto consideradas son:

- ✓ Agotamiento Abiótico
- ✓ Acidificación
- ✓ Eutroficación
- ✓ Potencial de Calentamiento Global
- ✓ Agotamiento de la Capa de Ozono
- ✓ Toxicidad Humana
- ✓ Ecotoxicidad en Cuerpos de Agua Dulce
- ✓ Ecotoxicidad en el Agua Marina
- ✓ Ecotoxicidad Terrestre
- ✓ Potencial de Oxidación Fotoquímica.



<sup>1</sup> Centre of environmental science- Leiden University- The Netherlands

# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Consideraciones de la Central Eléctrica



Se utilizaron datos de una supuesta central en la región oriente del país, particularmente Tuxpan en el estado de Veracruz

### TUXPAN

- Seis unidades de 350 MW.
- Se alimenta de combustóleo.

### EJERCICIO

- Una unidad de 350MW
- se supuso que **quema carbón operando a un eficiencia de 35.7%**.
- Carbón provendría de la región de Sabinas Coahuila.
- Base de datos Ecoinvent en la parte de plantas carboeléctricas.

Se supone la construcción de una carboeléctrica o la adaptación de una térmica convencional en una que se alimente de carbón



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Consideraciones de Proceso

La energía utilizada para recalentar el MEA rico en CO<sub>2</sub> y liberar el CO<sub>2</sub> se toma **directamente del vapor o la energía producidos por la central** de donde resulta una reducción de la producción del complejo térmico, al igual que los requerimientos para la compresión del bióxido de carbono, lo que equivale en términos generales a **disminuir de 350 a 229 MW** la capacidad instalada o una **reducción en la eficiencia de 35.7 a 23.4%**.



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

Evaluación del impacto ambiental

## Inyección / Escenarios

En ambos casos se presupone que el gas que se almacena, no escapa a la atmósfera

Acuífero salino profundo (ASP)

Como parte de un EOR

pozos de inyección deberán perforarse (similar al pozo petrolero)

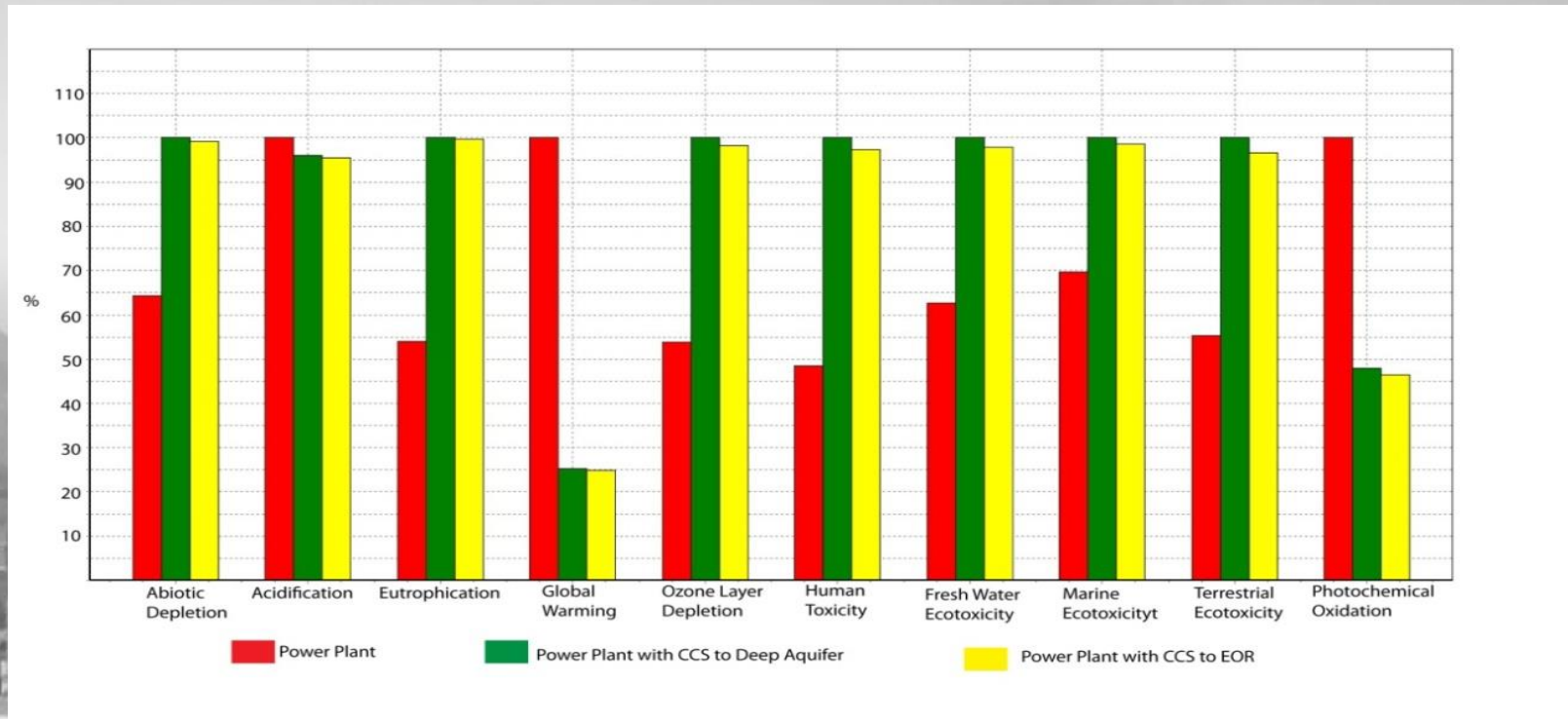
se consideró que la infraestructura existe al igual que los pozos para la inyección pues podrían ser usados los previamente perforados para producción de hidrocarburos



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Resultados

Resultados obtenidos muestran síntomas de una demanda importante de recursos, específicamente carbón, y el incremento de energía para atender el proceso de captura.



Comparativo general de los tres sistemas analizados. Se muestran en porcentaje del impacto mayor de cada categoría.



# Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub> en México

## Resultados

Categoría	Unidad	Planta eléctrica	Planta con CCS acuífero salino	Planta con CCS con EOR
Agotamiento abiótico	kg Sb eq	0.00786	0.0122	0.0121
Acidificación	kg SO <sub>2</sub> eq	0.0033	0.00317	0.00315
Eutroficación	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	0.000397	0.000736	0.000734
Calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq	1.02	0.257	0.255
Agotamiento capa de ozono	kg CFC-11 eq	7.05E-09	1.31E-08	1.29E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0.275	0.567	0.551
Ecotoxicidad agua dulce	kg 1,4-DB eq	0.0692	0.111	0.108
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	152	219	216
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0.000811	0.00147	0.00142
Oxidación fotoquímica	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8.68E-05	4.16E-05	4.03E-05

Resultados generales por cada categoría de los tres sistemas analizados.

**Para todas las categorías del escenario de EOR se nota un impacto menor que ASP.**



## Conclusiones

Respecto a evaluar la información del subsuelo mexicano para determinar zonas susceptibles de ser usadas para almacenamiento de CO<sub>2</sub> se concluye:

- 1.- El país se divide en dos tipos de zonas: aquellas que tienen posibilidades de almacenar CO<sub>2</sub> (zonas de inclusión) y aquellas que no ,(zonas de exclusión).
- 2.- Se desarrolló la segunda etapa de la metodología de estudio –compuesta de cinco fases– que corresponde al nivel de cuenca. En esta parte las zonas de inclusión se dividieron en once provincias. Se estimó la capacidad de almacenamiento de 5 y se estableció que existen al menos 90 sectores que en conjunto poseen un potencial teórico de almacenamiento de más de 80 Gt de CO<sub>2</sub>, lo que equivale a dos siglos de emisiones del sector eléctrico en su conjunto si se toma en cuenta un ritmo de emisión de 100 Mt al año.
- 3.- Un sistema de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, en un reservorio asociado a un proyecto de recuperación mejorada de hidrocarburos puede ser rentable, mientras que uno de tipo acuífero salino profundo puede aumentar el costo de generación de electricidad (de 7 a 13 US¢/kWh), debido a que este último no arroja ningún subproducto comercial que agregue valor económico al proceso.



## Conclusiones

•Futuras líneas de investigación recomendadas.

- 1.- Terminar de evaluar las seis cuencas que complementan las zonas de inclusión aquí establecidas.
- 2.- Es altamente recomendable conducir al menos una investigación en alguno de los 90 sectores geológicos propuestos, al menos hasta el tercer y cuarto nivel (regional y local).
- 3.- Sería conveniente realizar una investigación complementaria que se enfocara a vincular los escenarios de secuestro propuestos con fuentes fijas de emisión de CO<sub>2</sub>, a fin de analizar la conveniencia, pertinencia técnica y viabilidad económica de posibles combinaciones.



## Conclusiones

- Respecto al objetivo específico de estimar los impactos ambientales de las principales alternativas de almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

1.-El análisis de ciclo de vida a nivel conceptual, comprobó que el potencial de calentamiento global disminuye en 75% si se le agrega un sistema de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>.

Otras categorías de impacto –eutroficación y agotamiento de la capa de ozono– también disminuyen.

El resto se deterioran en diferente medida.

- Futuras líneas de investigación recomendadas:

1.- En los análisis de ciclo de vida resulta muy relevante la información local. Sería recomendable realizar una investigación para formar una base de datos mexicana para efectuar análisis de ciclo de vida de instalaciones de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>. En el futuro inmediato se vislumbra la necesidad de implementar este tipo de tecnología y la experiencia actual proviene hasta ahora casi exclusivamente de otros países, principalmente europeos.



Viabilidad Técnica y Ambiental para el Almacenamiento  
Geológico de CO<sub>2</sub> en México

**GRACIAS**

**Moisés Dávila Serrano**

