



MEXICO

ESTADO DEL ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO₂ EN MÉXICO

Dr. Moisés Dávila Serrano

ESPECIALIDAD: Ingeniería Geológica

México, D.F., a 8 de noviembre de 2012

1.- INTRODUCCIÓN

2.- DESARROLLO

- 2.1.- ¿Qué es el Secuestro de Carbono?
- 2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂
- 2.3.- Criterios Geológicos para el Almacenamiento de CO₂
- 2.4.- Proyectos de CCS Actualmente en Desarrollo en el Mundo
- 2.5.- Escalas de Evaluación y Resolución
- 2.6.- Estado de la Evaluación de Capacidad de Almacenamiento en México
- 2.7.- Zonas de Inclusión y Exclusión para Almacenamiento Geológico de CO₂ en México
- 2.8.- Capacidad Teórica de Almacenamiento de CO₂ en Acuíferos Salinos Profundos en México
- 2.9.- Un ejemplo de Cuenca Analizada
- 2.10.- Retos de los Proyectos de CCS en el Mundo
- 2.11.- Retos de los Proyectos de CCS en México
- 2.12.- Necesidad de Formación de Recursos Humanos en México

3.- CONCLUSIONES

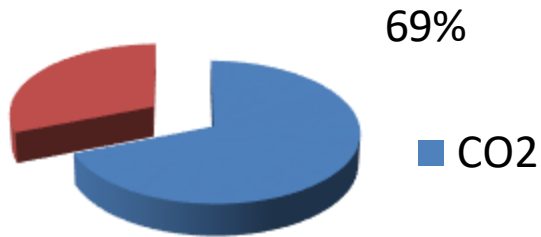
1.- INTRODUCCIÓN

La mayoría de los países del mundo están realizando esfuerzos para mitigar el impacto de la emisión de gases de efecto invernadero.

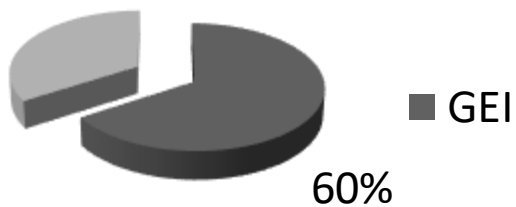
Pero **el problema aun no está bajo control.**

Se hacen necesarias medidas urgentes para revertir esta tendencia antes de que los impactos sean muy costos o impagables por la civilización actual.

1.- INTRODUCCIÓN

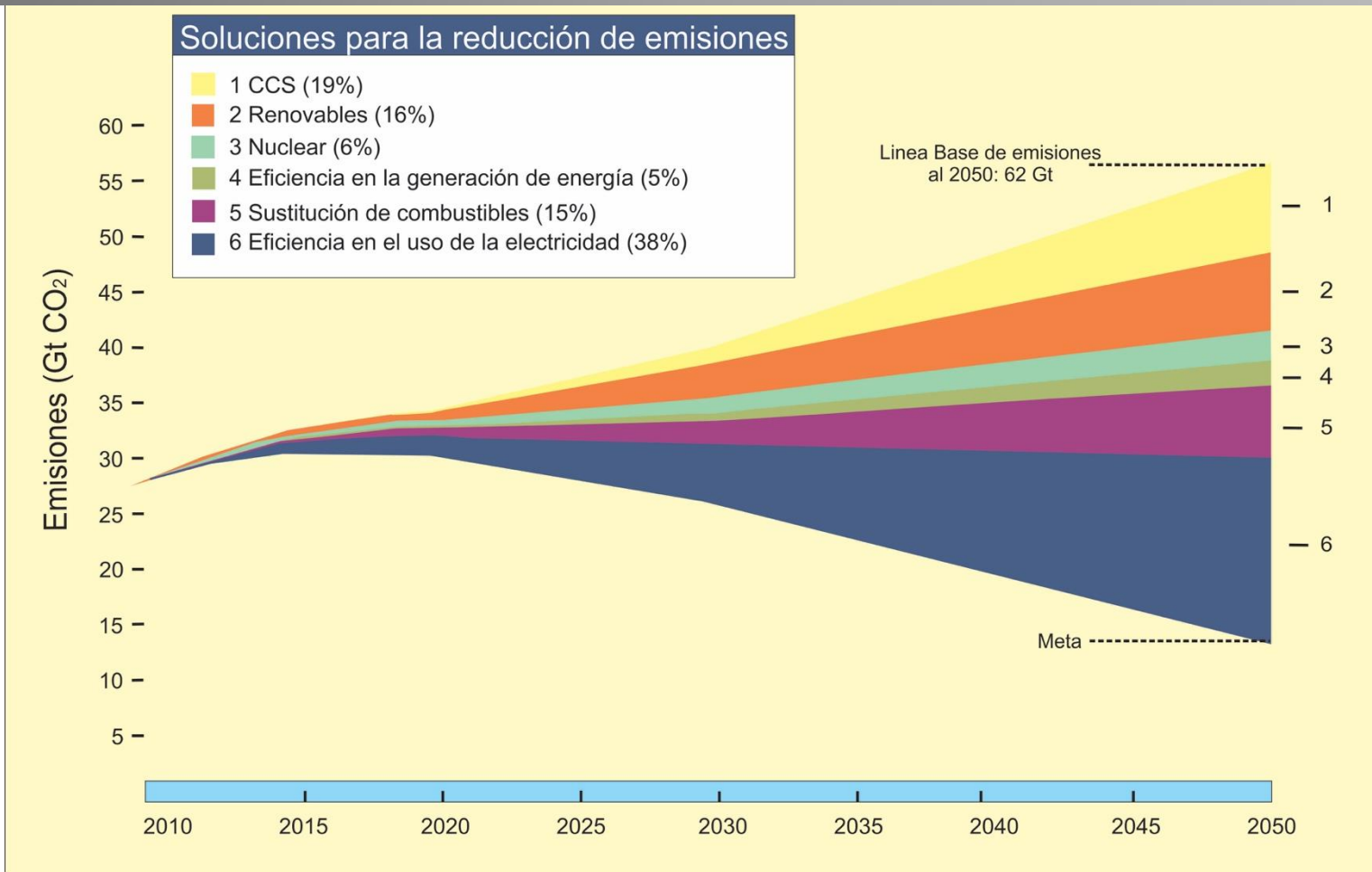


En la actualidad el 69% de las emisiones de CO₂ y el 60% del total de emisiones de efecto invernadero (GEI) provienen de fuentes estacionarias.



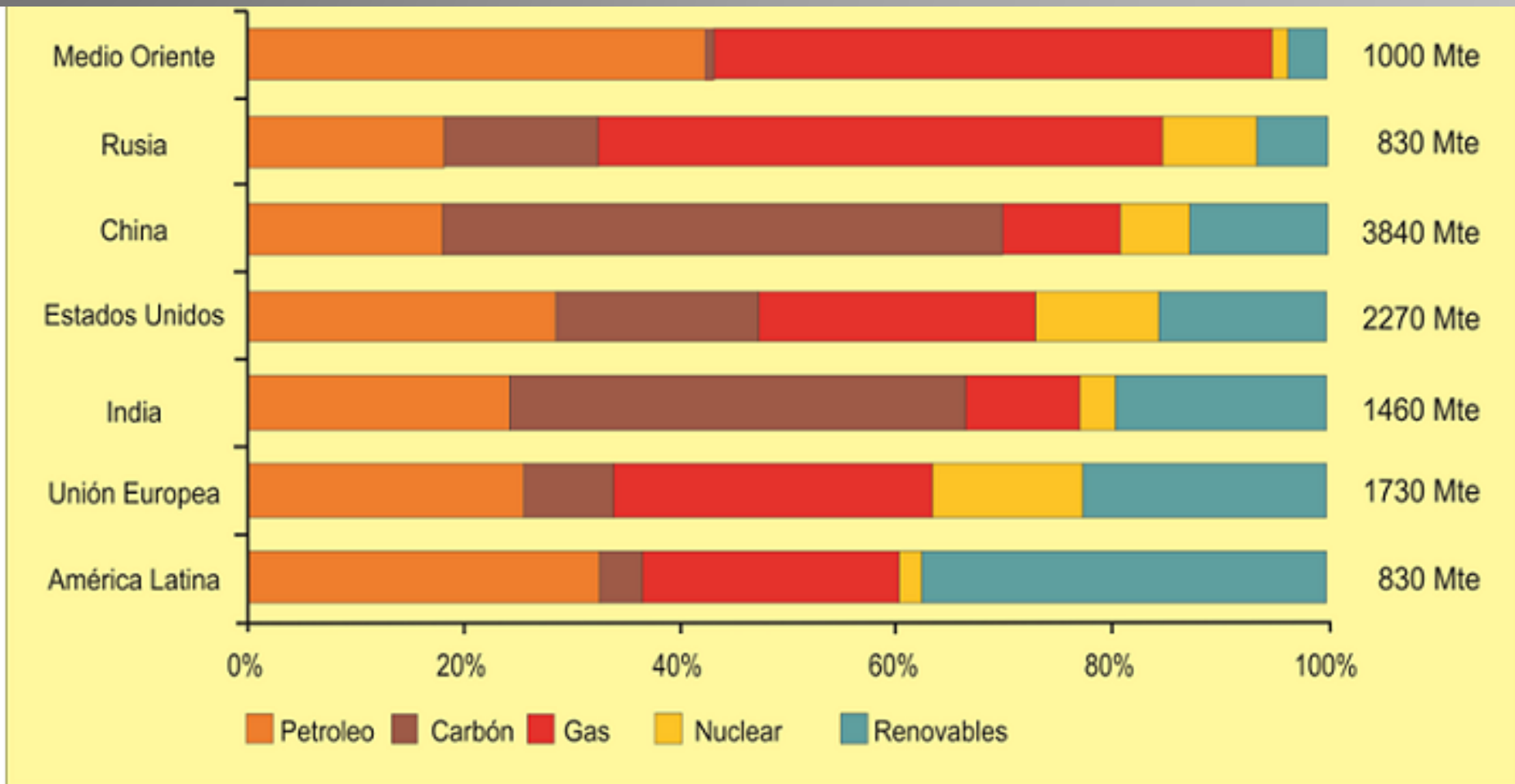
Esto ofrece algunas ventajas para su solución, como la captura y almacenamiento geológico de carbono (CCS).

1.- INTRODUCCIÓN



Cartera de opciones para reducir las emisiones de CO₂ relacionadas a la industria fija al año 2050 [IEA, 2010].

1.- INTRODUCCIÓN

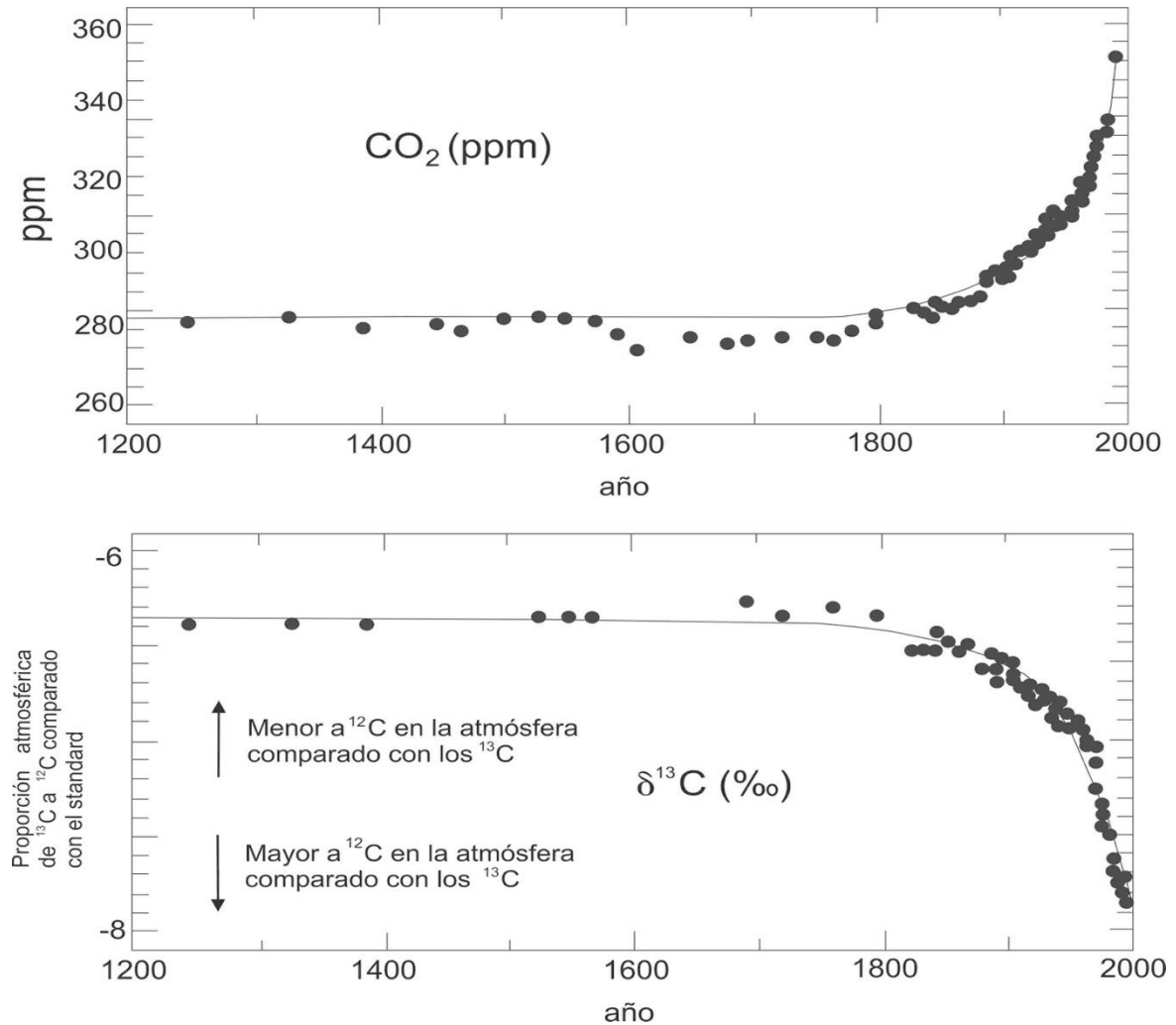


Escenario al 2035 en lo que se refiere a las tecnologías de producción de energía en los principales países y regiones del mundo [IEA, 2012].

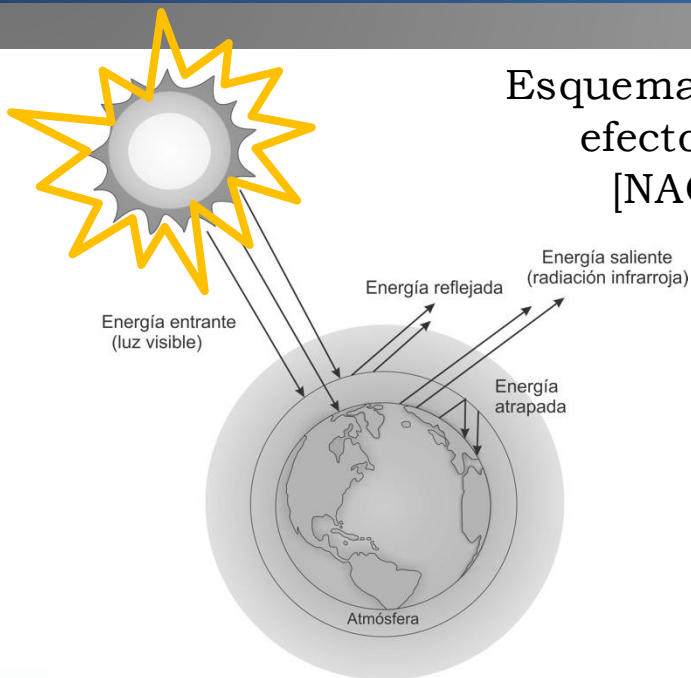
1.- INTRODUCCIÓN

Incremento de las concentraciones de CO_2 en el mundo en los últimos 200 años.

En la parte inferior de la figura apréciase el decaimiento de la relación $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ que apoya el origen antropogénico de bióxido de carbono ya que el isótopo ^{13}C es de origen natural exclusivamente en contraparte al ^{12}C que tiene una componente antropogénica importante [Cook, 2012].



1.- INTRODUCCIÓN



Esquema simplificado del efecto invernadero [NACSA, 2012].

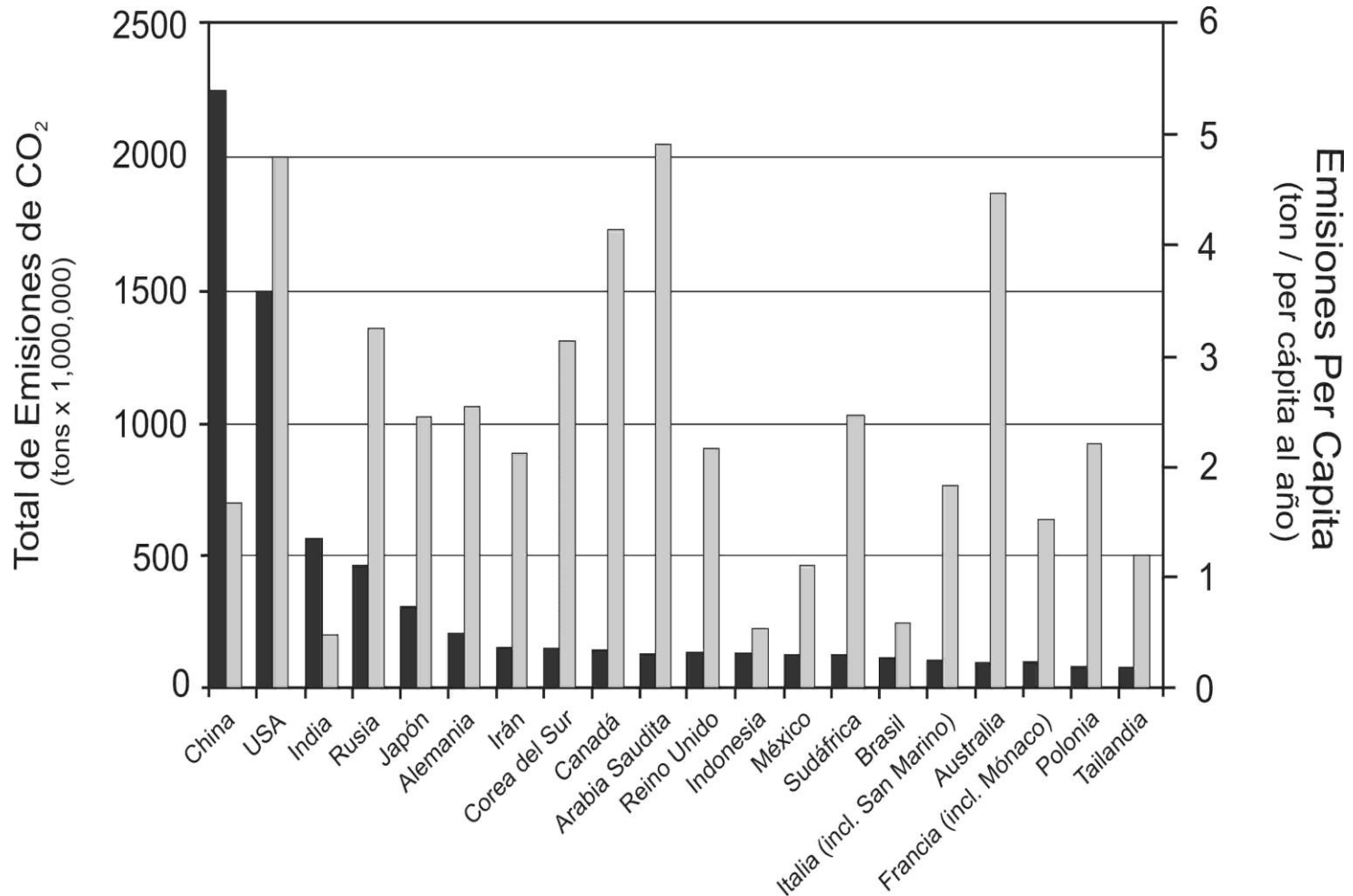
GEI	Composición Molecular	GWP (CO ₂ -e)	Vida Media (Años)
Bióxido de carbono	CO ₂	1	50 a 200
Metano	CH ₄	21	12 ± 3
Oxido nitroso	N ₂ O	310	120
Hidrofluoruro - carbonos	HFC-23	11,700	1.5 a 264
	HFC-126	2,800	
	HFC-134a	1,300	
	HFC-152a	140	
	HFC-227ea	2,900	
	HFC-236fa	6,300	
Perfluoro-carbonos	HFC-4310mee	1,300	2,600 a 50,000
	CF ₄	6,500	
	C ₂ F ₆	9,200	
	C ₄ F ₁₀	7,000	
Hexafluoruro de azufre	C ₅ F ₁₄	7,400	3,200
	SF ₆	23,900	

Principales gases de efecto invernadero [SEMARNAT, 2007 modificado].

El efecto invernadero es un fenómeno gracias al cual es factible la vida . Permite que la temperatura sea 15°C en promedio en la superficie del planeta, superior a lo que sería si el calor que provee el sol se reflejara totalmente.

El resultado sería un planeta helado y sin vida. Se estima que sin el CO₂ y el vapor de agua en la atmósfera, la temperatura promedio en la superficie de la Tierra sería de -18°C ya que estos gases absorben parte de la radiación infrarroja que va de regreso al espacio después de rebotar en la superficie terrestre [Vega de Kuyper, 2007].

2.- DESARROLLO



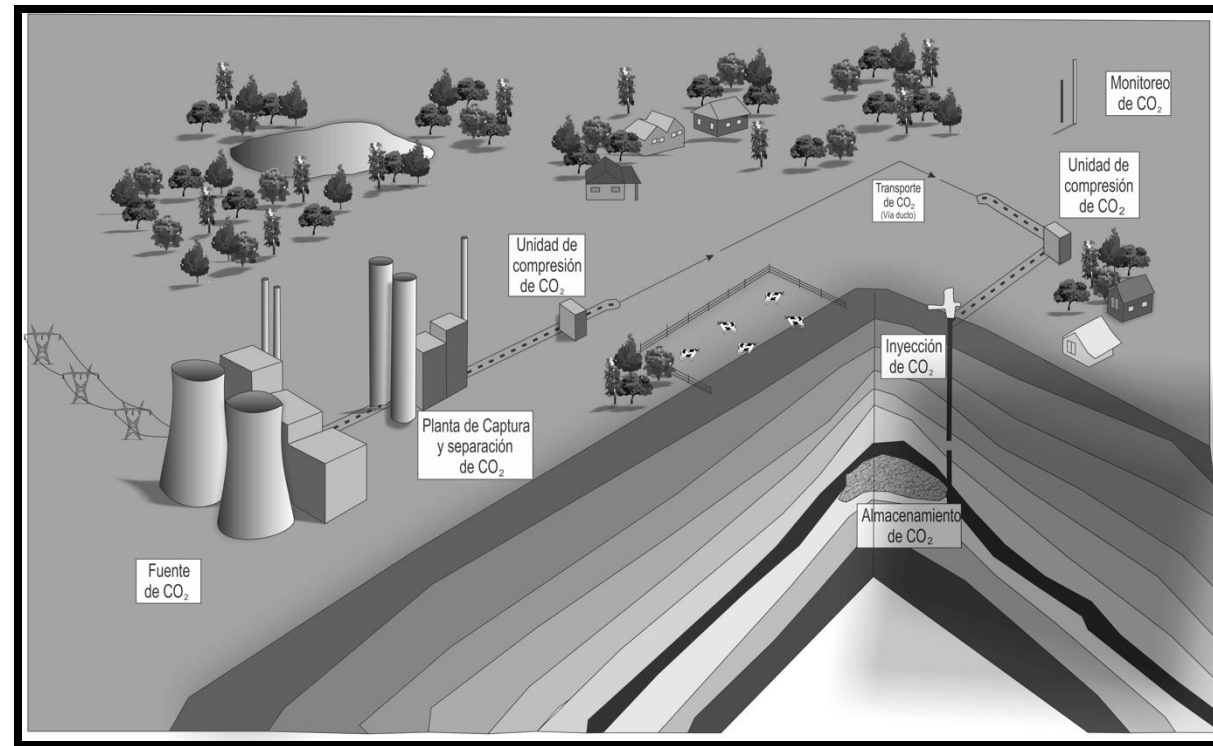
Principales países emisores de CO₂ en el mundo y su desempeño per cápita [Geoscience Australia, 2012]

2.- DESARROLLO

2.1.- ¿Qué es el secuestro de carbono?

“La captura y almacenamiento seguro de CO_2 que de otra forma sería emitido a la atmósfera o permanecería en ella. Esto se logra ya sea mediante la captura de las emisiones producidas por el hombre o a través de su remoción de la atmósfera por cualquier vía y su subsecuente almacenamiento”.

IPCC,205.



En el tipo geológico del secuestro de carbono se involucra una fuente estacionaria de CO_2 , tal como una central de generación de energía eléctrica, una planta para separar el CO_2 del resto de los gases de combustión, una unidad de compresión de manera que se pueda transportar en un gasoducto y un sitio de almacenamiento adecuado con su respectivo sistema de monitoreo

[Cook, 2012].

2.- DESARROLLO

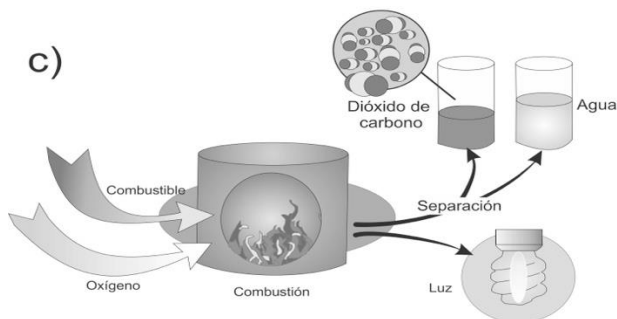
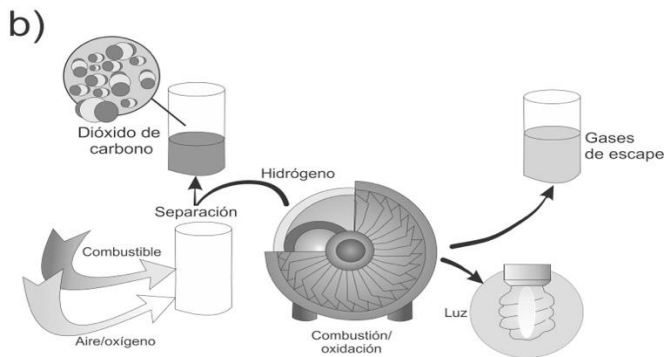
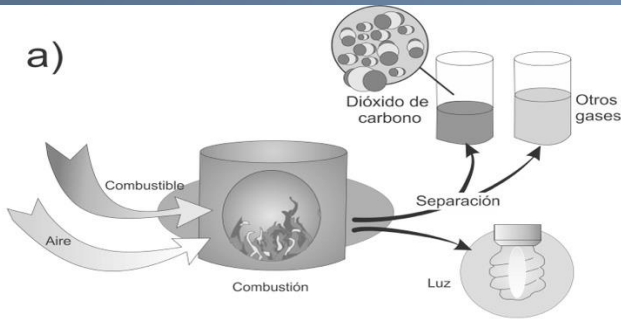
2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

Esquema de las tres formas principales de captura y separación existentes en el proceso de CCS.

La postcombustión involucra combustión del combustible con aire que resulta en una concentración baja de CO₂.

La precombustión que lleva a cabo la gasificación de carbón para formar hidrógeno en forma previa y que servirá como combustible a la caldera, lo que proporcionará un flujo concentrado de CO₂

El *Oxyfuel* que se parece a la forma convencional o postcombustión excepto porque se lleva a cabo en una atmósfera rica en oxígeno lo que resulta en un flujo rico en CO₂ en la combustión .



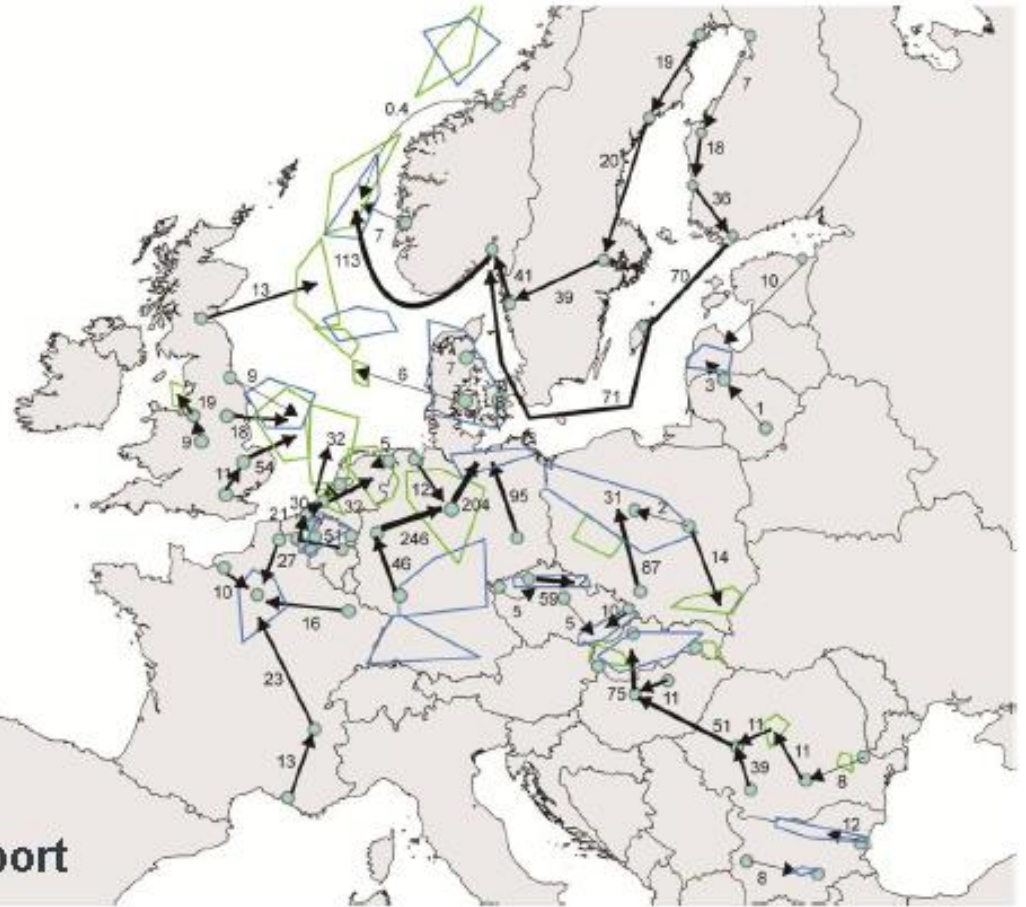
[Cook, 2012].

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

- Truck
- Rail
- Ship
- Pipeline
 - Onshore
 - Offshore

Example of European CO₂ transport
co₂europipe (2050 scenario)



2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

Los sitios con potencial de almacenamiento geológico son aquellos que:

- Tienen capacidad e inyectividad aceptables.
- Cuentan con confinamiento y estabilidad geológica asegurados.
- No están comprometidas para otro tipo de usos como yacimientos de hidrocarburos, agua u otros recursos.

Los criterios propuestos para la evaluación de una cuenca para fines de almacenamiento geológico de CO₂ incluyen:

- Características como actividad tectónica, tipo de sedimentos y regímenes geotérmicos e hidrodinámicos.
- Recursos como hidrocarburos, carbón y otros minerales.
- Madurez e infraestructura industrial de la zona.
- Aspectos sociales como grado de desarrollo, economía, medio ambiente, educación y actitud de la comunidad.

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

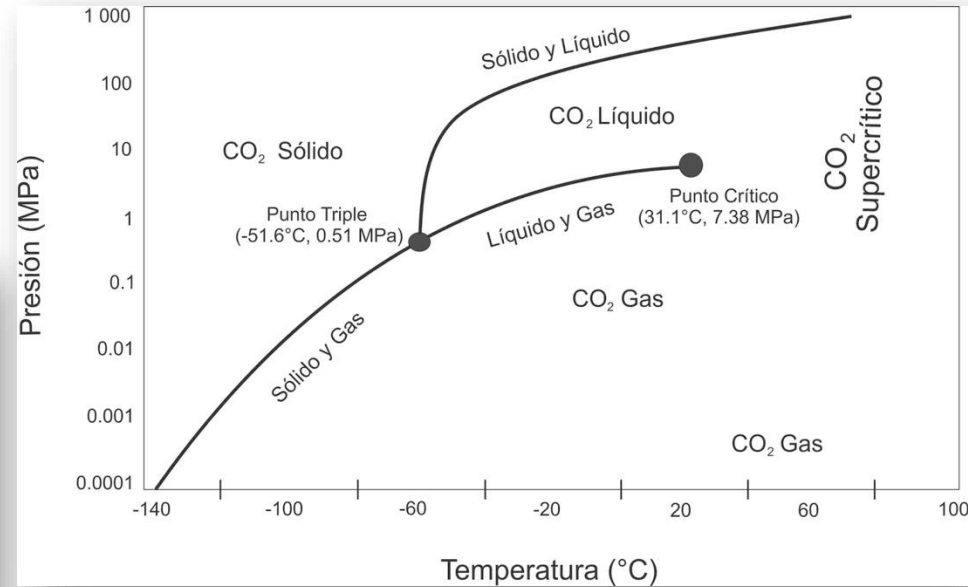
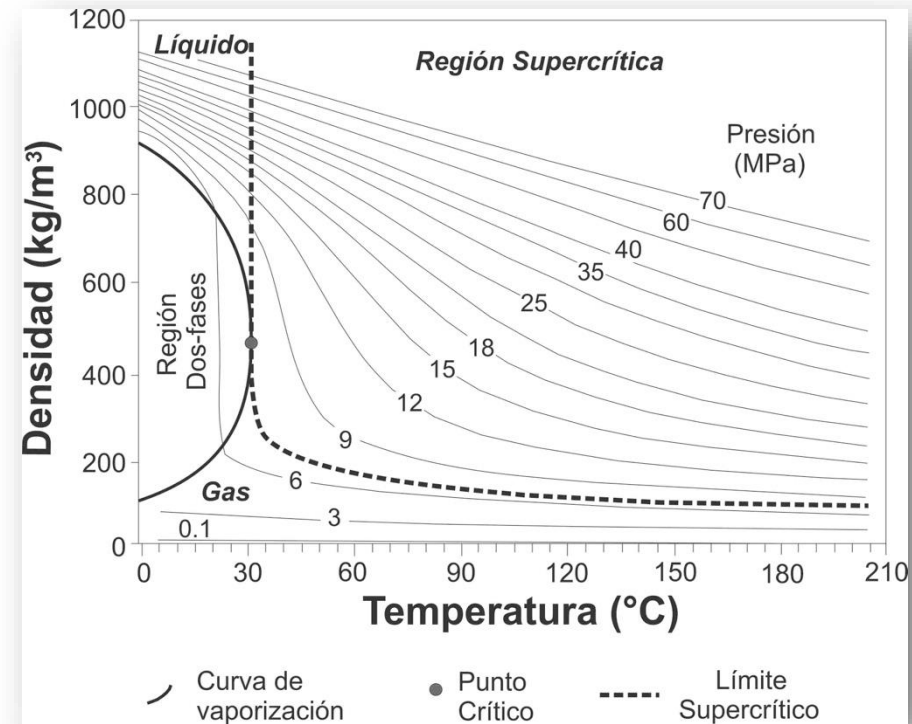


Diagrama de Presión vs Temperatura del CO₂ [Suárez, 2007].

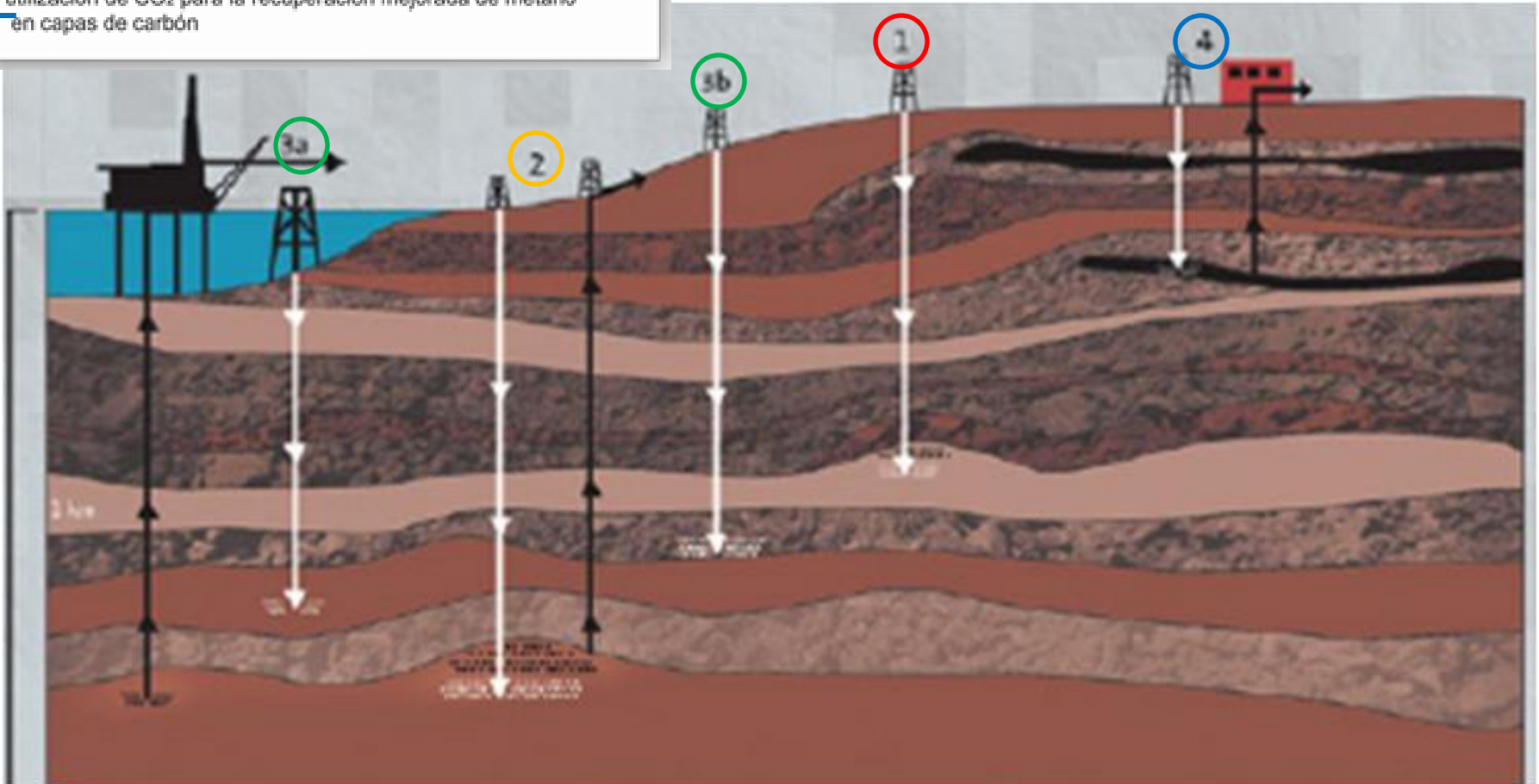
Diagrama de Densidad vs Temperatura del CO₂ [Bachu, 2012].

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

Visión general de las opciones de almacenamiento geológico

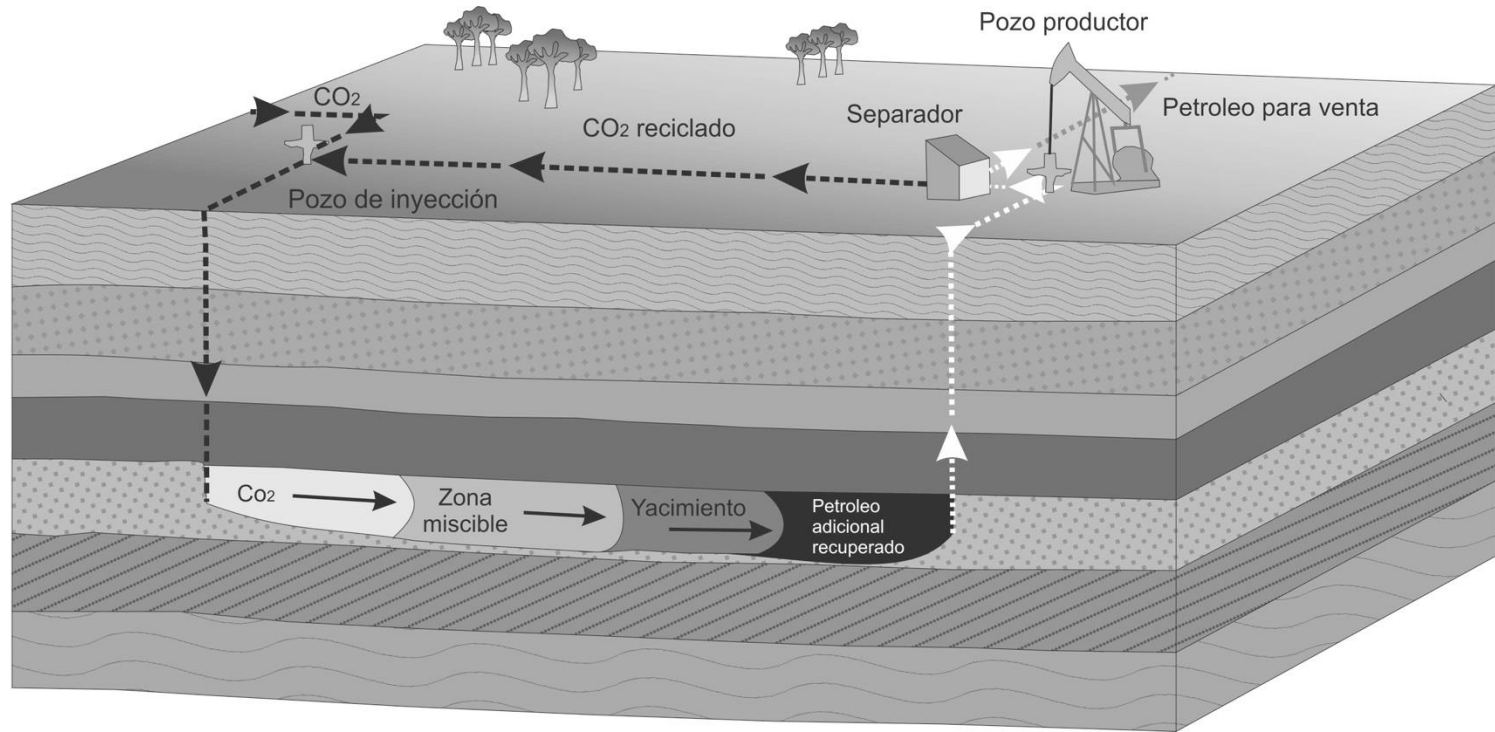
1. Yacimientos de petróleo y gas agotados
2. Utilización de CO₂ para la recuperación mejorada de petróleo y gas
3. Formaciones salinas profundas - a) marítimas b) terrestres
4. Utilización de CO₂ para la recuperación mejorada de metano en capas de carbón



Principales formas de almacenamiento geológico de CO₂ [IPCC, 2005].

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂



La **recuperación mejorada de hidrocarburos** usando CO₂ (CO₂-EOR) ha sido utilizada por más de 50 años, sobre todo en USA.

Aun cuando el fin original no fue almacenar CO₂ geológicamente, éste ocurre.

Por ahora es la única forma de CCS que resulta rentable.

Además, esta modalidad ha enseñado innumerables lecciones en términos del manejo del bióxido de carbono por su uso maduro en la industria petrolera.

Cook, 2012.

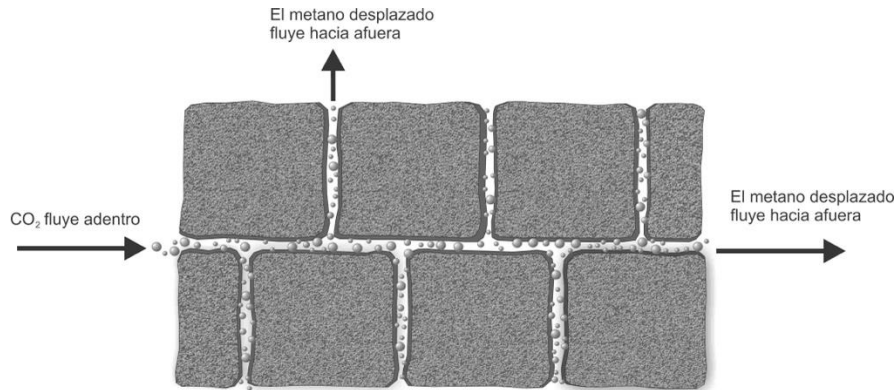
2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

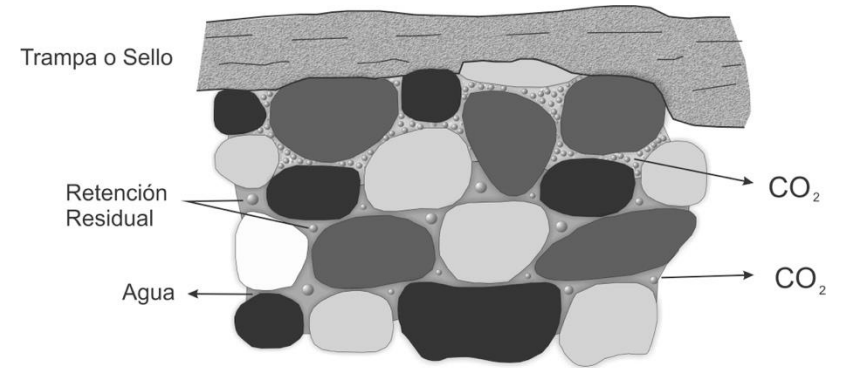
En acuífero



En carbón mineral



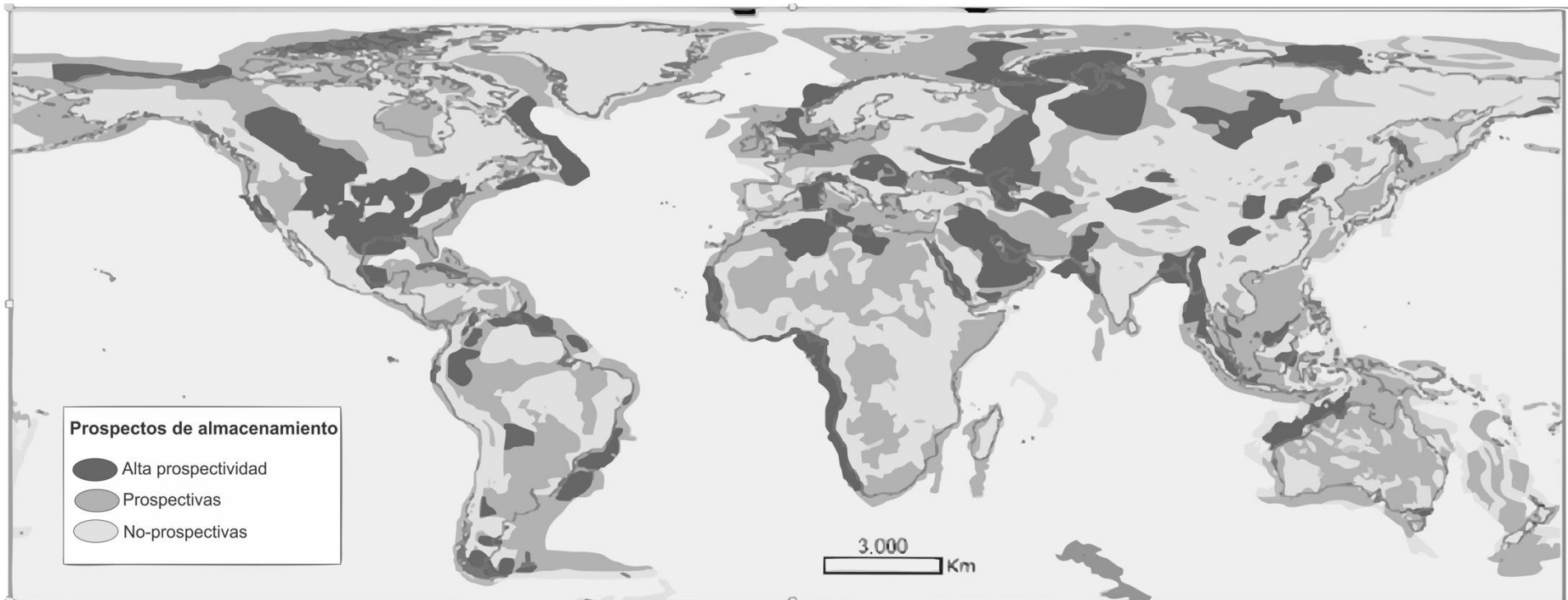
La inyección de CO₂ en lechos permeables de carbón desplaza metano y el bióxido de carbono es adsorbido en las superficies de todas las caras posibles del medio [Cook, 2012].



Diferencia entre la retención estructural o estratigráfica y la retención residual [Cook, 2012].

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

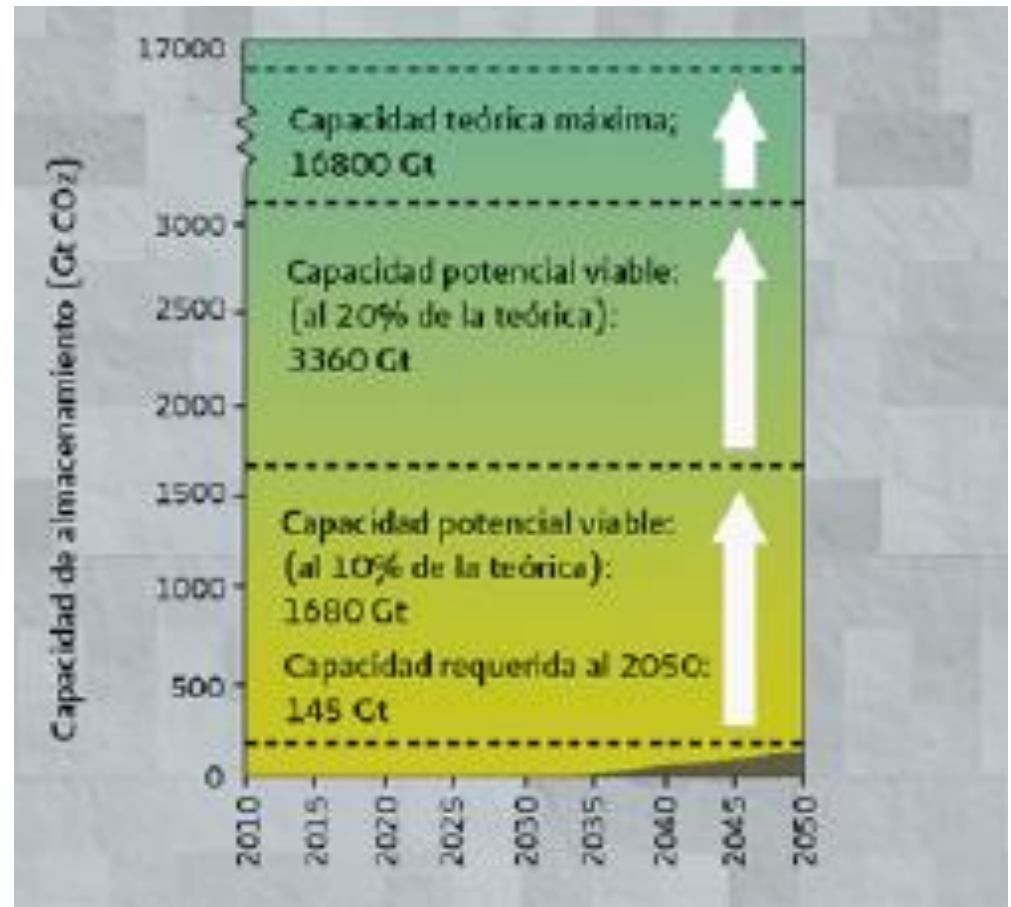


Distribución general de cuencas sedimentarias prospectadas en el mundo y clasificadas de acuerdo a su pertinencia para CCS [IPCC, 2005].

2.- DESARROLLO

2.2.- El Proceso de Almacenamiento Geológico de CO₂

Esquema que muestra que la capacidad requerida al 2050 es solamente el 1% de la capacidad total potencial en los acuífero salinos s del mundo. AIE, 2010.



2.- DESARROLLO

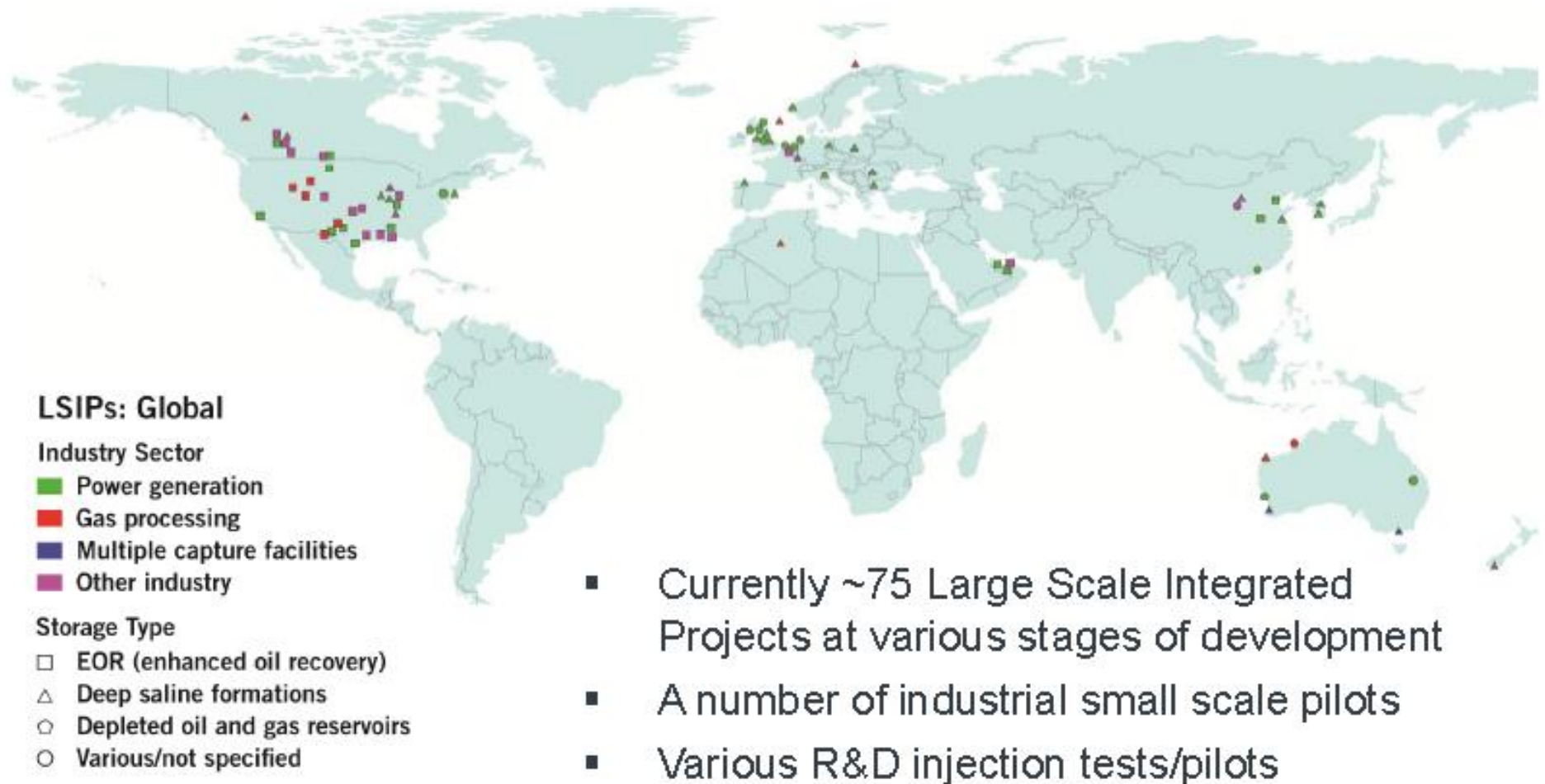
2.3.- Criterios Geológicos para el Almacenamiento de CO₂

Terrenos geológicos de poco interés:

- Altamente fracturados o plegados.
- Historia diagenética compleja.
- Localizados en zonas con estados de esfuerzo que induzcan presiones importantes al reservorio.
- Profundidades menores a 800 m.
- Sin posibilidades de mecanismo de sello.
- Porosidad y permeabilidad bajas.

2.- DESARROLLO

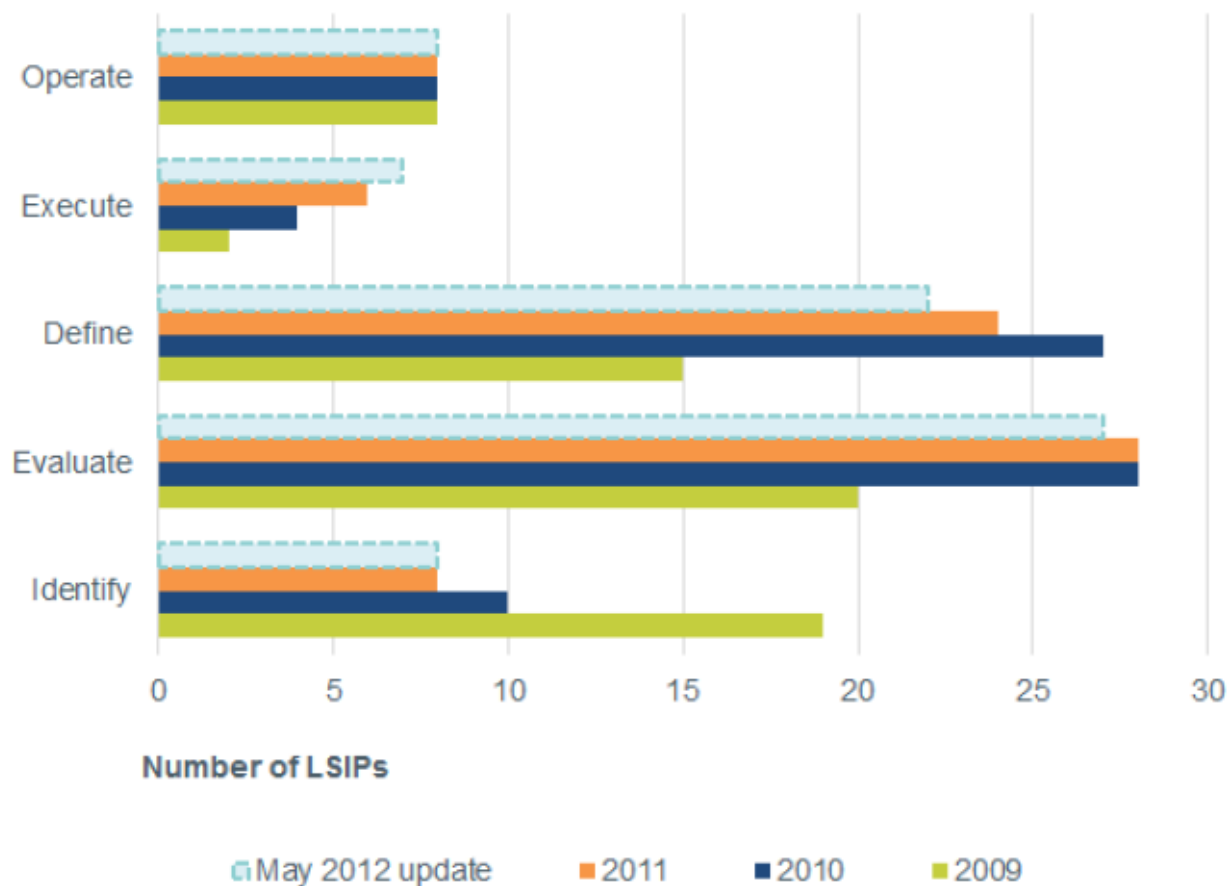
2.4.-Proyectos de CCS Actualmente en Desarrollo en el Mundo.



2.- DESARROLLO

2.4.-Proyectos de CCS Actualmente en Desarrollo en el Mundo.

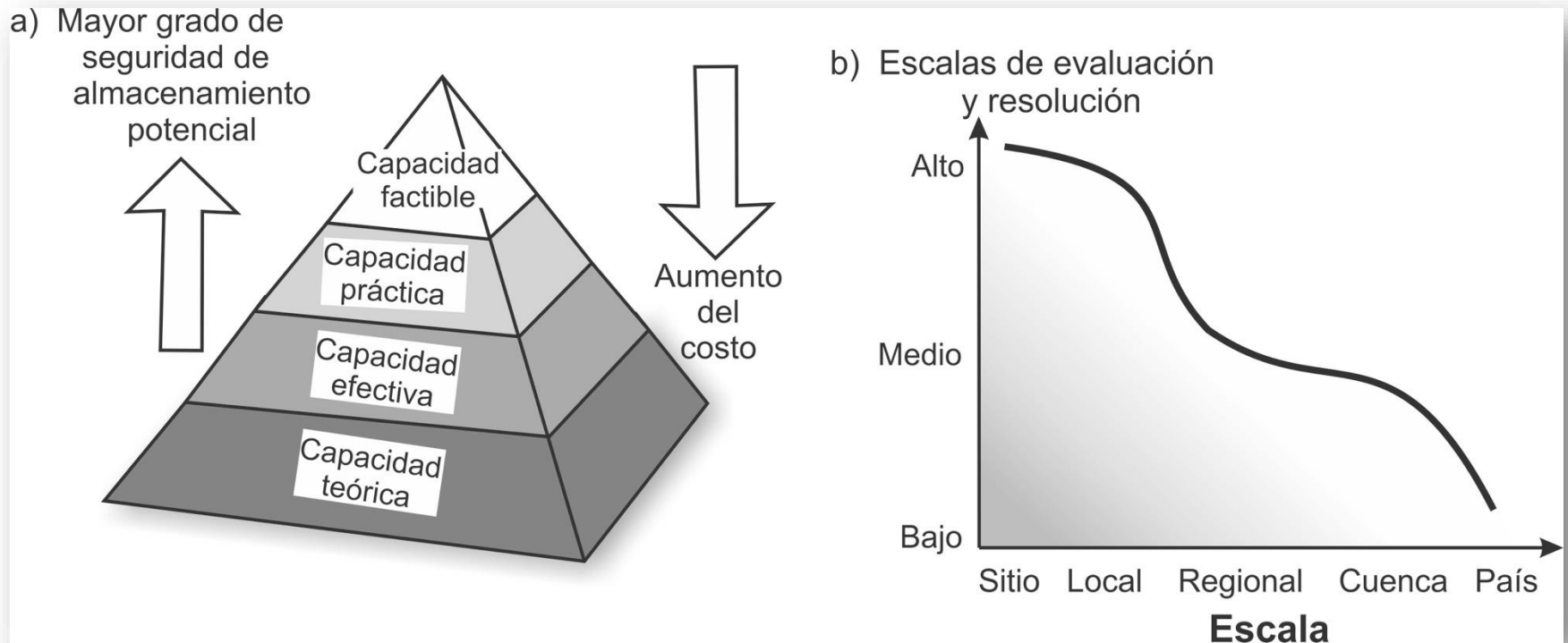
Measured progress of large-scale integrated Projects SINCE 2009



Withaker, 2012

2.- DESARROLLO

2.5.- Escalas de Evaluación y Resolución



Variaciones en tamaño y resolución de diferentes capacidades de almacenamiento.

(a) Pirámide tecno-económica de recursos, (b) Escalas de evaluación.

[Bradshaw et. al. 2007. en Bachu et. al. 2007].

2.- DESARROLLO

2.6.- Estado de la Evaluación de Capacidad de Almacenamiento en México

- 1.- Sólo acuíferos salinos profundos.
- 2.- Se utilizó la Metodología CSLF, 2007.
- 3.- Inventario Nacional a Nivel País (escala 1 de 5).
- 4.- Inventario Nacional a Nivel Cuenca (escala 2 de 5).
- 5.- Resultados en *The North American Carbon Storage Atlas 2012* e Inventario Nacional de CCS, 2012.
- 6.- Comenzando Escala Regional en Coahuila y Tamaulipas (escala 3 de 5)

2.- DESARROLLO

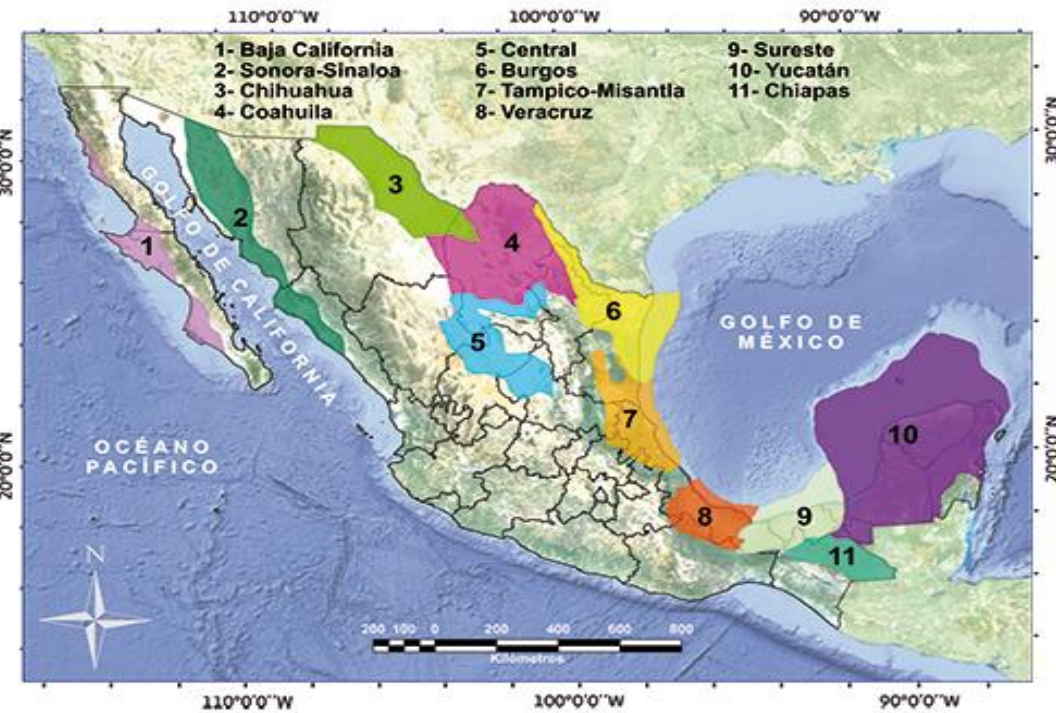
2.7.- Zonas de Inclusión y Exclusión para Almacenamiento Geológico de CO₂ en México

Zonas de inclusión y exclusión para almacenamiento de CO₂ antropogénico en la República Mexicana [Jiménez et. al, 2010].



2.- DESARROLLO

2.8.- Capacidad Teórica de Almacenamiento de CO₂ en Acuíferos Salinos Profundos

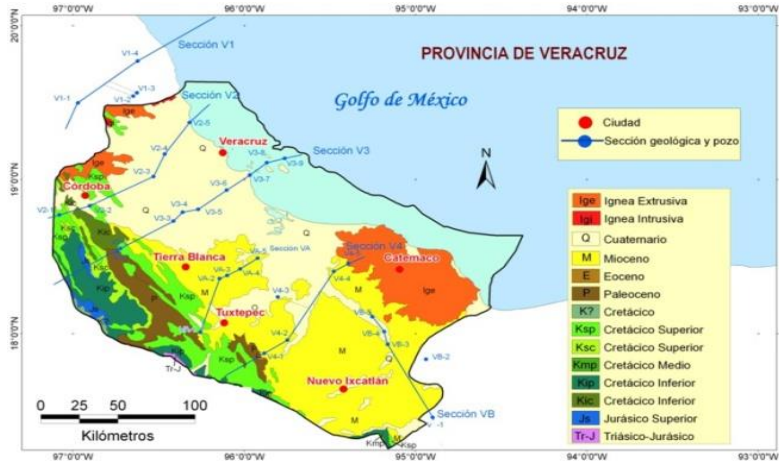


Ubicación de las 11 provincias geológicas evaluadas a nivel cuenca que componen las zonas de inclusión en México [SENER,2012].

Estimación de la capacidad teórica de almacenamiento de CO ₂ para acuíferos salinos profundos en México		
Provincia	Potencial de almacenamiento teórico de CO ₂ (Gigatoneladas)	Sectores
Chihuahua	<1	5
Coahuila	13	12
Central	<1	1
Burgos	17	31
Tampico-Misantla	9	12
Veracruz	15	21
Sureste	24	17
Yucatán	14	7
Chiapas	6	5
Total	100	111

2.- DESARROLLO

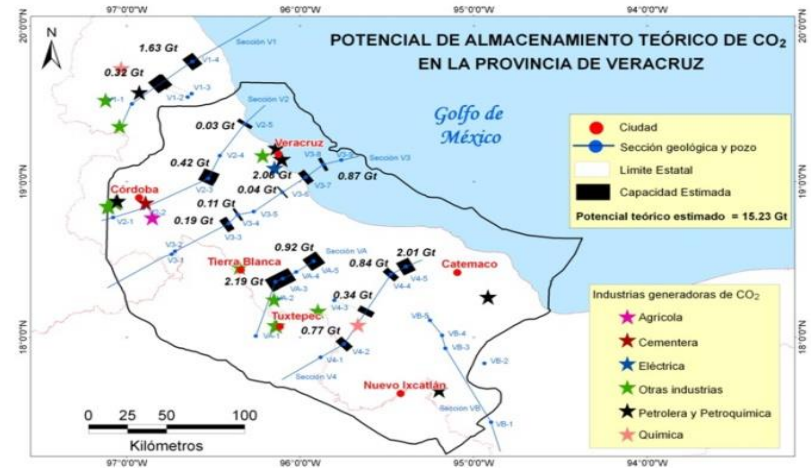
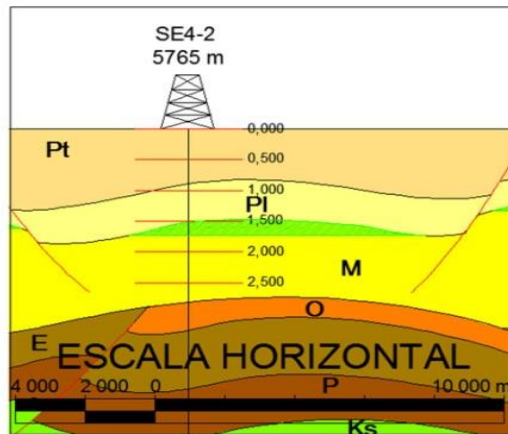
2.9- Un ejemplo de Cuenca Analizada.



PROFUNDIDAD (m)	SISTEMA	EDAD	SIMBOLOGÍA	ESPEZOR (MTL.)	REGISTRO DE TIPO AMBIENTAL	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	AMBIENTE DE DEPOSITO	DATOS PETROFÍSICOS				
									VCL (%)	PHie (%)	SWL (%)	K _{int} (md)	NETO TOTAL (Fracs.)
500	TERCIARIO	MOZOCNO SUPERIOR		40		Fm. Encanto	Lutita gris, suave en partes bentoníticas; escasa lutita gris verdosa, con material pirritizado. Escasa arenisca gris-gris claro, de grano fino a medio, bien cementada.	Cuenca (Abarico submarino)	LUT <90	0	<100	0	<0.10
1000		MOZOCNO MEDIO		60		Fm. Depósito	Lutita gris verdosa, suave, ligeramente arenosa en partes bentonítica, escasa arenisca calcárea, gris de grano fino. Ocasionales fragmentos de mudstone (caliza) café, ligeramente arcillosa.	Cuenca (Abarico submarino)	LUT <90	0	<100	0	<0.20
2000	MOZOCNO INFERIOR			80		Fm. La Laja	Lutita gris claro y gris verdoso, bentonítica, deleznable y bentonita verde. Conglomerado constituido por fragmentos de caliza arcillosa gris oscuro-negro, café grisáceo, caliza café claro y crema, de bioclastos recristalizado, con fracturas selladas por caliza; trazas de pedernal ámbar, arenisca de grano grueso a conglomerática, lutita bentonita gris verde.	Cuenca (Abarico submarino)	LUT <90	0	100	0	<0.75

Profundidad Total 4230 mbtr

Fig. Reyes (Gómez y T.) Reservoirs Veracruz. VCL: Valores de Arcilla; PHie: Porosidad Efectiva; SWL: Saturación de Agua Insoluble; K_{int}: Permeabilidad Intrinsic; NETO TOTAL: Reservio enro expor no almacenar superior total; LUT: Lutita; ARE: Arenisca; CO: Conglomerado.



a).- Límites de la provincia geológica de Veracruz.

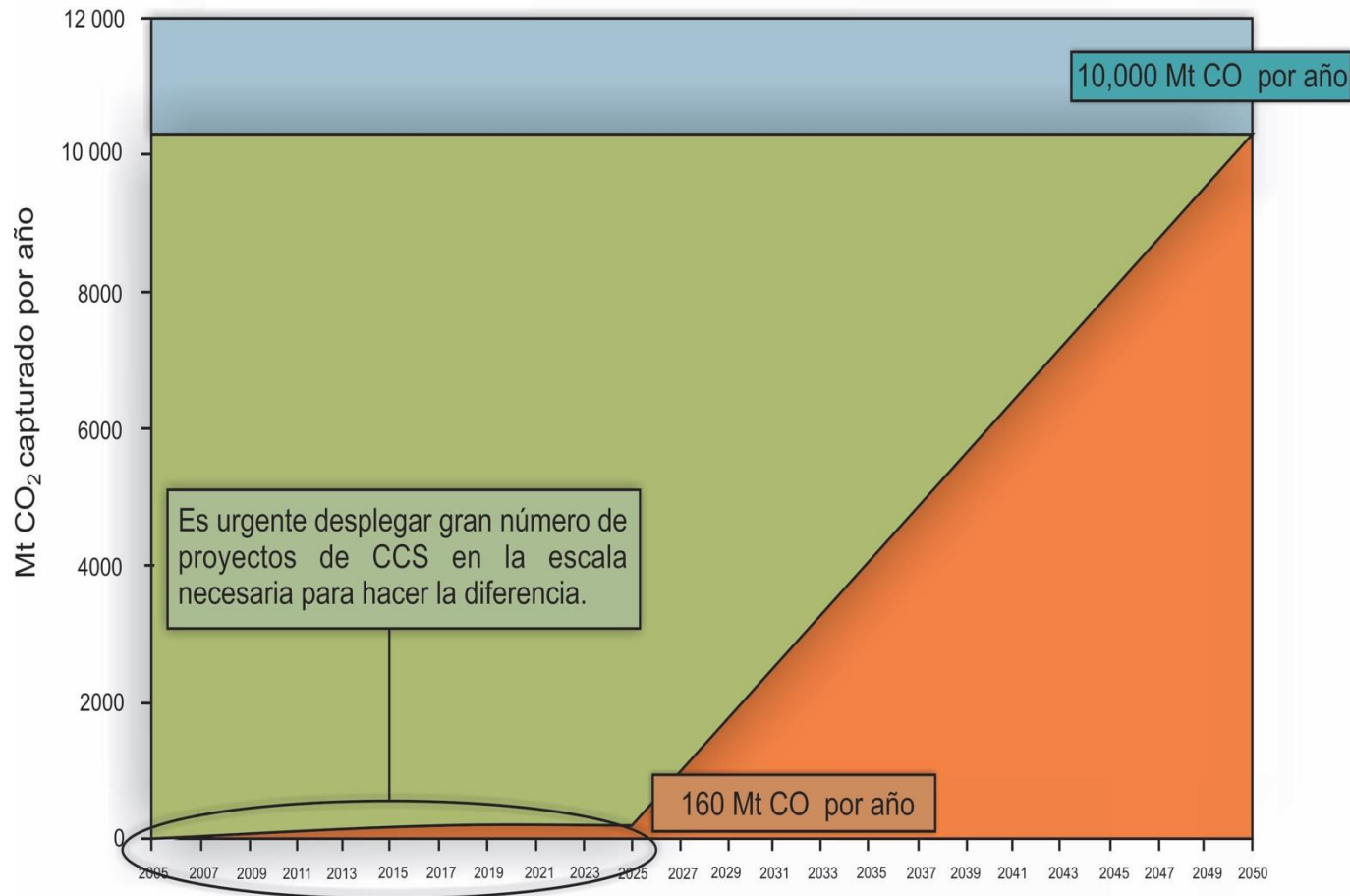
b) Características petrofísicas evaluadas: contenido de arcillas, porosidad, saturación de agua y permeabilidad.

c) Ejemplo de sección donde se propone un sector para el almacenamiento en una secuencia terrígena M₁ cubierta por otra PI que sirve como un sello.

d) Localización de sectores propuestos para la Provincia Geológica de Veracruz (cuadros negros) y su relación con la ubicación de fuentes emisoras de CO₂.

2.- DESARROLLO

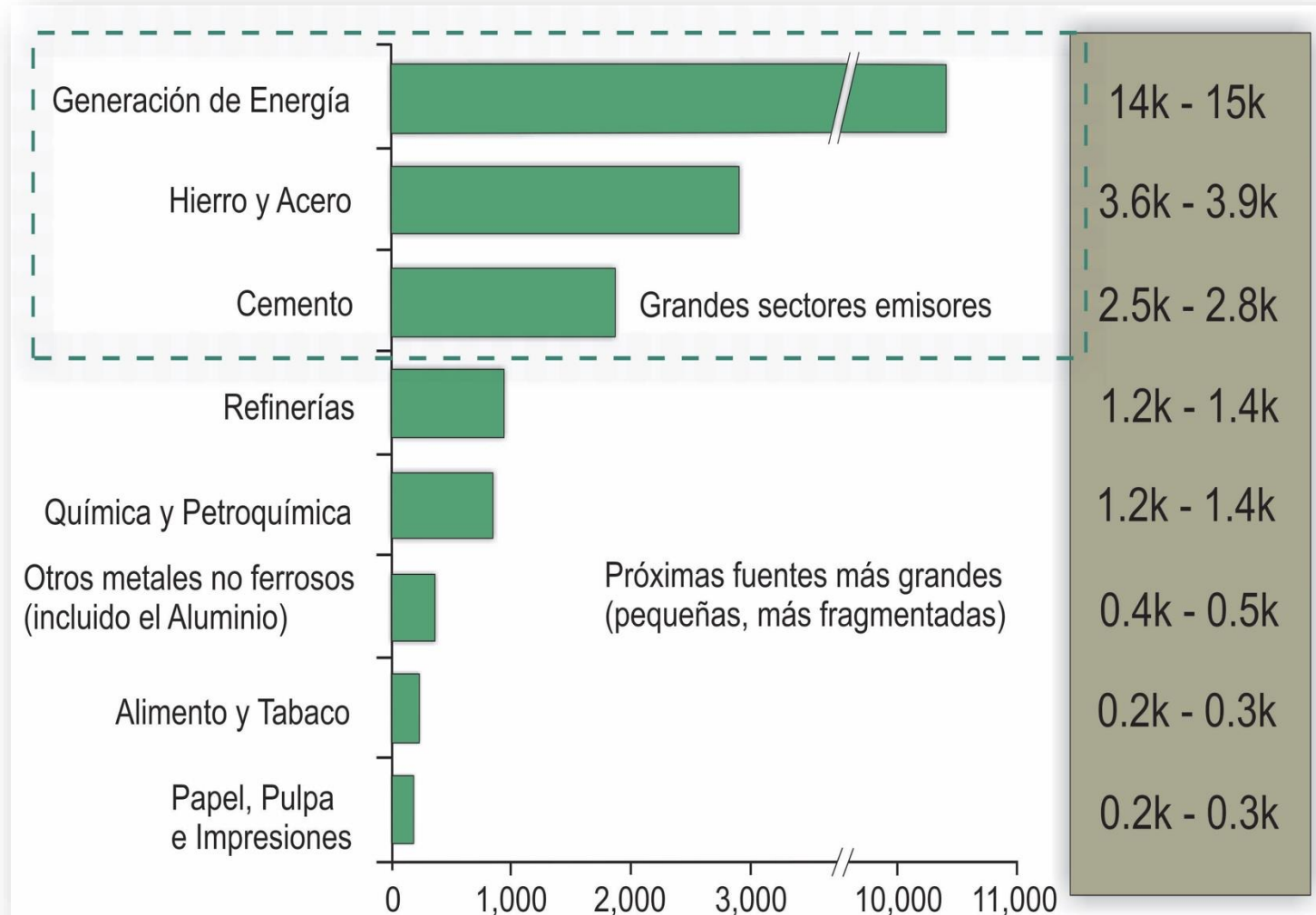
2.10- Retos de los Proyectos de CCS en el Mundo.



Importancia de iniciar proyectos urgentemente en el mundo para cumplir con la capacidad de almacenamiento esperada y necesaria [Withaker, 2012].

2.- DESARROLLO

2.10- Retos de los Proyectos de CCS en el Mundo.



Objetivos de captura y almacenamiento geológico para cumplir con las reducciones al 50% en 2050. [Withaker, 2012].

2.- DESARROLLO

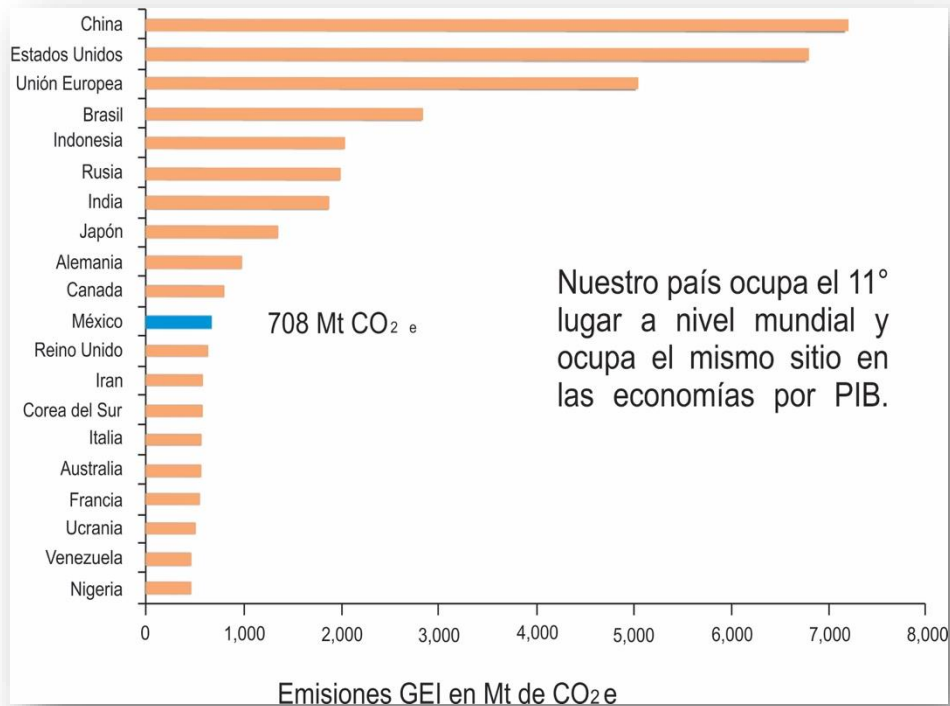
2.10- Retos de los Proyectos de CCS en el Mundo.

- Se acepta que el cambio climático actual sí tiene una componente causal definitivamente antropogénica. Indiferencia.
- No se comprende bien cuando se habla en tiempos geológicos y cuando se argumentan causas naturales.
- “La Sociedad no identifica” claramente la relación de las emisiones con el grado de comodidad al que aspiramos.
- Las personas están demasiado “convencidas” de que el problema se puede resolver, pero los gobiernos son los que lo deben hacer.
- Los encargados de formular el marco legal del cambio climático no siempre representan el sentir de la sociedad.
- Los financieros tiene ahora presiones para favorecer proyectos de carácter *energía limpia*.
- La industria comienza a ser, en algunos países, presionada para tomar medidas eficaces, casi siempre por la vía de impuesto al carbono.
- Pero una pregunta donde muchas cosas se detienen, es al llegar al tema de los costos. No está clara la línea de quiénes deben pagar las opciones de mitigación. Sin embargo, finalmente el usuario, el público o la sociedad pagarán estos proyectos. Algunas veces con dinero, otras con externalidades.

Factores importantes que condicionan el desarrollo de CCS y otras acciones a favor del cambio climático

2.- DESARROLLO

2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.



Los 20 países que emiten más GEI. México ocupa el 11° lo cual coincide con el orden económico del país [Arévalo,2012].

1.- Se ha estimado una capacidad teórica de almacenamiento de 100 Gt que es comparable con 500 años de emisiones de la industria fija nacional reportada

2.- En el mundo deberían capturarse 160 Mt para el 2025, la proporción para México corresponde a 3,7 Mt al año.

3.- En el mundo se deberían capturar 10 Gt para el 2050, la proporción para México corresponde a 230 Mt al año.

2.- DESARROLLO

2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.



Ubicación y clasificación de las fuentes fijas de CO₂ en México [SENER,2012].

2.- DESARROLLO

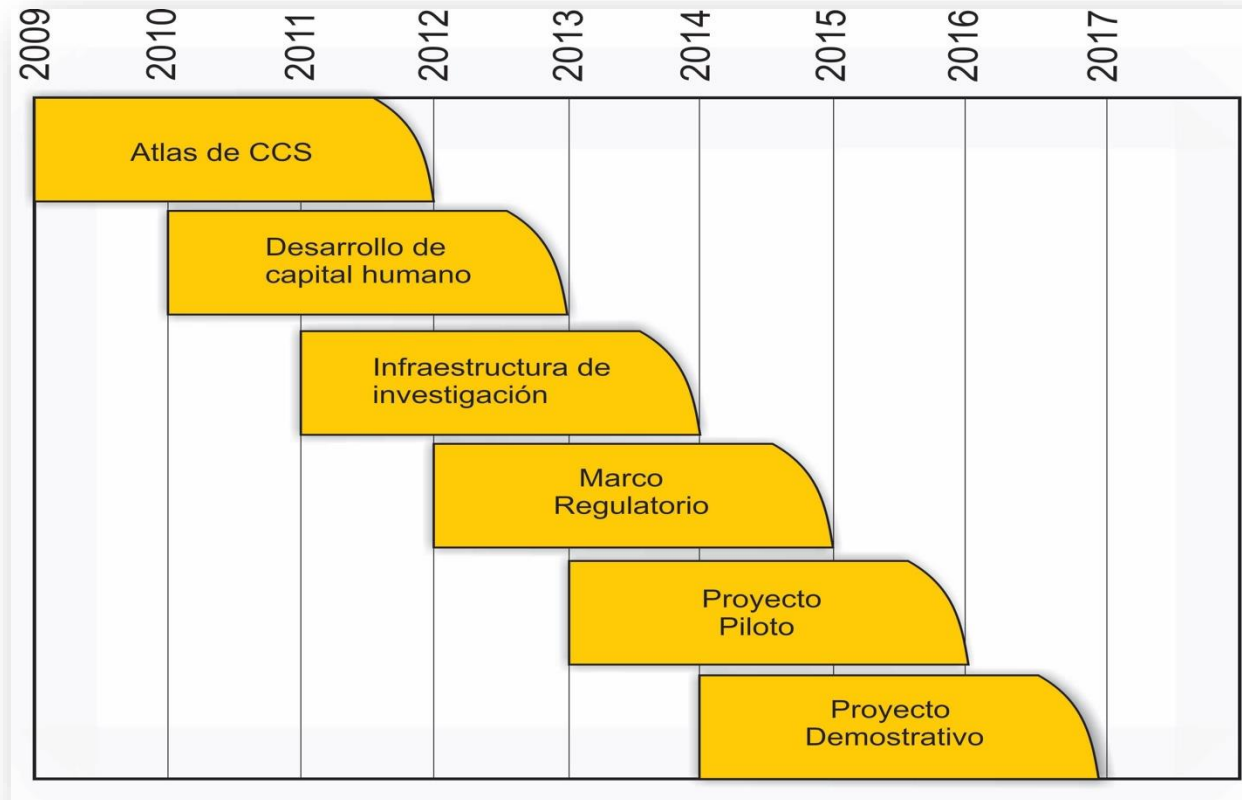
2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.

- La clase política tiene escaso o nulo conocimiento de la tecnología y su aporte real a la mitigación del fenómeno de emisión de GEI.
- Implica inversiones muy grandes que no se pueden enfrentar únicamente con criterios económicos sino de sustentabilidad. El costo nivelado de almacenamiento es del orden de 100 USD/tCO₂[Cook,2012].
- La sociedad ignora casi por completo de su existencia y es probable que no sea fácil su aceptación.
- Demanda de recursos humanos de varias ramas del conocimiento, varias de las cuales no se dominan en nuestro país.

Factores importantes que condicionan en México el desarrollo de CCS

2.- DESARROLLO

2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.



Ruta Tecnológica del CCS en México.
SENER 2011.

2.- DESARROLLO

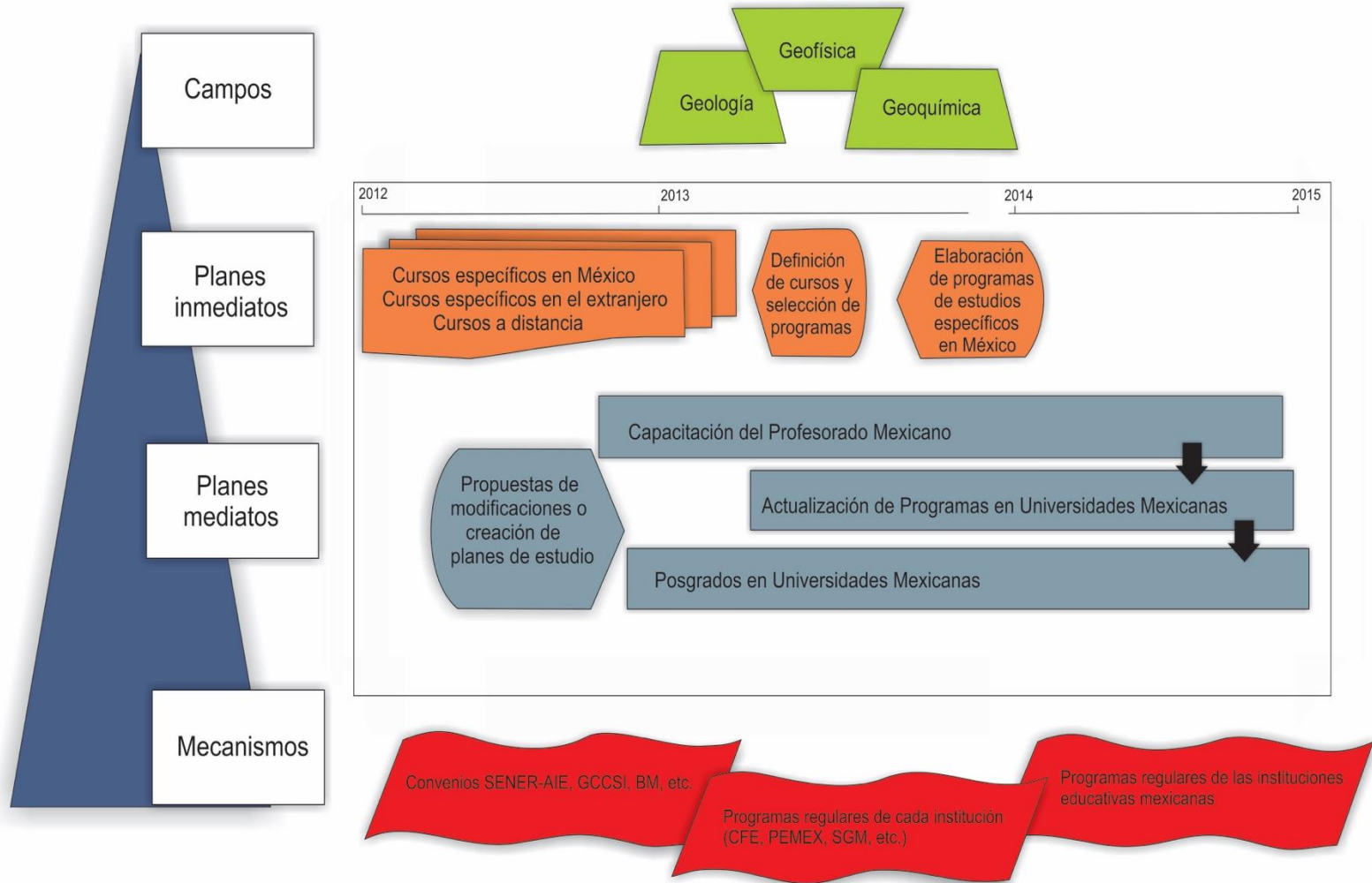
2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.

Las instituciones de investigación y de enseñanza superior mexicanas deben encontrar la forma de formar los RH que le permitan al país cumplir con el reto de CCS nos impone. En lo particular, el gremio de las Ciencias de la Tierra deberá ocuparse de introducir el conocimiento de la tecnología en los procesos educativos y fomentar que se le dé suficiente prioridad por dos razones básicas:

- **El conocimiento geológico marca el inicio de los proyectos de CCS. Estos nacen con la localización y caracterización de lo sitios de almacenamiento.**
- **La observación de por vida de un depósito de CCS es esencialmente geológica.**

2.- DESARROLLO

2.11- Los Retos de los Proyectos de CCS en México.



Esquema mínimo de trabajo para el desarrollo de capacidad en recursos humanos para desarrollar la tecnología de CCS al menos en las ramas de las Ciencias de la Tierra. SENER, 2011.

3.- CONCLUSIONES

- Es necesario acelerar el paso en México en la preparación de profesionistas de muchos ámbitos, en particular en ciencias de la Tierra, que sean capaces de ayudar a detonar un número importante de proyectos de CCS, dado que el país seguirá utilizando combustibles fósiles por muchos años más.
- Es de vital importancia complementar el inventario de sitios de almacenamiento geológico tanto en el tipo de acuíferos salino profundo que ya ha iniciado, pero que se encuentra aun en una etapa temprana, como comenzar a la brevedad el de EOR y yacimientos de hidrocarburos exhaustos.
- La sociedad ignora casi por completo el Concepto de CCS y es probable que no sea fácil su aceptación. Es necesaria su divulgación al igual que conseguir la inclusión en la agenda política.

Gracias !