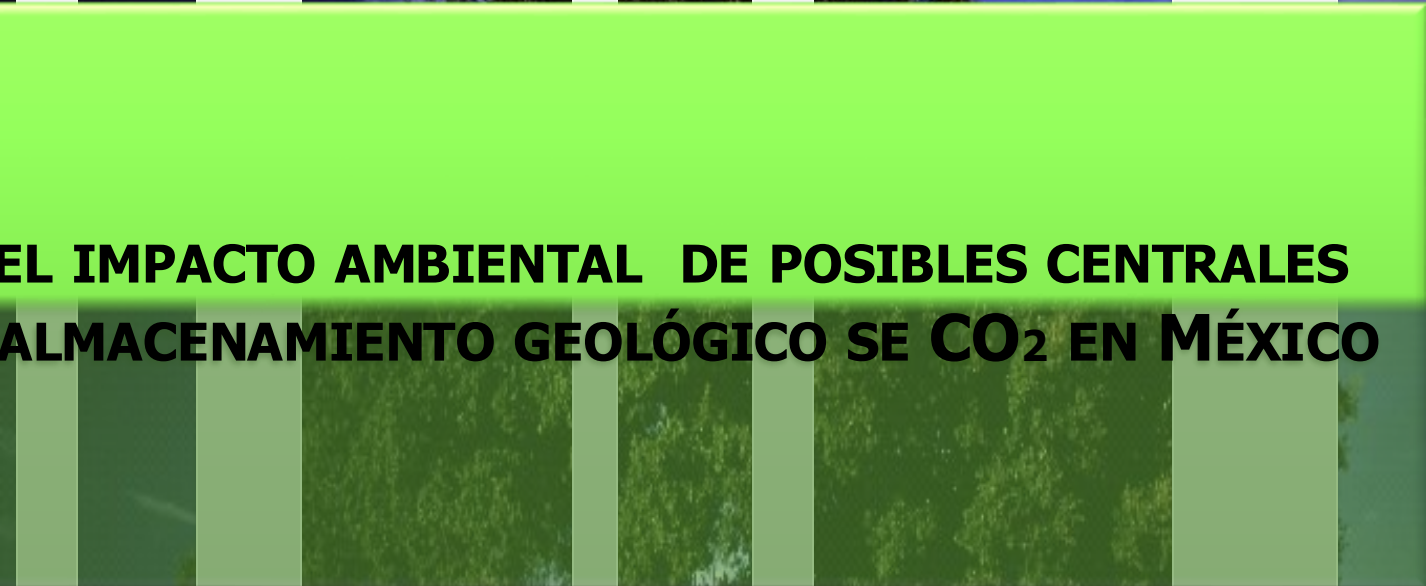




EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE POSIBLES CENTRALES TÉRMICAS CON ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO_2 EN MÉXICO

Moisés Dávila Serano
Febrero 2010





OBJETIVO

Evaluar la viabilidad ambiental de instalar centrales de generación de electricidad con captura de carbono en México





El análisis que se presenta:

considera los impactos ambientales de un eventual proceso de captura y almacenamiento geológico de carbono de plantas térmicas de carbón haciendo uso de la herramienta de análisis de ciclo de vida (LCA)



A dic 2008, la capacidad instalada para el servicio público de energía eléctrica era de 52,742 MW



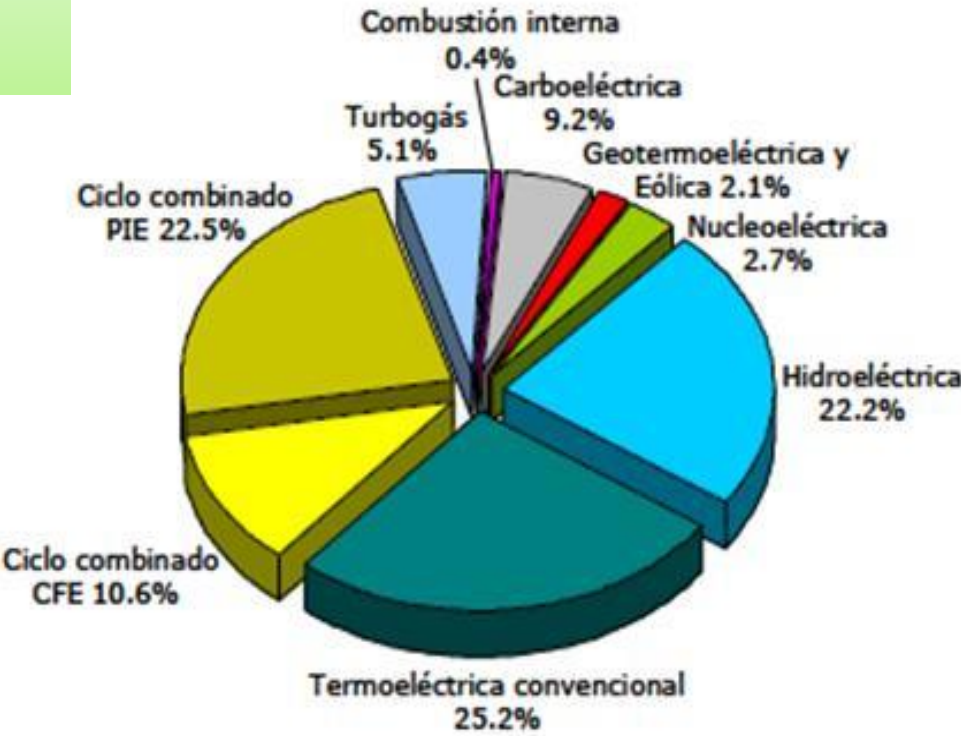
capacidad nominal de los equipos CFE



Productores Externos de Energía



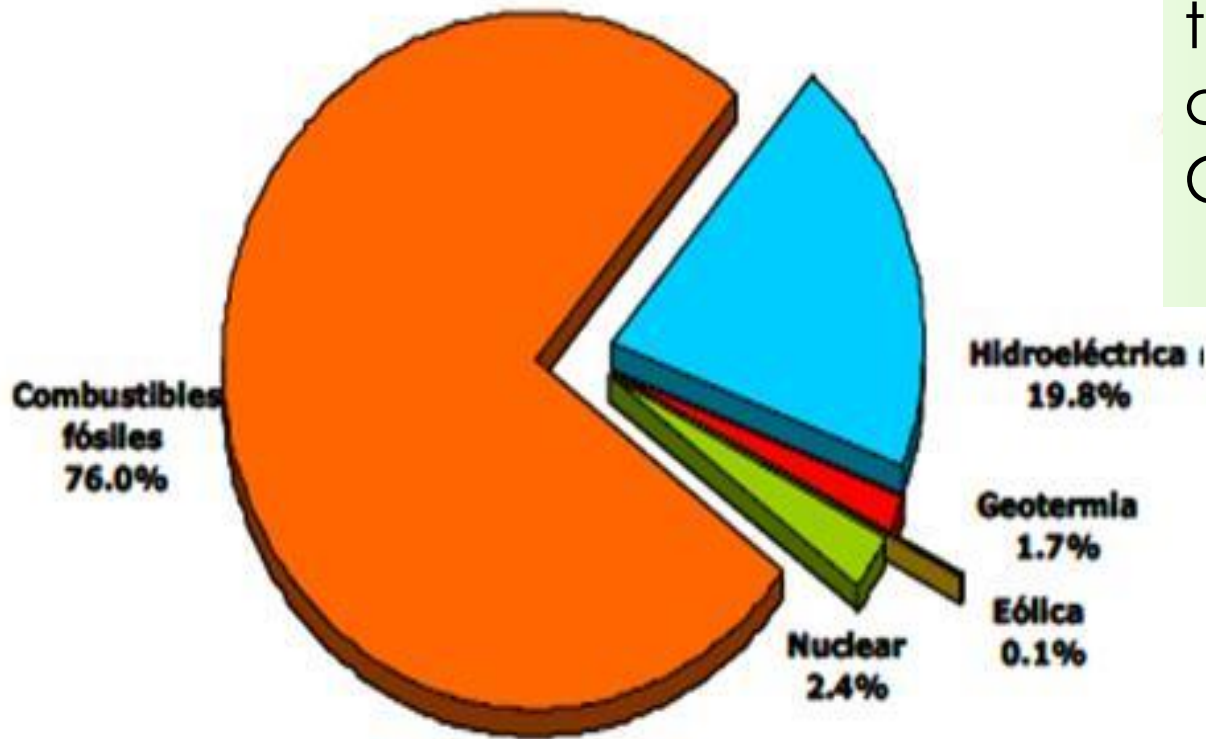
177 Centrales



Porcentajes de generación de electricidad en México por tipo de tecnología. CFE.2009

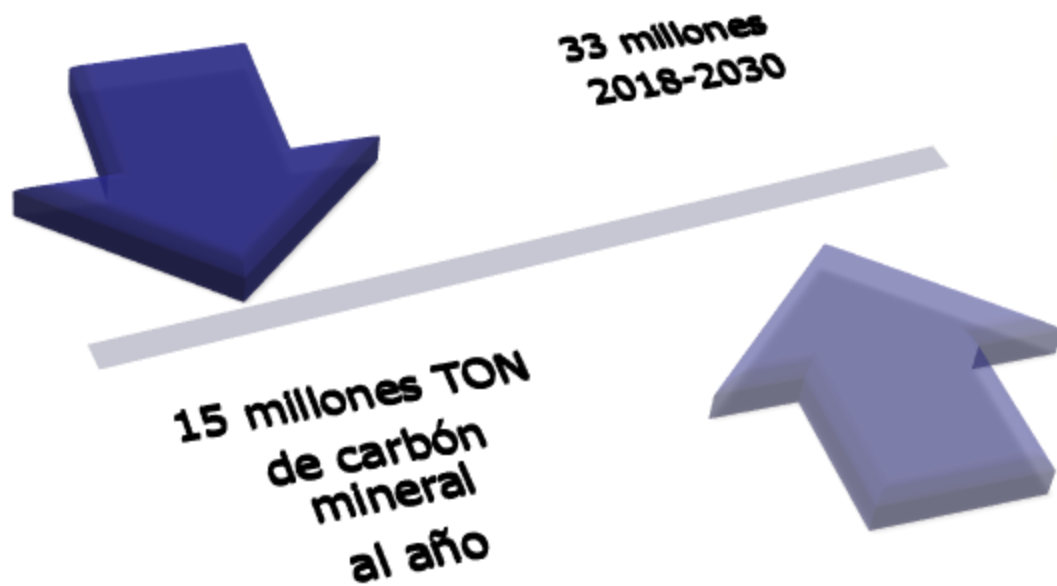


Porcentajes de generación de electricidad en México por tipo de combustible. CFE.2009





Para sostener el **ritmo de crecimiento del país**
Se promueve la construcción de generadoras
con gas natural y **adaptar paulatinamente aquellas**
que hasta ahora han utilizado combustóleo, **por**
plantas reformadas que quemen carbón mineral.



(Carbón I y II en
Coahuila y Lázaro
Cárdenas en
Michoacán)



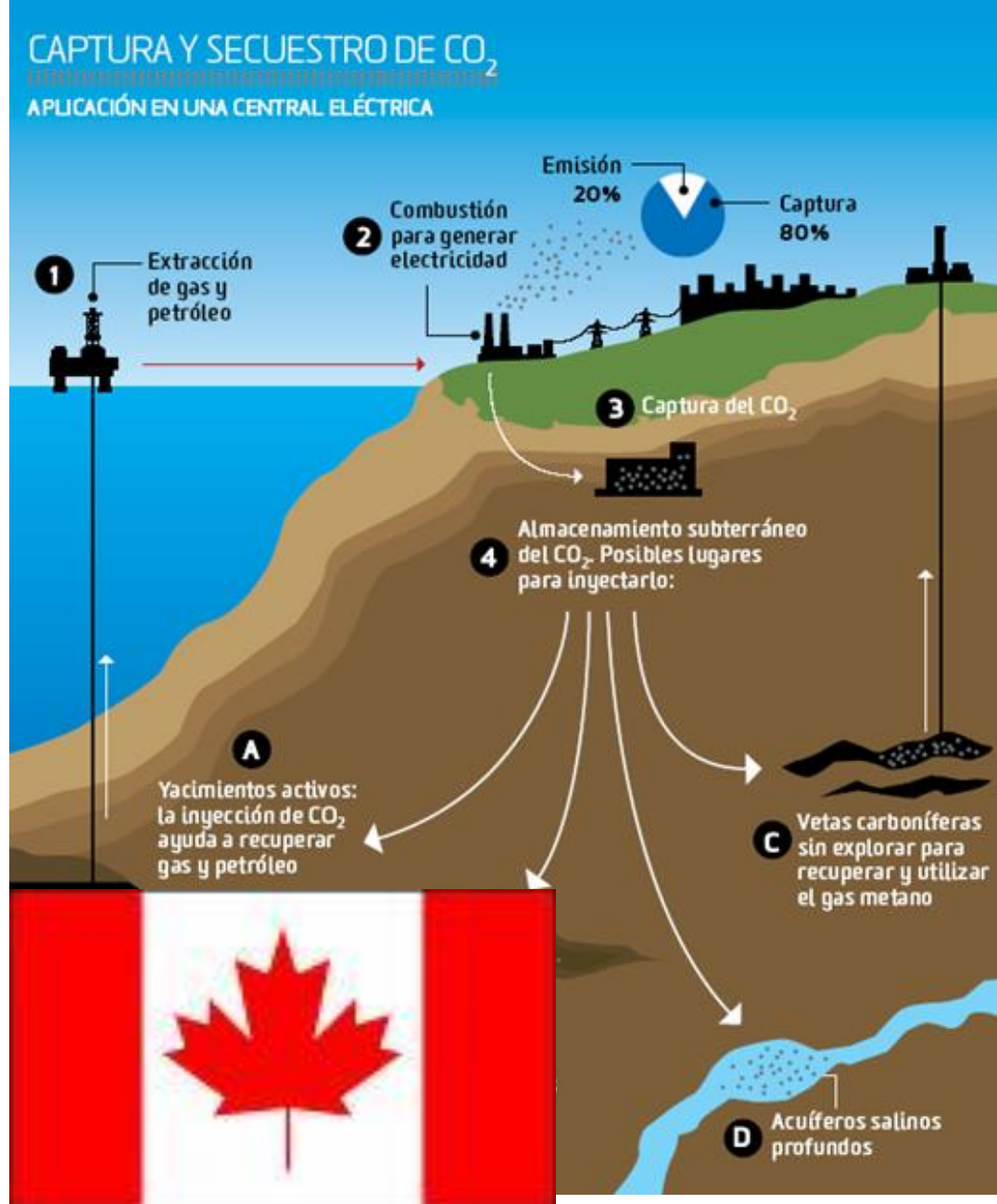
Una de las soluciones adoptables : almacenamiento geológico de CO₂.
ya dominada en el mundo

Hay cerca de 70 sitios en los que desde décadas se inyecta CO₂ con fines de recuperación mejorada de hidrocarburos (EOR)².

Canadá: 40 sitios en los que se inyecta gas ácido (H₂S / CO₂)

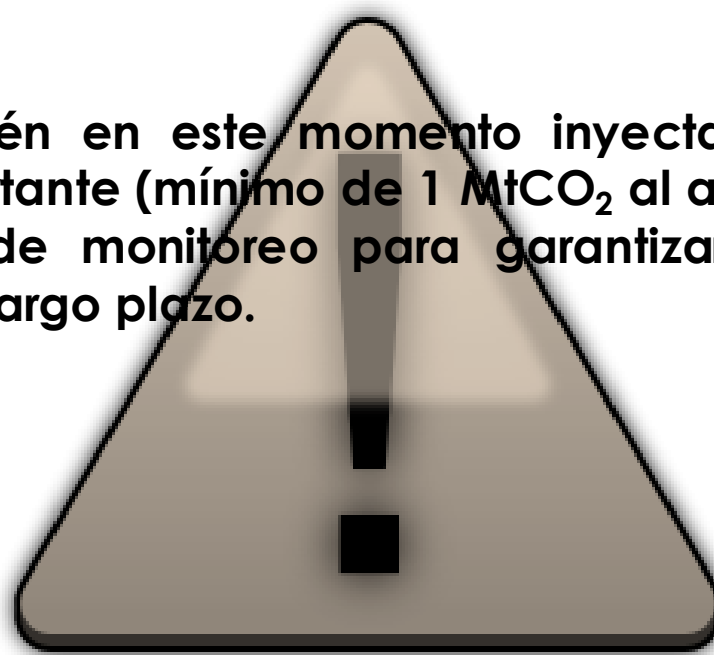
2.- Riddiford, F., I. Wright, et al. (2005). "MONITORING GEOLOGICAL STORAGE THE IN SALAH GAS CO2 STORAGE PROJECT." 6.

23/03/2025





Hay realmente pocos que estén en este momento inyectando CO₂ geológicamente a escala importante (mínimo de 1 MtCO₂ al año) y que mantengan un sistema serio de monitoreo para garantizar que no existirán fugas a la atmósfera a largo plazo.



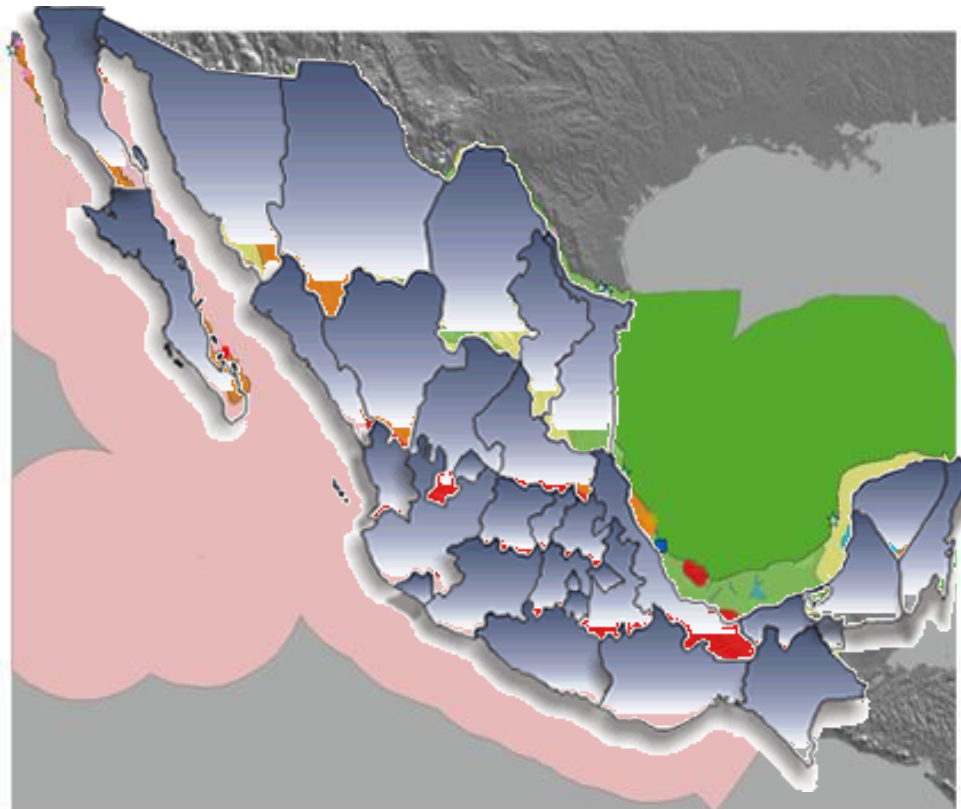
Ninguno de estos casos secuestrar bióxido de carbono proveniente de la quema de combustibles fósiles de la generación de energía eléctrica.





Sólo unas regiones como las sierras y planicies sedimentarias terciarias y mesozoicas del centro y noreste, la península de Yucatán y las cuencas marinas terrígenas del Golfo de México.

80 centrales térmicas³ distribuidas a lo largo del territorio mexicano, existen limitantes geológicas que restringen los posibles sitios de inyección.



3.- CFE. Op. Cit. 2009

Zona de Inclusión-Exclusión para CCS en México y localización de las plantas térmicas. Davila et. al. 2009



Análisis de ciclo de vida

LCA



(por su siglas en inglés)

- Es una herramienta desarrollada para evaluar integralmente el impacto de productos y procesos desde la extracción de sus materias primas hasta su disposición final pasando por su uso y distribución.



se apega a las ISO 14040 y 14044

1



Definición del objetivo y el alcance del estudio

2



Inventario de ciclo de vida (base de datos de entradas, salidas y procesos unitarios)

3



Evaluación (categorizados, normalización y comparación)

4



Interpretación



tres
sistemas
diferentes
(supuestos)

1) Una central carboeléctrica de referencia ya existente en el país o a construirse en el corto plazo.

2) integra a la misma central pero con un sistema de captura tipo post-combustión, compresión del CO₂ capturado, transporte vía gasoducto y su respectiva inyección a acuífero salino profundo (ASP) teórico.

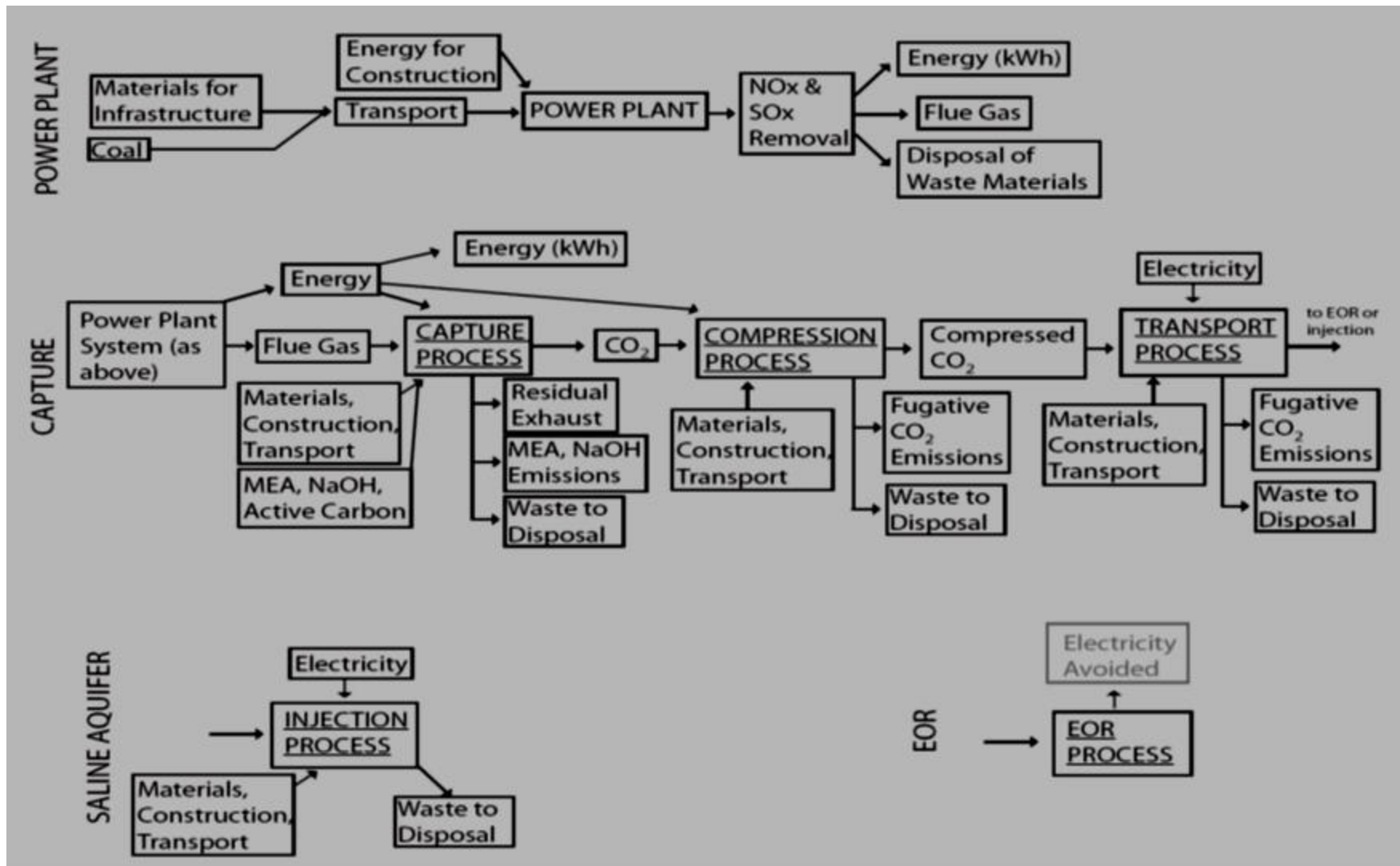
3) Misma que la segunda, pero la inyección geológica se realiza para EOR .

OBJETIVO Y ALCANCE LCA

El objetivo de este LCA es evaluar la viabilidad ambiental de un almacenamiento geológico de una central carboeléctrica teórica en México.



límites de los sistemas y sus esquemas muy simplificados





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
de electricidad
producida



Método de evaluación elegido: CML 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.



Inventario

Cantidades importantes de información



Siempre que fue posible, se utilizó la información correspondiente a América Latina o la global

Cuando se dispuso de datos específicamente de **México** se hicieron las adecuaciones necesarias en los procesos de Ecoinvent

- cemento,
- electricidad
- polietileno



Software SimaPro



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



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



© DIONISIO ZOZAYA F., 1978

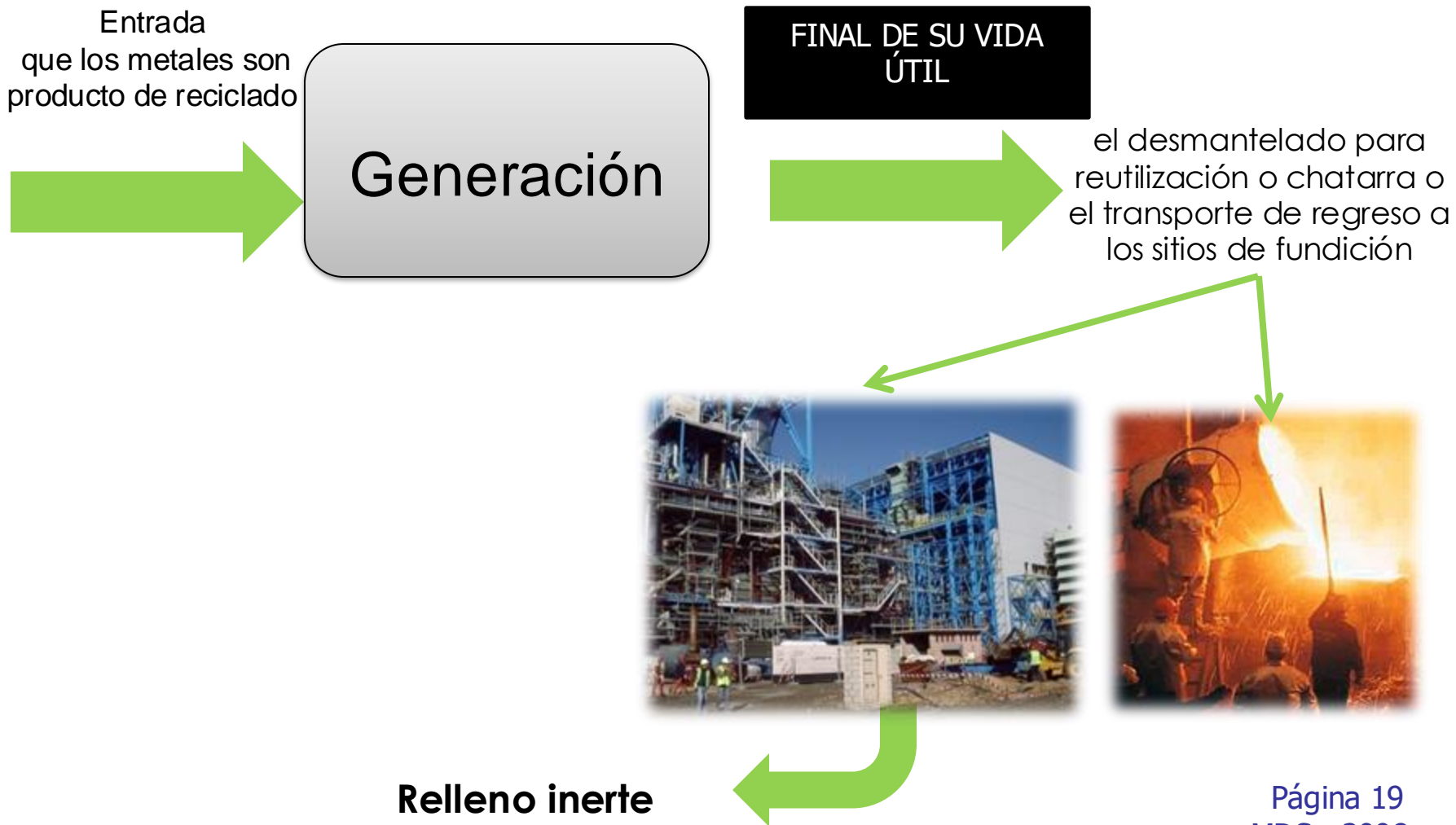


Material	Origen	FFCC (km)	Carretera (km)
Acero	Monclova, Coahuila	855	155
Acero	México, Distrito Federal	325	155
Cobre	San Luis Potosí, San Luis Potosí	325	155
Cemento	Poza Rica, Veracruz		50
Polietileno	Coatzacoalcos, Veracruz		445
Planta de Captura	Houston, Texas	1500	155
Carbón	Sabinas, Coahuila	960	155

Distancias para el transporte de materiales de construcción a la zona de Tuxpan. Por economía convencional y ambiental, se supuso el uso de ferrocarril cuando la opción fue viable.



Consideraciones del sistema





Consideraciones de la Central Eléctrica

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.



Parámetros de la Central

Parámetro	Unidad	Central eléctrica	Central eléctrica con CCS
Potencia	MW	350	350
Potencia efectiva	MW	350	229
Vida útil	Years	30	30
Operación	hr/yr	7800	7800
Eficiencia	%	35.7	23.4
Tasa rendimiento carbón	kg/MJ	.0448	.0448

Parámetros usados en la central eléctrica con y sin CCS



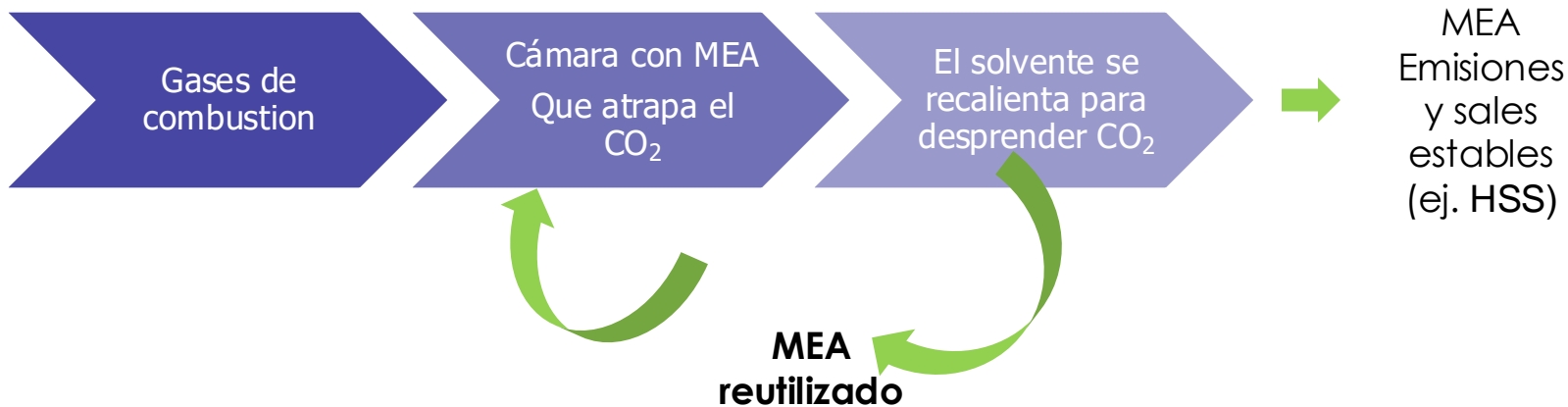
Proceso de captura de CO₂

El modelo empleado utiliza un sistema de captura de post-combustión, en el cual el gas de combustión, después de la desulfurización se filtra a través de una planta de captura que contiene un solvente basado en amina el cual absorbe el CO₂ y otros componentes.

monoetanolamina (MEA)



absorbe del 85 al 95% del CO₂ presente en los gases de combustión



La formación de impurezas de HSS de los gases de combustión reaccionan con el MEA y forman un residuo sólido que se debe disponer adecuadamente, incinerador de residuos municipales



Consideraciones de proceso

La energía utilizada para recalentar el MEA rico en CO_2 y liberar el CO_2 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%**.



Parámetros del proceso de captura y transporte

Parámetro	Unidades	Proceso	Referencias
Remoción de CO ₂	%	90	IPCC (2005) 85-95%
Remoción de SO ₂	%	90	Rao and Rubin (2002), Koorneef et al. (2008)
Remoción de NO _x	%	1.25	Rao and Rubin (2002)
Remoción de HCl	%	95	Rao and Rubin (2002)
Remoción de HF	%	90	Koorneef et al (2008) basado en Strazisar (2003)
Remoción de PM	%	50	Iijima et al. (2007) and Rao and Rubin (2002)
Uso de NaOH	kg/tCO ₂	0.13	Rao and Rubin (2002)
Uso de carbon activado	kg/tCO ₂	0.075	Chapel et al. (1999)
Uso de MEA	kg/tCO ₂	2.34	Koorneef et al. (2008) basado en Knudsen et al. (2006), Chapel et al. (1999), IEA GHG (2006), Rao et al. (2004).
Recuperación de MEA	kg/tCO ₂	0.20	Koorneef et al. (2008)
Emisión de MEA	kg/tCO ₂	0.014	IEA GHG (2006), Thitakamol et al. (2007)
Residuos de fondo	kg/tCO ₂	2.4	IEA GHG (2006), Thitakamol et al. (2007)



Parámetros del proceso de captura y transporte

Parámetro	Unidades	Proceso	Referencias
Energía empleada para la captura	kWh/tCO ₂	245	Se asume que 4 GJ de vapor son necesarios para recuperar 1 ton CO ₂ (Alie, Backham et al. 2005; Rao, Rubin et al. 2006) , con una relación de energía de 0,2 $GJ_{\text{electricidad}}/GJ_{\text{vapor}}$ (see Peeters, Faaij et al. 2007)
Energía para la compresión	kWh/tCO ₂	111	Koorneef et al. (2008) asume la compresión a 11 MPa
Emisiones de CO ₂ fugitivas en la compresión	tCO ₂ /MW/año o	23.2	IPCC (2006)
Emisiones de CO ₂ fugitivas a través del gasoducto	tCO ₂ /km/año	2.32	IPCC (2006)
Longitud del gasoducto	Km	250	



Datos de LCI

Proceso	Cantidad	Unidad
Acero y aleaciones secundarias	317	ton
Concreto	1	m ³
Transporte, carretera	49290	Tkm
Transporte, FFCC	480000	Tkm
Vida útil	30	años
Acero para reciclaje	317	ton
Concreto de desecho para relleno inerte	2.4	ton

Datos de LCI de la infraestructura de captura. De Koorneef et. al. (2008) basados en contacto directo con el fabricante Fluor (Holanda)



Elementos

Elemento	Masa (kg/kg)
LHV	0
O	2.53×10^{-1}
H	8.83×10^{-2}
C	4.28×10^{-1}
S	8.33×10^{-5}
N	1.79×10^{-1}
P	7.51×10^{-5}
Cl	4.90×10^{-2}
Br	8.00×10^{-5}
F	1.50×10^{-3}
As	1.70×10^{-6}
Cu	1.00×10^{-7}
Hg	1×10^{-9}
Se	1.74×10^{-5}
Zn	2.00×10^{-7}
Fe	1.10×10^{-6}
Ca	1.30×10^{-6}
Al	4.00×10^{-7}
K	1.80×10^{-5}
Na	8.21×10^{-4}

Composición elemental estimada de los residuos de fondo de la unidad de captura (Koorneef et. Al. 2008. Op. Cit.)



Proceso	Cantidad	Unidad
Concreto	65	m ³
Diesel y combustóleo para construcción	1978	GJ
Electricidad	61	MWh
Acero y aleaciones pesadas secundarias	3.25	ton
Acero y aleaciones ligeras secundarias	61.8	ton
Cobre	7	ton
Polietileno, HDPE	20	ton
Capacidad del Compresor	40	MW
Vida útil	20	Year
Transporte, carretera	20916	tkm
Transport, FFCC	38317	tkm
Cobre para reciclado	7	ton
Acero para reciclado	55	ton
Concreto para relleno inerte	156	ton

Datos de LCI para la infraestructura de compresión. De Koorneef et. al. (2008) basado en Faist Emmenegger et. al. (2003)*



Compresión y transporte





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



Proceso	Cantidad	Unidad
Pozo de exploración y producción en continente	18	Km
Arena	712000	ton
Acero, No aleaciones, secundarios	3800	ton
Acero, Aleaciones pesadas, secundarios	8100	ton
Concreto	10463	m ³
Cobre	425	ton
Transporte,carretera	74406310	tkm
Transport, FFCC	7153175	tkm
Vida útil	30	Años
Acero para reciclado	11900	ton
Acero para reciclado	425	ton
Concreto para relleno inerte	25111	ton
Exploración por petróleo, gas natural y minerales sólidos	54000000	USD

Datos del LCI para la inyección en acuífero salino profundo. La mayor parte de Koorneef et al (2008) y de exploración de IEA GHG



Dado que la inyección aporta en el proceso de recuperación de hidrocarburos, esta modalidad de inyección se vuelve menos demandante de energía y **disminuye a sólo de 94 kWh/ton** de hidrocarburo en lugar de 138 kWh/ton .

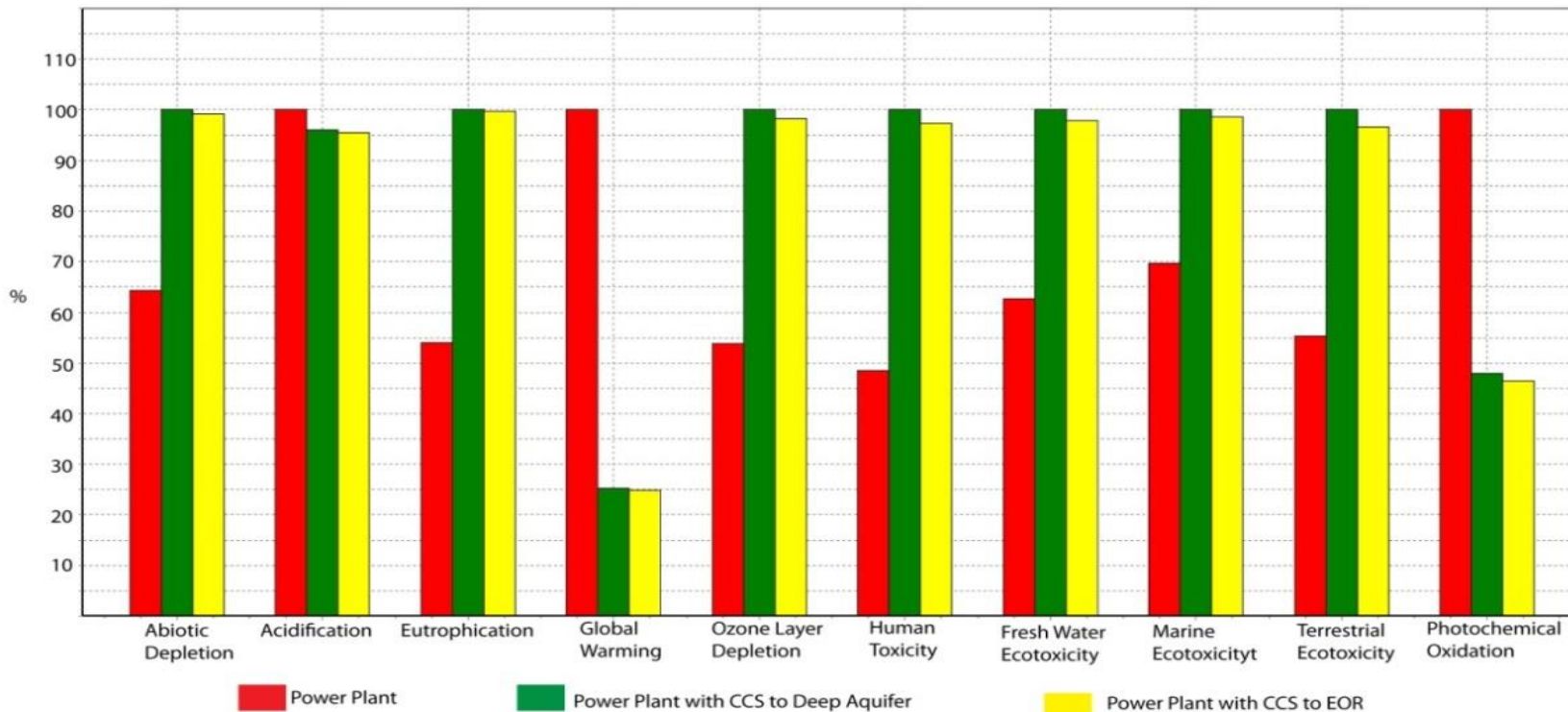
Como este proceso ahorra una cierta cantidad de energía, es posible que el proceso de EOR **aquí bosquejado sea demasiado simplista y subestime los verdaderos impactos ambientales,** pero es consistente con lo establecido en los límites del sistema





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. La evaluación se llevó a cabo con el método CML 2001 adicionando el impacto del MEA a escala mundial de 1995.



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 ₂ eq	0.0033	0.00317	0.00315
Eutroficación	kg PO ₄ ³⁻ eq	0.000397	0.000736	0.000734
Calentamiento global	kg CO ₂ 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 ₂ H ₄	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.

1. La existencia previa de la infraestructura de inyección
2. Proviene de que la inyección de CO₂ es un proceso ya existente por sí mismo en la industria petrolera que en términos generales permite un ahorro de energía en el balance general energético con la modalidad de CCS.



Agotamiento abiótico

Mide el desgaste de recursos materiales del planeta, esencialmente combustibles fósiles y minerales y se expresa en kg de antimonio equivalentes (Sb)



Los dos escenarios de CCS tienen un impacto significativo en esta categoría; **0,00786 kg** Sb para la central térmica; 0,0122 y 0,0121 para las opciones de acuífero ASP y EOR respectivamente (56% y 54%).

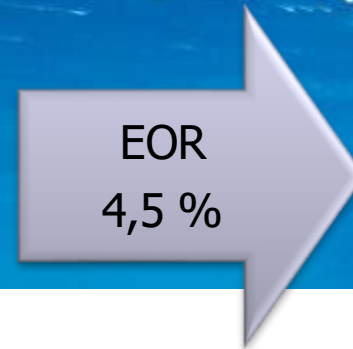
Otras aportaciones al incremento de la categoría de agotamiento abiótico, ciertamente menores, provienen de los materiales de construcción del proceso de CCS.

Significa el potencial de acidificación en el aire o el agua, expresada en kg SO₂ equivalentes.

Se nota una ligera reducción en el impacto al ambiente por el uso de los sistemas con CCS.



ASP
3,9%



EOR
4,5 %

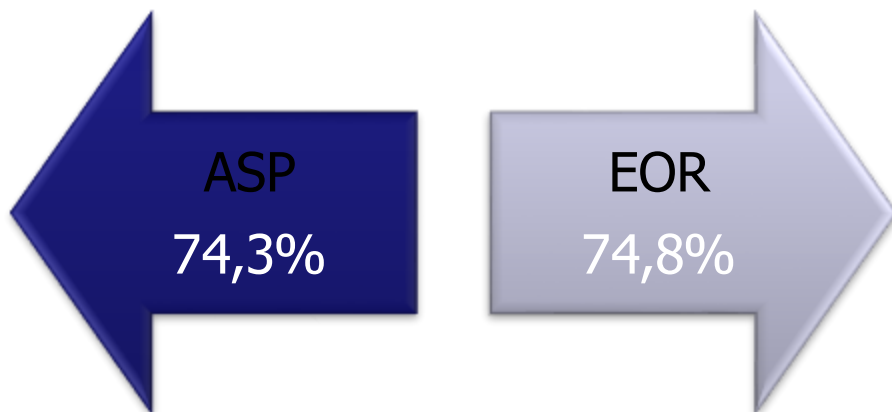
Los químicos que más contribuyen a la acidificación son los NO_x, la amonía, los SO₂ y N₂O.



Acidificación

En todo el proceso completo

reducciones de SO₂



Reduce el SO₂ y NO_x de los gases de combustión

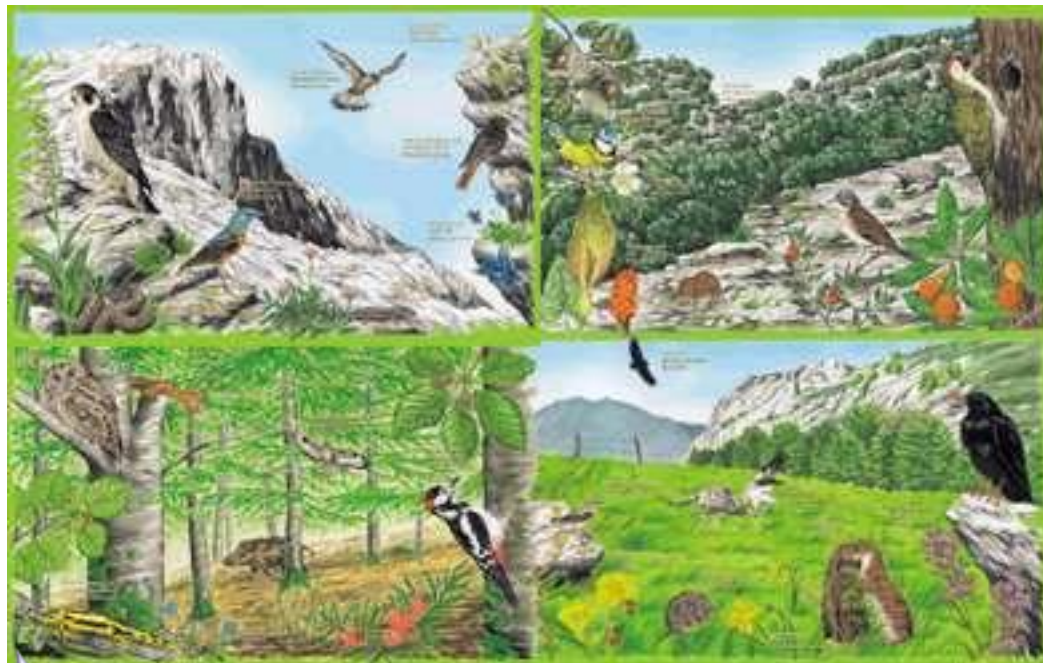


En el caso de los NO_x la reducción se compensa por la emisión en otras partes del proceso y es finalmente la reducción del SO₂ del proceso de captura que causa realmente la reducción en el proceso final de CCS.

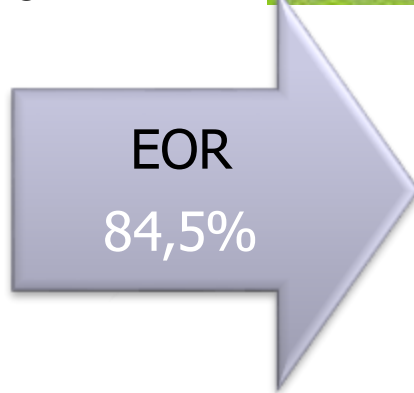
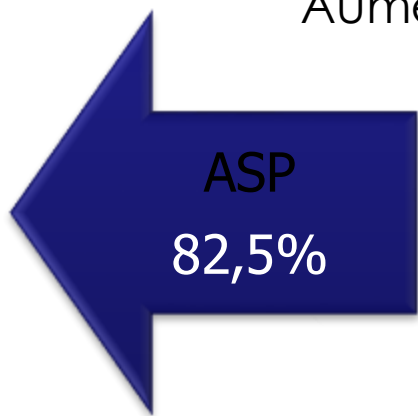


Eutroficación

Mide el impacto de los micronutrientes adicionales a los ecosistemas, estimados en kg PO₄ equivalentes.



Aumento



Se debe a los materiales de construcción y exploración al igual que las emisiones del proceso de captura, específicamente **amonia** que es leve en comparación con el uso de carbón.



Químicos

- Con el mayor impacto son los NOx del proceso de captura y amoníaco en el aire y los fosfatos y nitratos al agua.

- no es suficiente para equilibrar las emisiones adicionales de la reducida eficiencia de la planta y los materiales y transportes extras necesarios para la infraestructura de CCS.

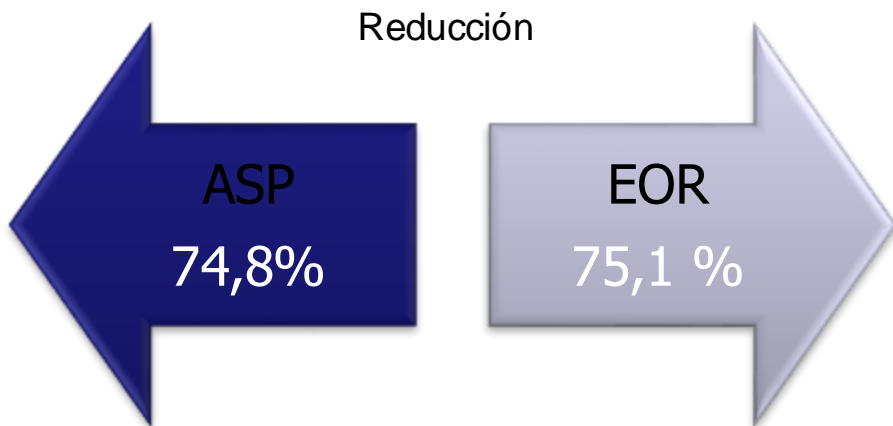


Calentamiento global

Se estima el potencial de calentamiento global en términos de calentamiento de la atmósfera en la escala de 100 años definida por el IPCC. (kg CO₂ equivalentes).



La reducción de esta categoría es el **objetivo** de la instalación de una central con CCS.



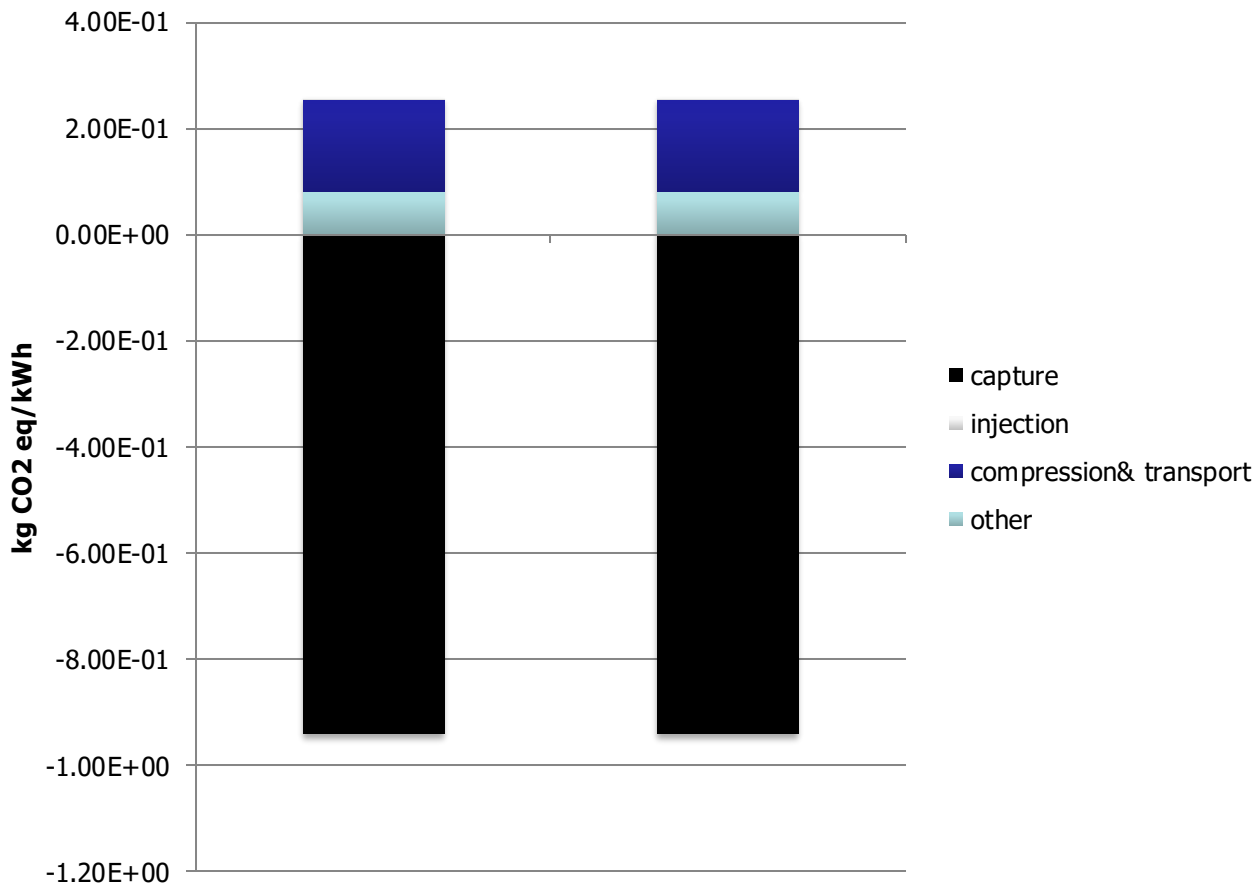
de 1,022 kg CO₂ eq / kWh a 0,257 en el caso ASP y 0,254 para EOR

Otros contribuyentes son el metano, NO₂, CO y etano.



Calentamiento global

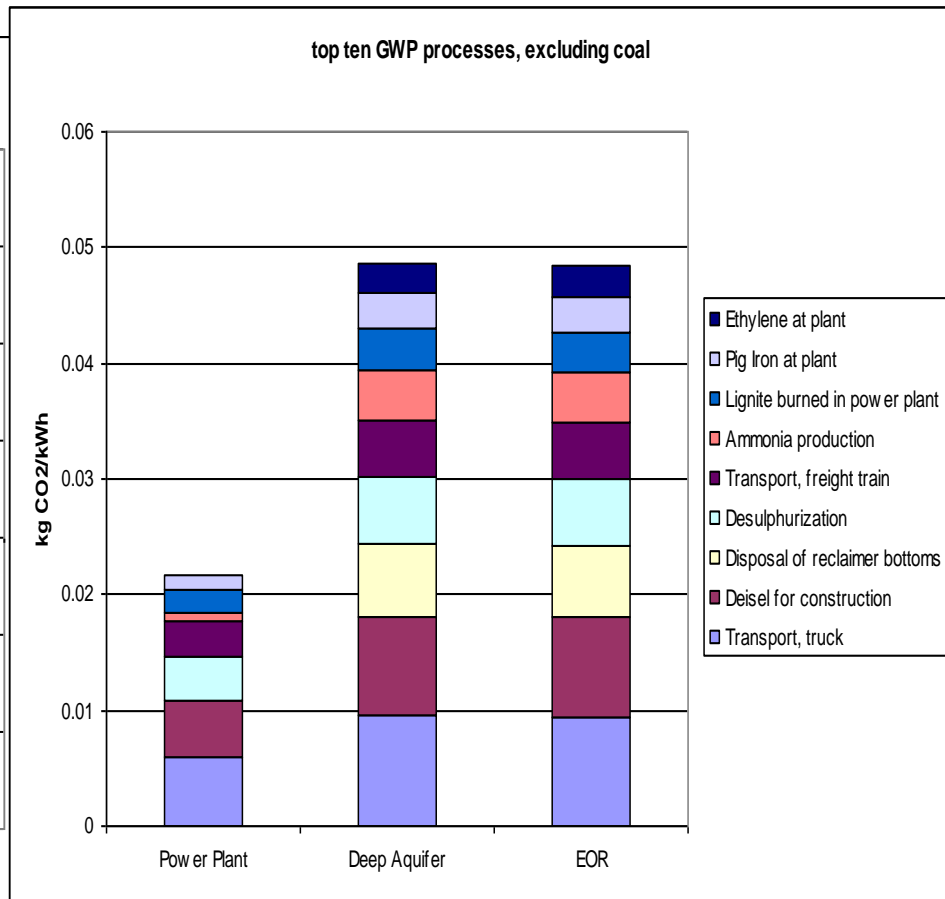
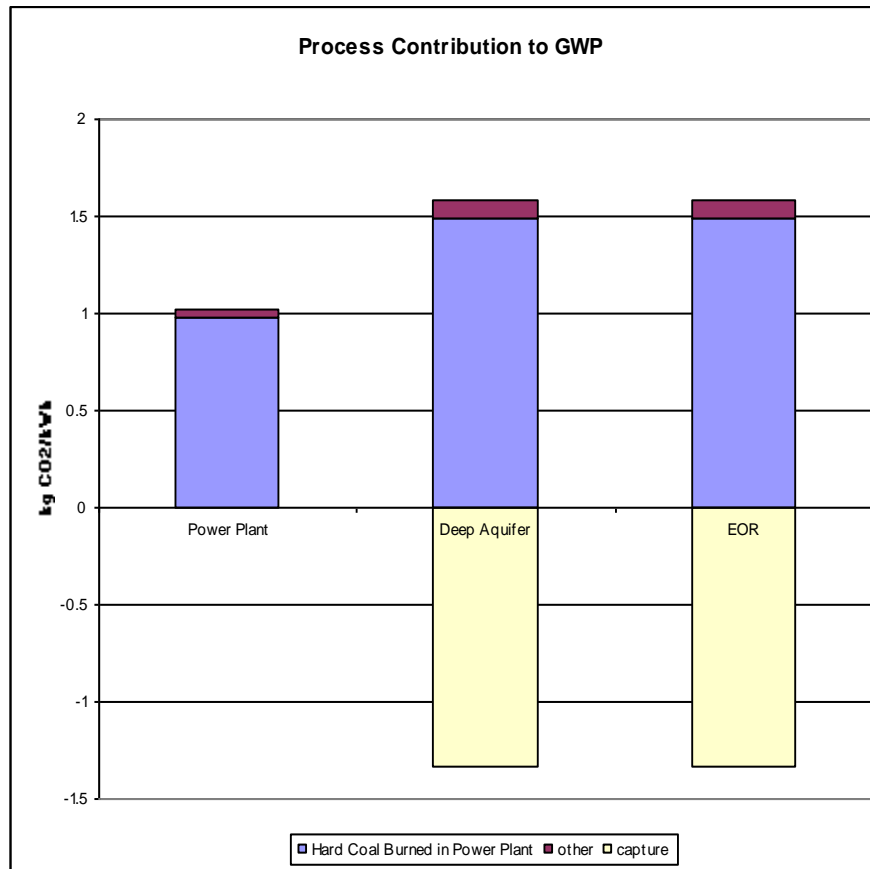
Contributions to GWP



Contribución a la categoría de calentamiento global en la cadena de CCS. La barra de la izquierda corresponde al sistema ASP y la derecha al EOR. La energía de la compresión y transportes contribuyen mucho, mientras que el impacto por la inyección es leve.



Calentamiento global



Contribución por proceso a la categoría de calentamiento global. Izq. Contribución general, con mucho, el mayor es el carbón. Der- Desglose de los 10 más importantes, excluyendo el carbón.

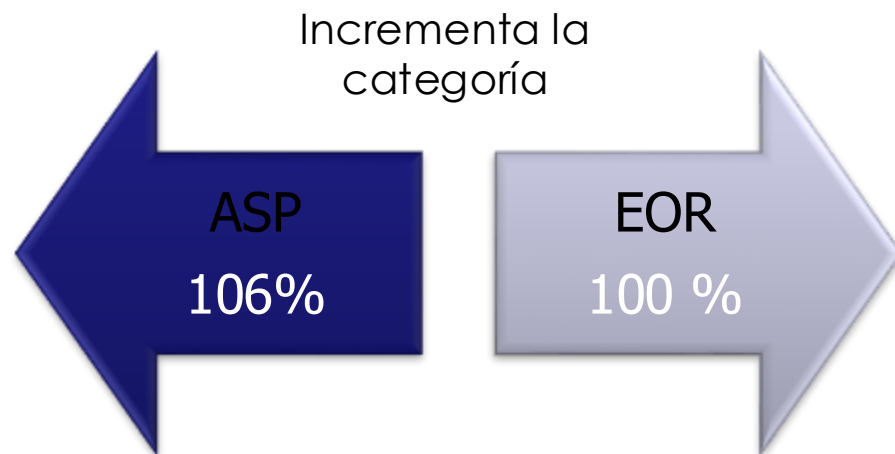


Toxicidad humana

En humanos se refiere al impacto a la salud humana por sustancias tóxicas y se mide en **kg de 1,4 diclorobenceno (DB) equivalentes**.

Los sistemas de CCS mostraron un impacto mayor en esta categoría que provienen del incremento de quema de carbón y de la disposición de las cenizas de carbón.

La fabricación del solvente MEA es el proceso con el segundo mayor impacto, contribuyendo con el 22% del impacto del proceso CCS



Los químicos que importan más al crecimiento de esta categoría de impacto son los hidrocarburos poliaromáticos, cromo, óxido de etileno, arsénico, vanadio y selenio.



Ecotoxicidad en agua dulce

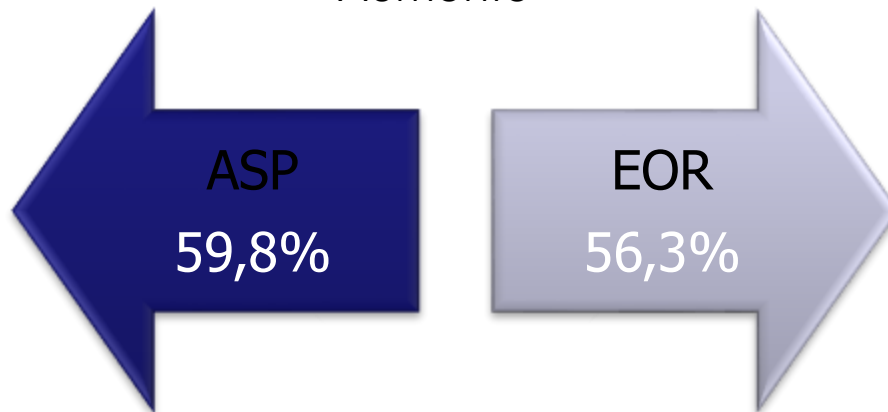
Mide los efectos tóxicos de los procesos de los medios acuáticos continentales y se mide también en **kg de 1,4 DB equivalentes**.

En este caso no es directamente la quema del carbón lo que causa el impacto, sino el depósito de la ceniza, cuyo volumen se incrementa aún más por la baja en eficiencia de la central.

emisiones de vanadio, berilio, nickel, cobalto, cobre selenio y molibdeno

que se lixivian de los rellenos o tiraderos típicos.

Aumento

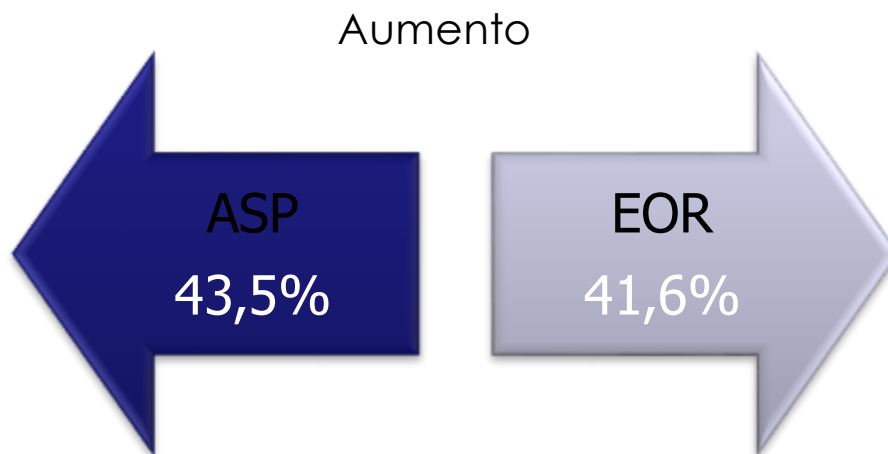




Ecotoxicidad marina

Se refiere al potencial de daño a los sistemas oceánicos y también se determina en **kg de 1,4 DB equivalentes**.

También su dominio en las emisiones provenientes de los residuos depositados como ceniza, berilio, vanadio, selenio, níquel, cobalto y molibdeno en el agua, y selenio, berilio, ácido fluorhídrico y barita en el aire.



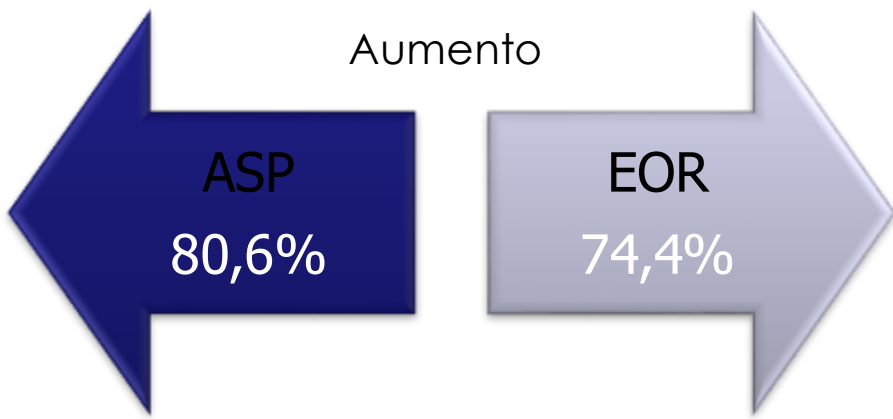


Ecotoxicidad terrestre

Los procesos más importantes contribuyendo al incremento son la quema de carbón y la producción de acero.

Mide el impacto tóxico de las sustancias emitidas a los ecosistemas terrestres y se mide en **kg de 1,4 DB equivalentes**.

Las emisiones que más aportan son el mercurio, arsénico, vanadio y cromo VI al aire.

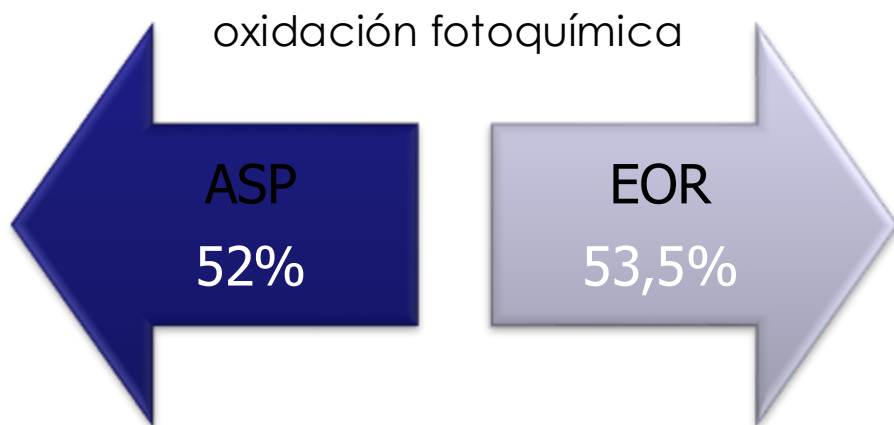




Oxidación fotoquímica

Estima la formación de compuestos químicos tales como el ozono y CO que reaccionan con la luz del sol para producir compuestos que constituyen smog.

Se mide en **kg de etileno equivalente**



se debe a la reducción de SO_2 ,
CO, metano, etano, pentano
butano y tolueno



Análisis de sensibilidad

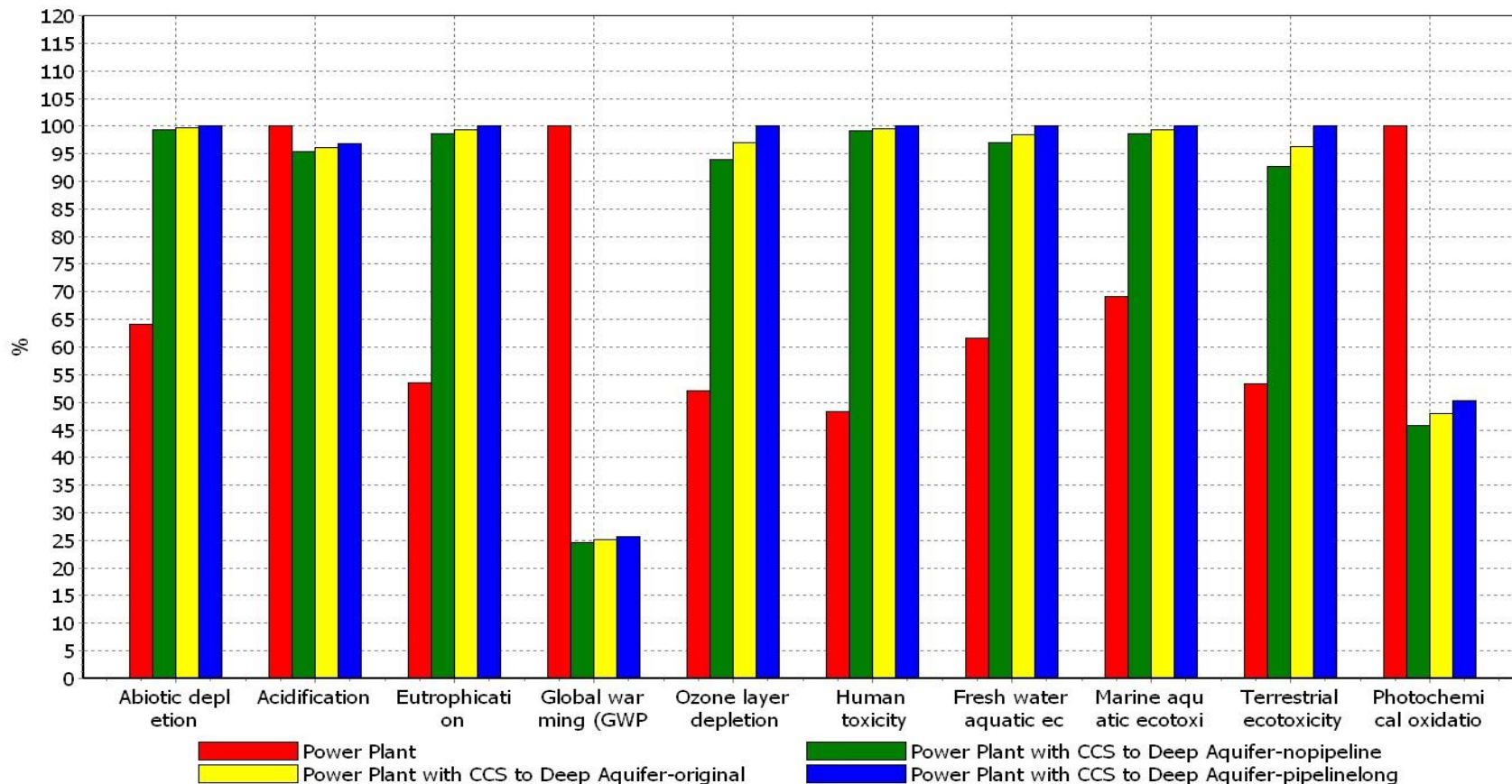
El paso en el que **se varían algunos parámetros** con el fin de entender mejor los resultados generales ante un posible cambio de escenario.



El primero parámetro probado es la longitud de gasoducto. La longitud utilizada fue de 250 km pero se comparó con longitudes de 0 y 500 km. El segundo fue una variación en la eficiencia térmica.



Análisis de sensibilidad

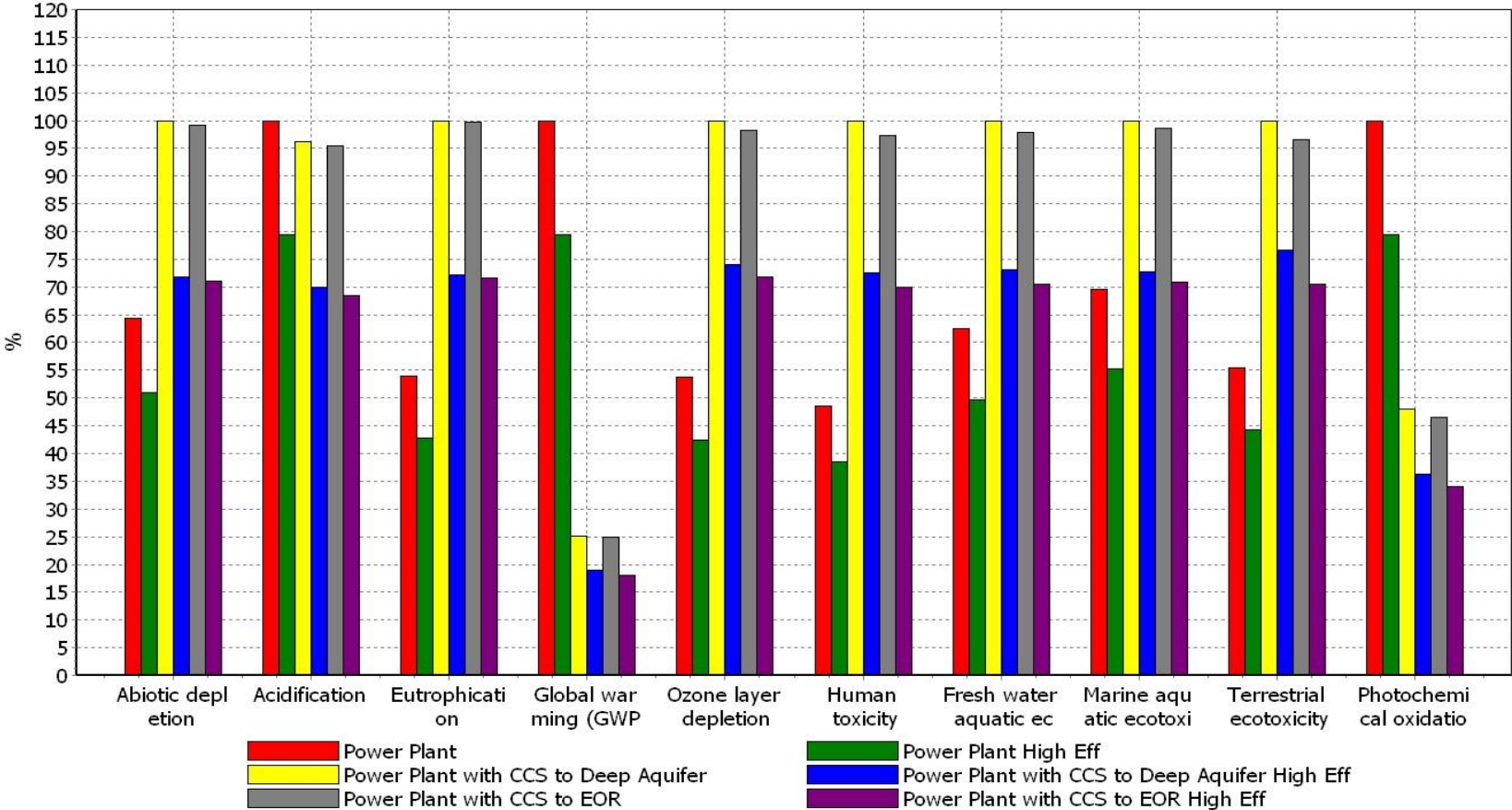


Comparing 1 kWh 'Power Plant', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer-nopipeline', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer-original' and 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer-pipeline long'

Cambios en el impacto debidos a la variación de la longitud de gaseoducto. El color rojo se refiere a la planta de referencia y el resto se refiere a los sistemas con CCS con ASP. El color verde significa inyección en sitio, el amarillo con 250 km y el azul con 500 km.



Análisis de sensibilidad



Comparing processes; Method: CML 2 baseline 2000 with MEA V2.04 / World, 1995 / characterization

Cambios en el impacto con el incremento de la eficiencia de la central. Se muestran todos los casos para el sistema de referencia con 35,7% y una supercrítica de 45% de eficiencia.



Análisis de sensibilidad

Uno de los factores que afecta más a la reducción de la eficiencia en los casos con CCS **es la energía requerida** para el proceso de captura, específicamente por los requerimientos de calor para el proceso de regeneración de MEA.

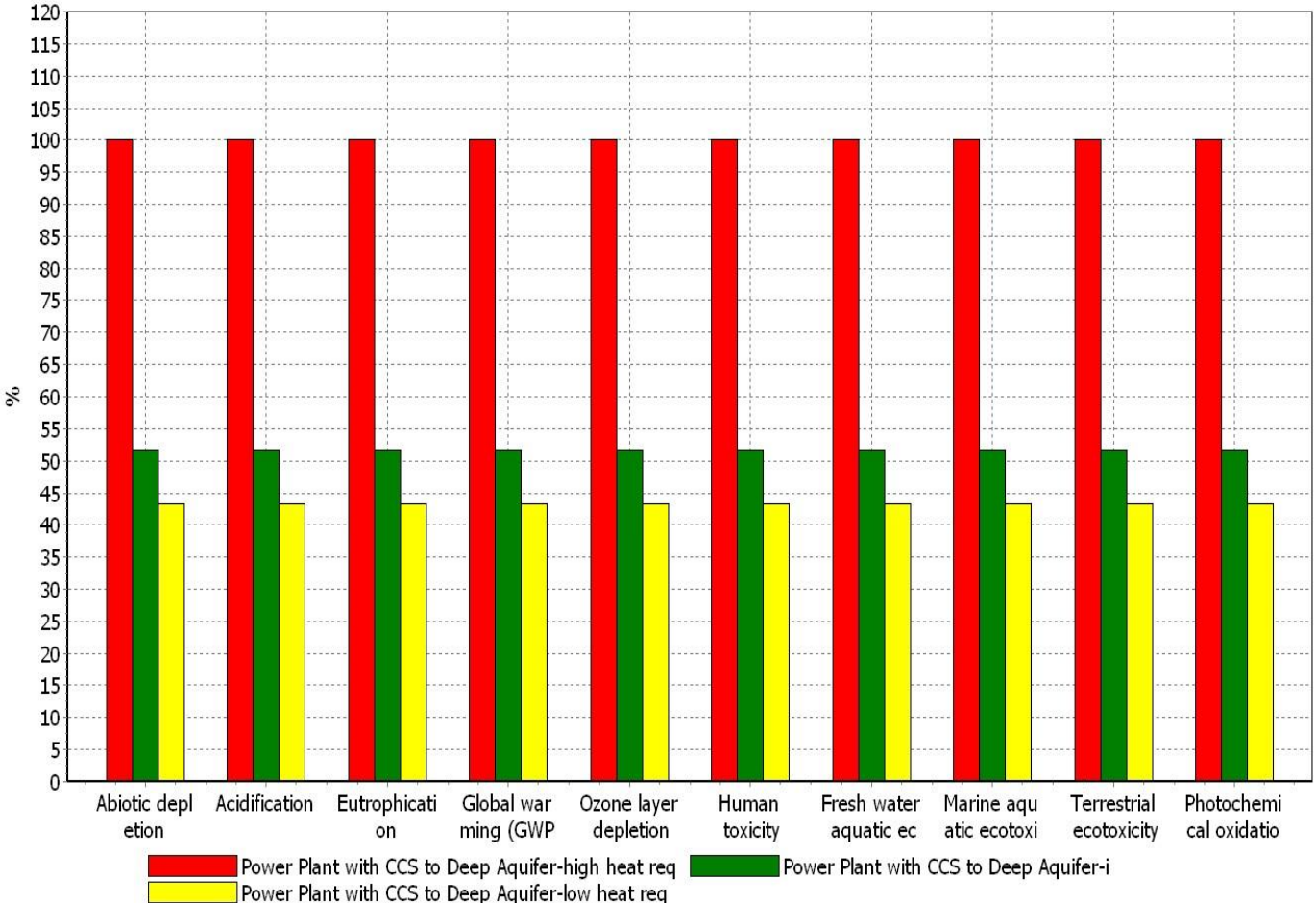
La energía total **es una combinación del calor estimado** que se requiere directamente por el vapor y el factor de equivalencia de energía para la conversión de vapor a electricidad, ambos de los cuales tienen rangos.

- Los rangos de requerimientos de la literatura de son de 3,5 a 6 $\text{GJ}_{\text{vapor}}/\text{ton CO}_2$.
- Los factores de equivalencia de energía de 0,094 $\text{GJ}_e/\text{GJ}_{\text{vapor}}$ a 0,329 $\text{GJ}_e/\text{GJ}_{\text{vapor}}$.
- Con el uso de estos parámetros el límite superior de los requerimientos de calor fue de 572 kWh/ton CO_2 y el inferior fue de 115 kWh/ton CO_2 ;
- ambos rangos se muestran junto al de 245 kWh/ton CO_2 usado en este estudio.
- La reducción en los requerimientos de energía reducen todas las categorías en porcentajes iguales, pero sin llegar a ser lineal. Mimura, T., H. Simayoshi, et al. (1997).



Análisis de sensibilidad

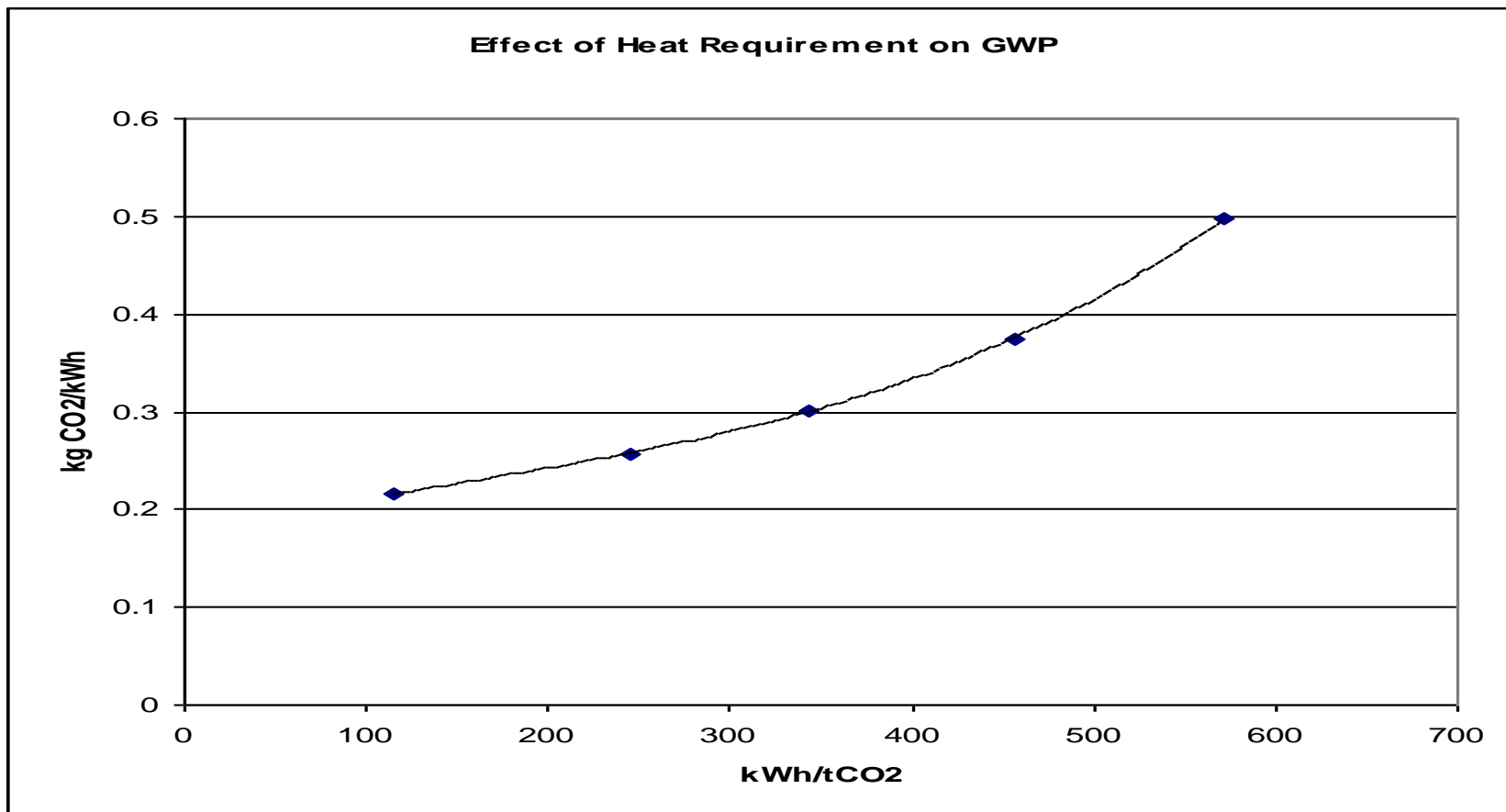
Comparación de impactos para sistemas CCS con ASP con variaciones en los requerimientos de calor para el proceso de captura. En rojo el límite superior de 572 kWh/tCO₂, verde en el caso del estudio de 245 kWh/tCO₂ y amarillo el límite inferior de 115 kWh/ tCO₂.



Comparing 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer-high heat req', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer-i' and 1 kWh 'Power Plant with CCS to Dee



Análisis de Sensibilidad



Relación entre los requerimientos de energía para la captura y el impacto de la categoría de GWP. Aunque no se trata de una relación lineal, conserva la congruencia de comportamiento. Todas las categorías de impacto reaccionan del mismo modo.



Normalización , Ponderación y Análisis de marcador único

Se aplican para saber qué escenario es más sano o dañino ambientalmente.

se utilizó el Ecoindicador 99

ponderado igualitario (11a)

- perspectiva de muy largo plazo
- incluye sustancias para las cuales existan datos a cerca de sus implicaciones ambientales
- daños no se pueden evitar
- combustibles fósiles no se pueden sustituir
- el gas y el petróleo se podrían reemplazar por carbón
- **La central de referencia se comporta un poco mejor que las opciones de CCS**

perspectiva jerárquica (10b)

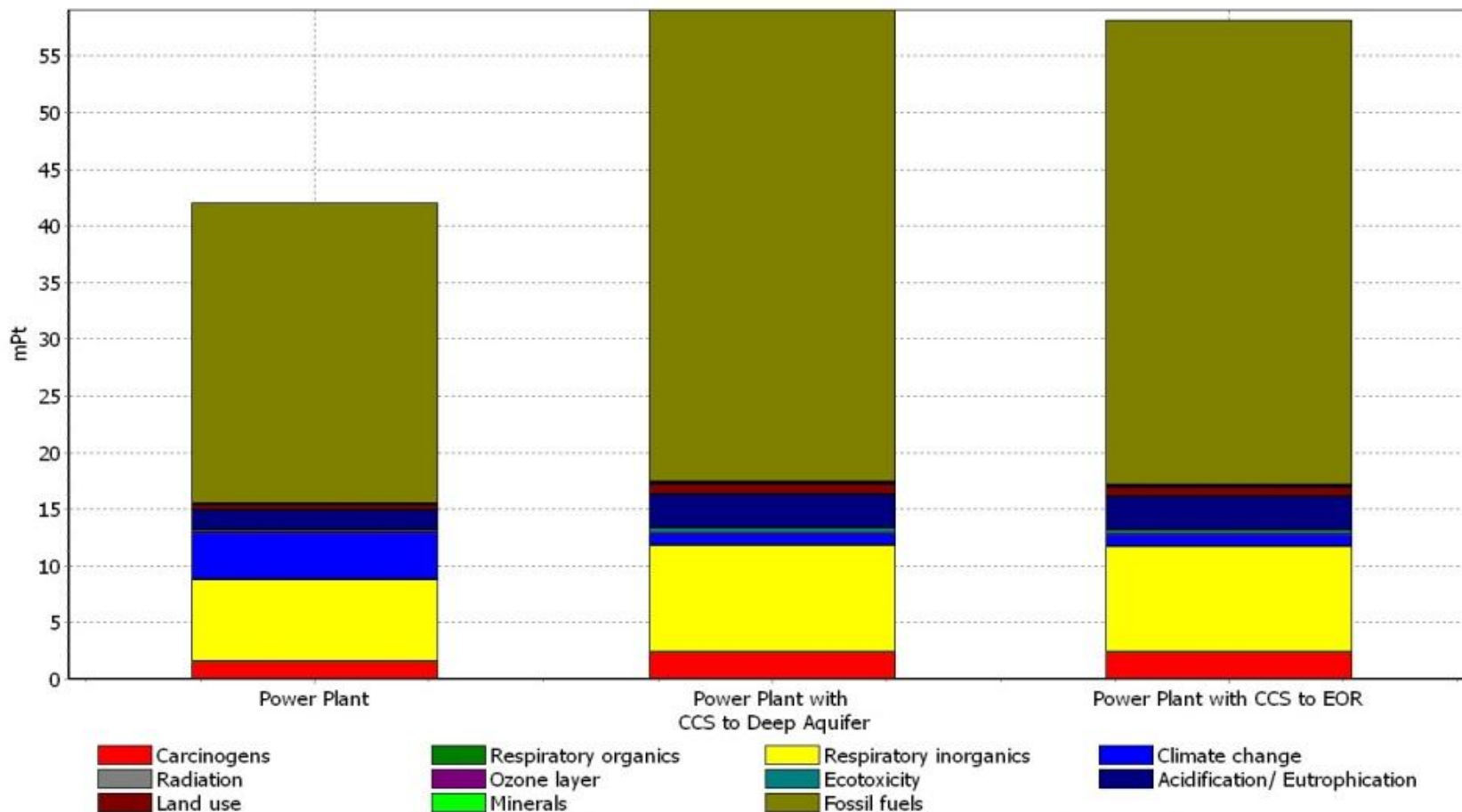
- recomendada por el ecoindicador
- las sustancias que se involucran son aquellas sobre las que hay consenso sobre los efectos que tienen
- Combustibles fósiles no se pueden sustituir con facilidad
- petróleo y el gas se reemplazan por carbón
- daños ambientales se pueden evitar por medio de un manejo adecuado

perspectiva individualista (10c)

- periodo más corto, menos de 100 años
- sustancias se incluyen sólo si hay pruebas suficientes de sus efectos
- combustibles fósiles se asumen como de reservas infinitas por lo que no se incluyen en la ponderación
- daños se estiman resarcibles por medio de avances en la tecnología y la economía
- escenario más optimista



Normalización , Ponderación y Análisis de marcador único

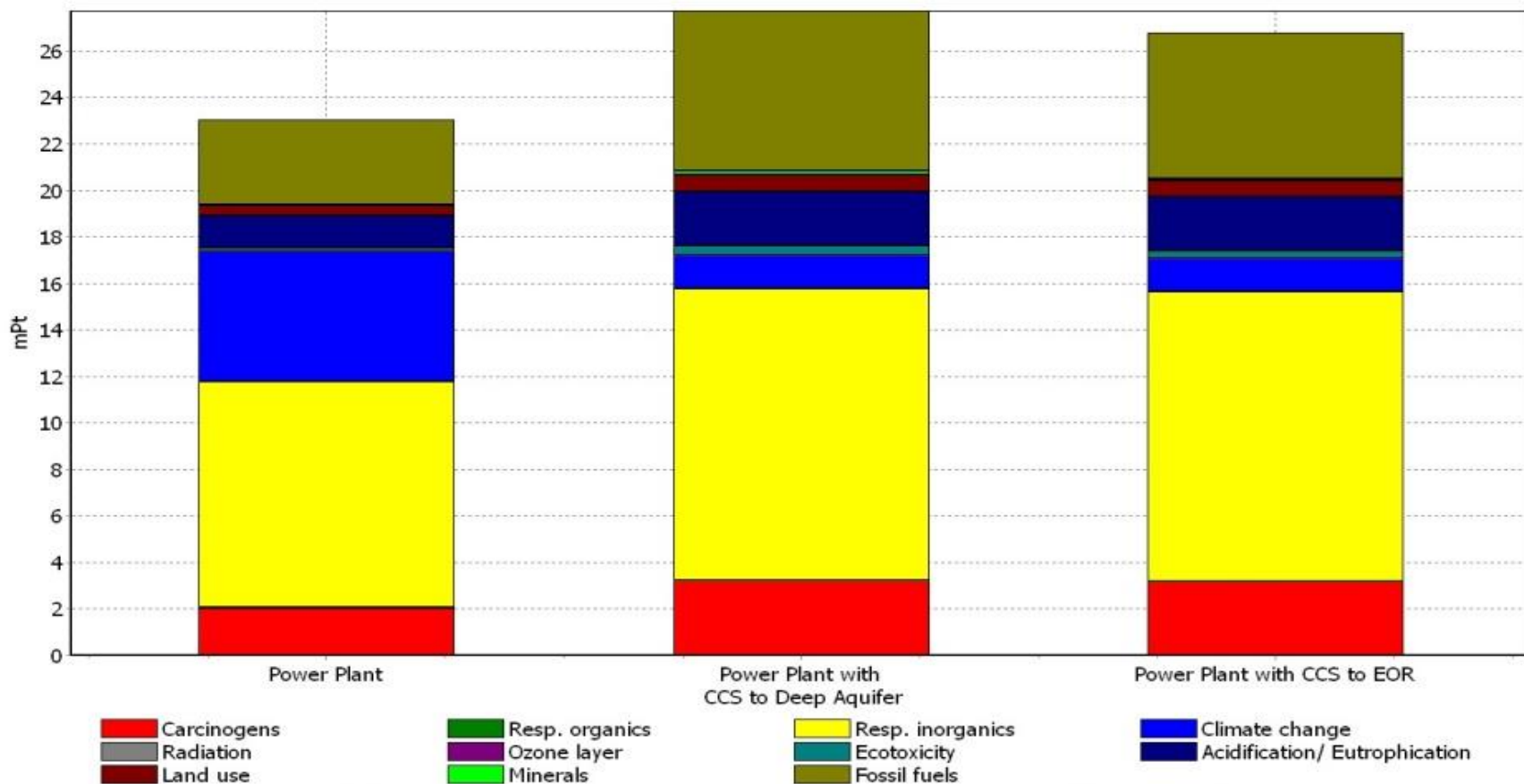


Comparing 1 kWh 'Power Plant', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer' and 1 kWh 'Power Plant with CCS to EOR'; Method: Eco-indicator 99 (E) V2.06 /

Análisis de marcador único usando las diferentes ponderaciones del Ecoindicador 99. a) Perspectiva igualitaria



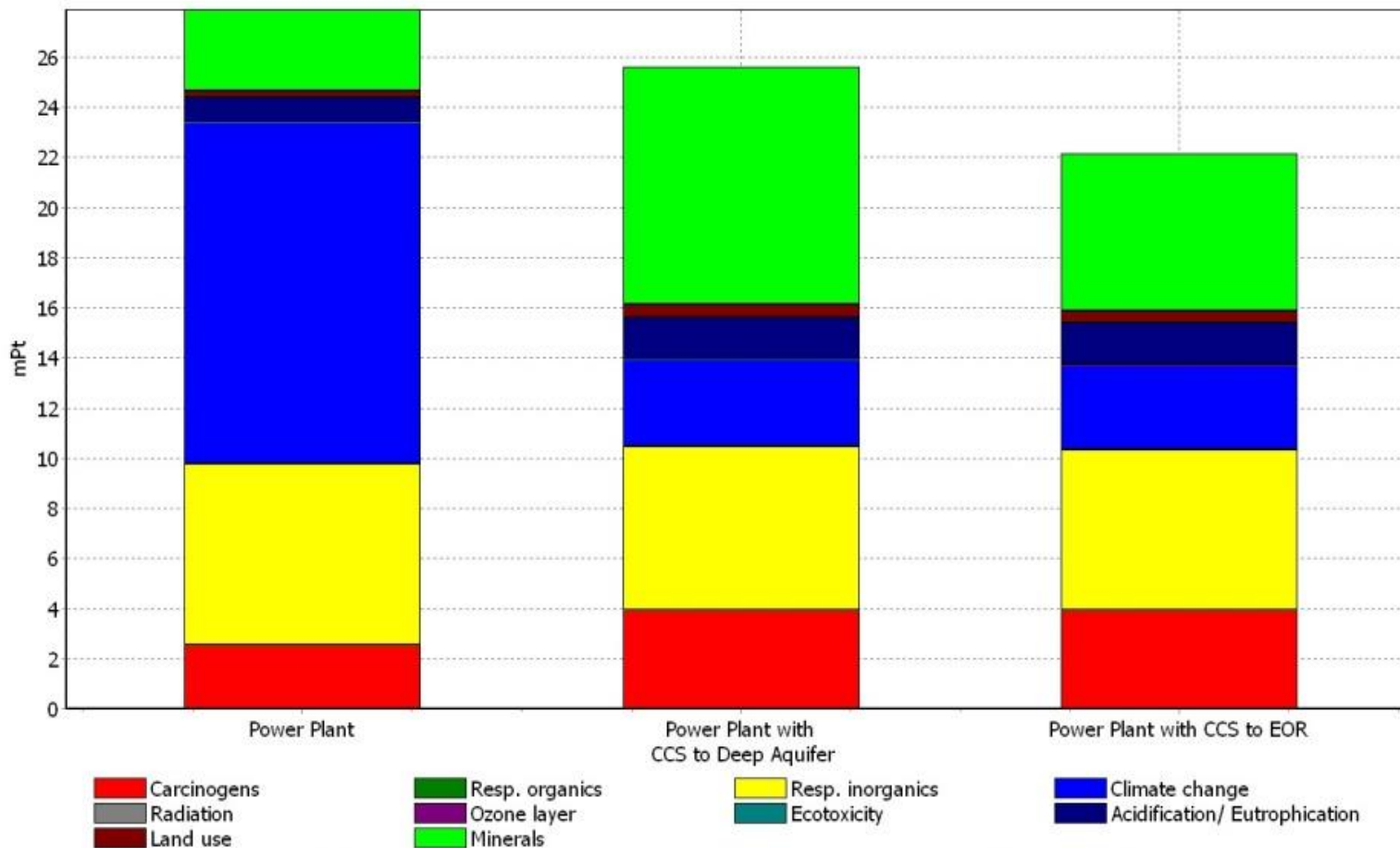
Normalización , Ponderación y Análisis de marcador único



Comparing 1 kWh 'Power Plant', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer' and 1 kWh 'Power Plant with CCS to EOR'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.06 /



Normalización , Ponderación y Análisis de marcador único



Comparing 1 kWh 'Power Plant', 1 kWh 'Power Plant with CCS to Deep Aquifer' and 1 kWh 'Power Plant with CCS to EOR'; Method: Eco-indicator 99 (I) V2.04 / E

Análisis de marcador único usando las diferentes ponderaciones del Ecoindicador 99. c) Individualista



Implicaciones de una central con CCS para México

En el estudio se ha mostrado que la tecnología de CCS con almacenamiento geológico:

- ✓ efectivamente reduce el impacto de GWP en un 75%.
- ✓ algunos otros beneficios adicionales como son la disminución de los fenómenos de acidificación y oxidación fotoquímica.
- ✓ el resto de las categorías de impacto mostraron incrementos.

Desventajas para México



- dependencia tecnológica.
- centrales térmicas con las que cuenta y que han servido de referencia son de **régimen subcrítico**.



Conclusiones

- Se estima que el panorama podría favorecer en alguna medida si se estuviera en posibilidades de aspirar a contar con una central que de origen fuera de eficiencia al menos supercrítica.
- Sustituir cuatro centrales térmicas convencionales de la misma capacidad instalada como las que ahora se encuentran en México por cuatro centrales supercríticas aportarían el mismo beneficio en términos de GWP que si se instalara un sistema CCS, con la ventaja adicional que varias de las categorías de impacto disminuirían.
- Tema económico en México, un sistema de CCS sólo es redituable mediante la opción de EOR*.
- El sistema EOR tiene menores impactos que los de ASP

* Lacy, T. R. (2005). Geologic Carbon Dioxide Sequestration for the Mexican Oil Industry: An Action Plan. Massachusetts, Estados Unidos de América., Massachusetts Institute of Technology. **Maestro en Ciencias**: 86.