

TECNOLOGÍAS ALTERNAS PARA UN DESARROLLO ENERGÉTICO SUSTENTABLE

**La Estrategia Nacional de Energía; Retos y
Oportunidades**
II Congreso Conjunto AMEE, WEC.MEX, y AME
4 de noviembre 2010

Dr. Pablo Mulás del Pozo

Investigador Titular del Instituto de Investigaciones Eléctricas
Director Ejecutivo del Capítulo México, Consejo Mundial de
Energía

INDICE

- **Introducción**
- **Las Opciones Tecnológicas en la Generación Eléctrica.**
- **Las Opciones Tecnológicas en el Sector Transporte**
- **- Reflexiones Finales**

INDICE

- **Introducción**
- Las Opciones Tecnológicas en la Generación Eléctrica.
- Las Opciones Tecnológicas en el Sector Transporte
- .- Reflexiones Finales

Greenhouse Gases Emission in Mexico (Mt CO₂e)

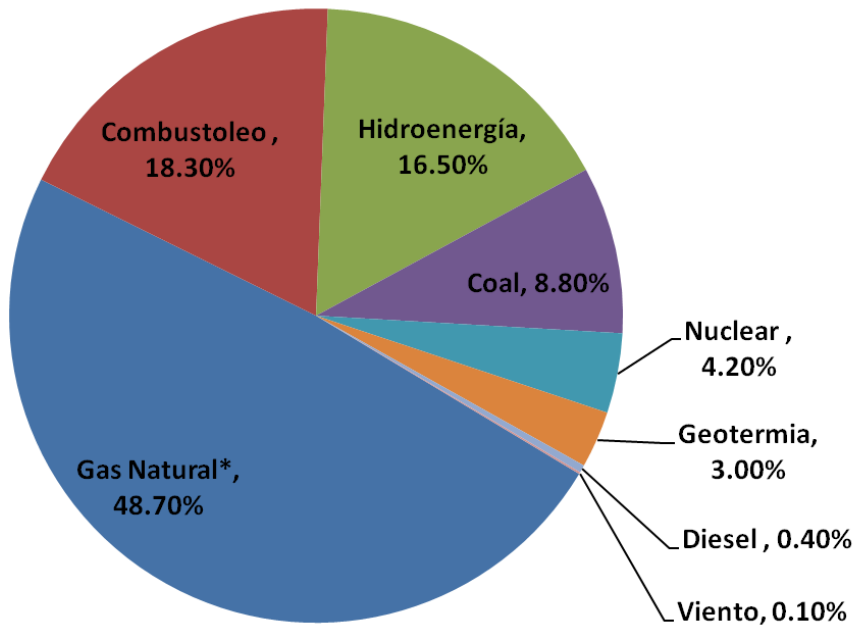
Energy Production				196.53
- Oil + Gas Sector	84.07			
- Electricity Sector	112.46			
End Use of Energy				233.50
- Transport Sector	144.63			
- Industrial Sector	56.83			
- Domestic, Commercial Sector	24.88			
- Others	7.16			
Agricultural, Forestry and Land Uses				131.56
Waste				100.42
Industrial Processes				53.29
			Total	715.3

Ref. Programa Especial de Cambio Climático 2009 - 2012, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, México, agosto 28, 2009 (www.semarnat.gob.mx)

GENERACIÓN ELÉCTRICA 2008

(servicio público)

Total: 235,871 GWh



GWh de energías fósiles: 76.2%

GWh de energías limpias; 23.8%

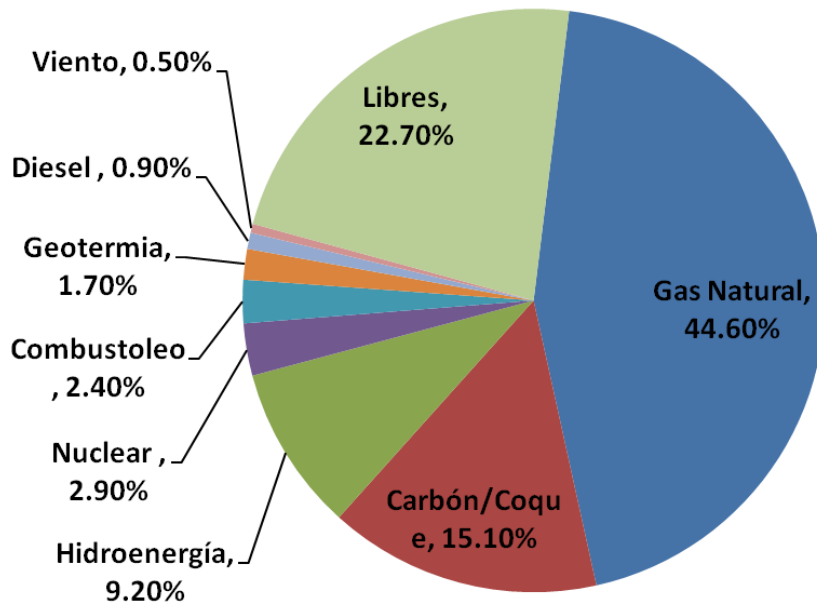
*Incluye a los Productores Independientes de Electricidad

Nota: además el sector privado genera 23,599 GWh para usos propios

Ref. *Prospectiva del sector Eléctrico 2009.2024, SENER*
(www.sener.gob.mx)

Generación Eléctrica 2024 (servicio público)

Total: 415,899 GWh



GWh de energías fósiles: 63.0%

GWh de energías limpias: 14.3%

Si a estas últimas les adicionamos el 22.7% de “libres”, da 37%, con lo que se cumple la meta de 35% de la ENE.

Estos 22.7% de GWh equivalen en la Prospectiva a 13,632 MWe. Su composición estará por determinarse.

Supuestos:

.- tmca demanda elect. 2009-2024: 3.6%

.- tmca PIB 2009-2024: 2.7%

*Ref. Prospectiva Del Sector Eléctrico 2009-2024,
SENER.(www.sener.gob.mx)*

Parque Vehicular en México

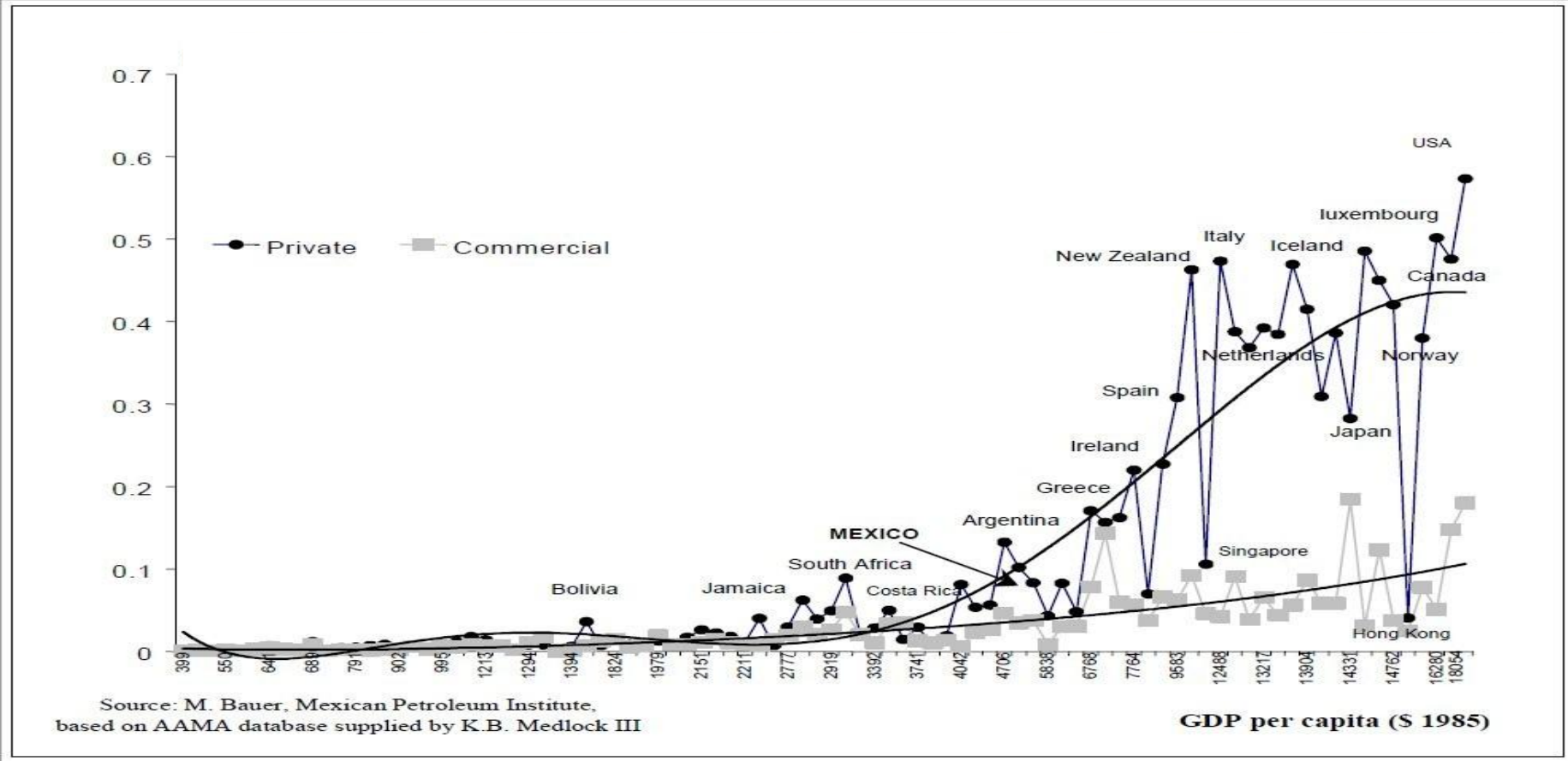


Figure 1. Vehicle registrations per capita as a function of GDP PPP per capita.
Ref. Drivers of the Energy Scene, World energy Council, 2004 (www.worldenergy.org)

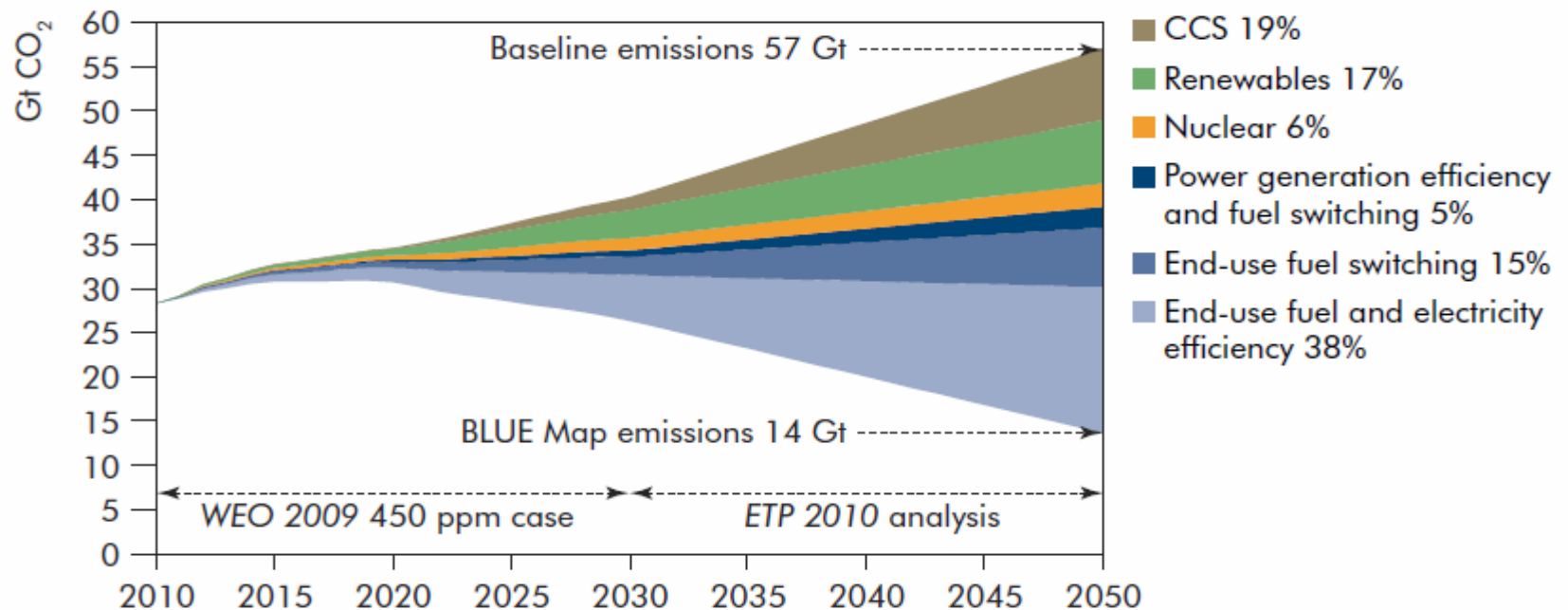
Proyección Parque Vehicular

Projected Vehicle Park Size by Fuel Type

(thousands)				
	2008	2017		Annual Ave. Growth Rate
Gasoline or Petrol	19,442.10	32,887.50		5.4
Diesel	936	1,544.30		5.7
LPG	189.8	92		-8.6
Natural Gas	3.1	15.4		17.2
	20,571.00	34,539.20		5.3

Ref. Prospectiva Sector Petrolíferos 2008 - 2017, SENER, 2009 (www.sener.gob.mx)

Figure 2.2 ► Key technologies for reducing CO₂ emissions under the BLUE Map scenario



Key point

A wide range of technologies will be necessary to reduce energy-related CO₂ emissions substantially.

Ref. Energy Technology Perspectives; Scenarios and Strategies to 2050, IEA/OECD, 2010

INDICE

- Introducción
- **Las Opciones Tecnológicas en la Generación Eléctrica.**
- Las Opciones Tecnológicas en el Sector Transporte
- .- Reflexiones Finales



Opciones para la Generación Eléctrica Centralizada y Decentralizada



Las Energías Renovables

Las Firmes: La Hidroenergía (gran escala)

La Geotermia

**La Biomasa (biocombustibles sólidos, líquidos y
gaseosos)**

**Las Energías Oceánicas (olas?, mareas, corrientes?,
gradientes térmicos)**

Las Intermitentes: La Energía Solar (fotovoltaica y térmica)

La Energía Eólica

La hidroenergía (pequeña escala)

La Energía Nuclear

Las Energías Fósiles con Captura y Secuestro de Carbon

Eficiencia Energética

LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La Energía Eólica

PRINCIPALES PAÍSES (MWe)

- **EUA.....35,064 (9,996).....22.1%**
- **RP China.....25,805 (13,803).....16.3%**
- **Alemania.....25,777 (1,917).....16.3%**
- **España.....19,149 (2,459).....12.1%**
- **India.....10,926 (1,271).....6.9%**
- **Italia.....4,850 (1,114).....3.1%**
- **Francia.....4,492 (1,088).....2.8%**
- **Reino Unido.....4,051 (1,077).....2.6%**
- **Portugal.....3,535 (673).....2.2%**
- **Dinamarca.....3,465 (n.d.).....2.2%**
- **Resto del mundo.....21,391 (3,994).....13.4%**
- **Total.....158,505 (38,343).....100.0%**

Ref. Global Wind 2009 Report, GWEC, marzo 2010. () Mwe instalados en 2009. % del total instalado

MÉXICO

Proyectos en Operación

<u>Proyecto</u>	<u>Entidad</u>	<u>Esq.</u>	<u>Desarrollador</u>	<u>Equipo</u>	<u>FOC</u>	<u>MWe</u>
La Venta I.	Oax.	OPF	CFE	Vestas	94	1.6
La Venta II	Oax.	OPF	CFE	Gamesa	06	83.3
Parq. Eco. Mx.	Oax.	AA	Iberdrola	Gamesa	09	79.9
Eurus 1	Oax.	AA	Cemex/Acc.	Acciona	09	37.5
Eurus 2	Oax.	AA	Cemex/Acc.	Acciona	10	212.5
Gob. B.C.	B.C.	OPF	GBC/TPS	Gamesa	10	10.0
Bii Nee Stipa	Oax.	AA	Cisa-Gam.	Gamesa	10	26.3
La Mata/Vent.	Oax.	AA	EDF-EN	Clipper	10	<u>67.5</u>
Total						518.63

Ref. Información proporcionada por E. Zenteno, Presidente AMDEE (mayo 2010).

MÉXICO

Proyectos en Construcción

<u>Proyecto</u>	<u>Entidad</u>	<u>Esq.</u>	<u>Desarrollador</u>	<u>Equipo</u>	<u>FOC</u>	<u>MWe</u>
Fuerza Eol.	Oax.	AA	Peñoles	Clipper	11	50
La Venta III	Oax.	PIE	CFE/Iberdrola	Gamesa	11	101
Oaxaca I	Oax.	PIE	CFE/EYRA	Vestas	10	101
Oaxaca II,III,IV	Oax.	PIE	CFE/Acciona	Acciona	12	304
Los Vergeles	Tam.	AA	GSEER	Siemens	11	<u>161</u>
				Total.....		717

Ref. Información proporcionada por E. Zenteno, Presidente AMDEE (mayo 2010).

Proyectos en Desarrollo

<u>Proyecto</u>	<u>Entidad</u>	<u>Esq.</u>	<u>Desarrollador</u>	<u>Equipo</u>	<u>FOC</u>	<u>MWe</u>
Vientos del Istmo	Oax.	AA	Preneal	p.d.	14	396
Fuerza Eolica Ist.	Oax.	AA	Peñoles	Clipper	12	30
Bii Hioxio	Oax.	AA	Unión Fenosa	p.d.	14	228
Bii Stinú	Oax.	AA	Eoliatec Istmo	p.d.	13	164
Sto. Domingo	Oax.	AA	Eoliatec Pacifico	p.d.	14	160
Bii Nee Stipa	Oax.	AA	Cisa/Gamesa	Gamesa	14	288
Des. Eol. Mex.	Oax	AA	Renovalia	p.d.	14	228
Union Fenosa	B.C.	Exp.	GN/Union Fenosa	p.d.	14	400
Sempra	B.C.	Exp.	Sempra	p.d.	14	1,200
Fuerza Eólica	B.C.	Exp.	Fuerza Eólica	p.d.	14	<u>400</u>
Total.....						3,494

Ref. Información proporcionada por E. Zenteno, Presidente AMDEE (mayo 2010).

La Energía Solar

Para Generación Eléctrica

Vía directa: celdas fotovoltaicas

Vía térmica:

sistema torre central

sistema cilindros parabólicos

sistema platos parabólicos

Sistemas Fotovoltáicos

- En México.

Total instalados en 2008; 19.4 MWe

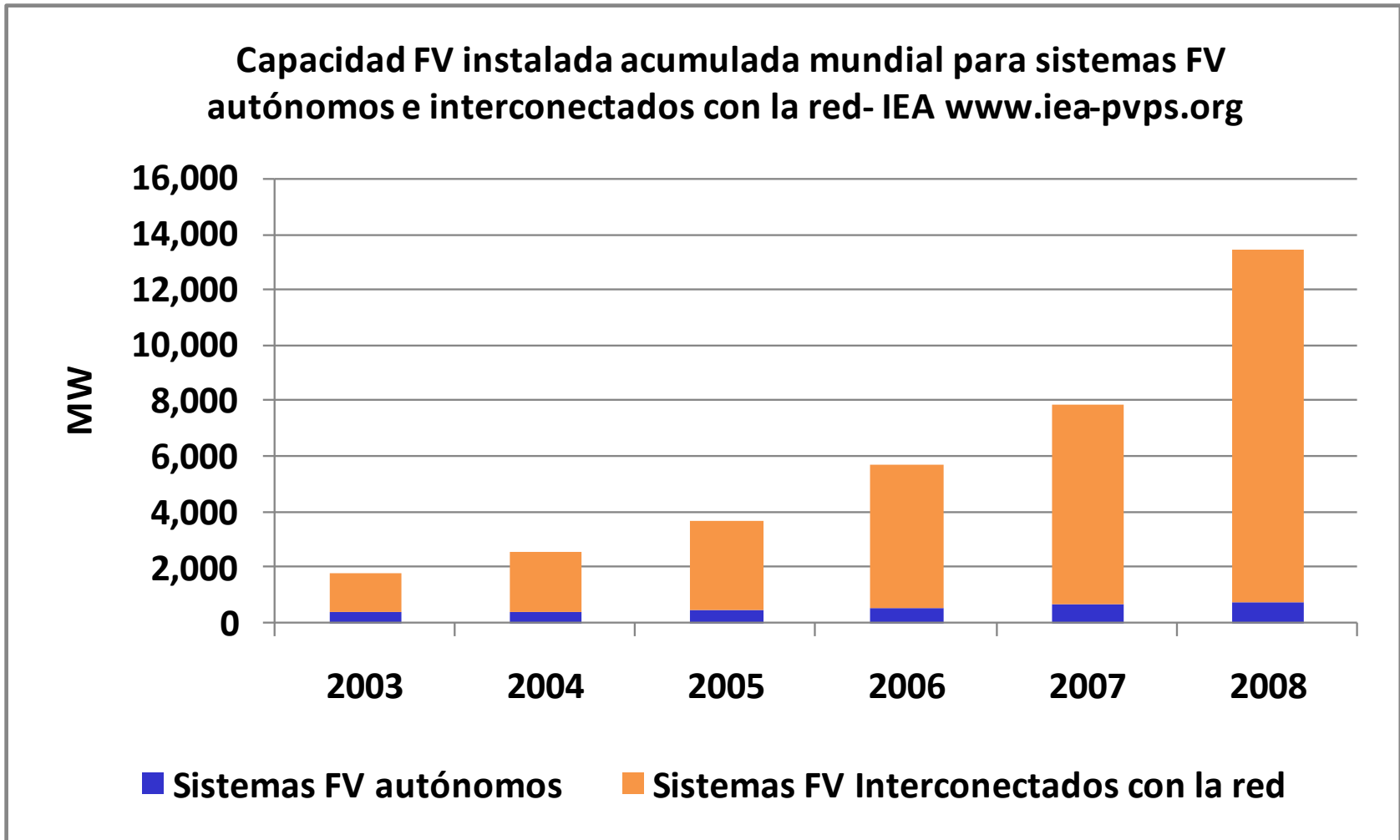
Total instalados en 2005; 16.6 MWe

Factor de planta: 25%

Horas promedio de insolación; 5-6 hrs/d

Ref. Balance Nacional de Energía 2008. SENER. 2009

Evolución Internacional de los SFVI





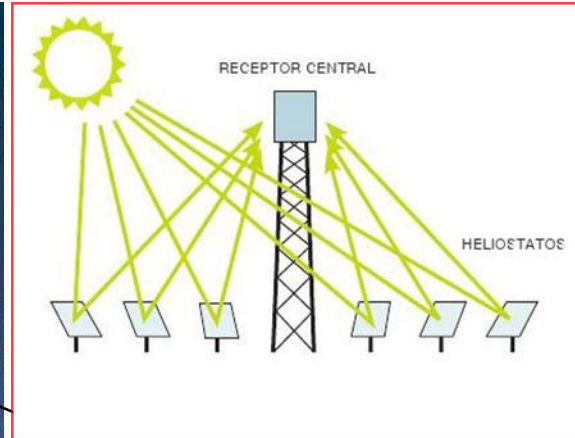
Principales Centrales FV (2010)

País	Sitio	Fecha de arranque	Capacidad (MW)
España	Olmedilla	2008	60
Alemania	Straßkirchen	2009	54
Alemania	Turnow-Preilack	2009	53
España	Puertollano	2008	50
Portugal	Moura	2008	46

Fuente: <http://www.pvresources.com/>



Tecnología de Receptor Central



- Colector (Helióstatos)
- Receptor (Cavidad o externo)
- Almacenamiento
- Unidad de Generación Eléctrica
- Unidad de Control Automático



SISTEMA RECEPTOR CENTRAL

- **En España:**

PS-1 con 11 MWe.

624 heliostatos, 115 m. altura de la torre y área total de 75,000 m²

PS-2 con 20 MWe.

1255 heliostatos, 160 m. altura de la torre.

- **En el mundo:**

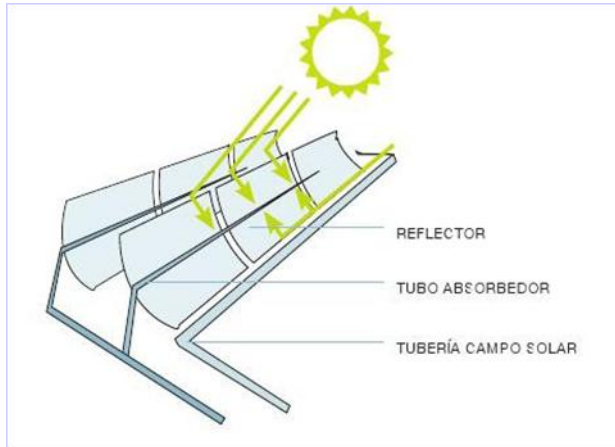
40 MWe operando

> 3,000 MWe en construcción o propuesta.

Ref. Energía Solar Térmica de Concentración. Perspectiva Mundial 2009. SolarPACES, Greenpeace, ESTELA.



Tecnología de Canal Parabólica

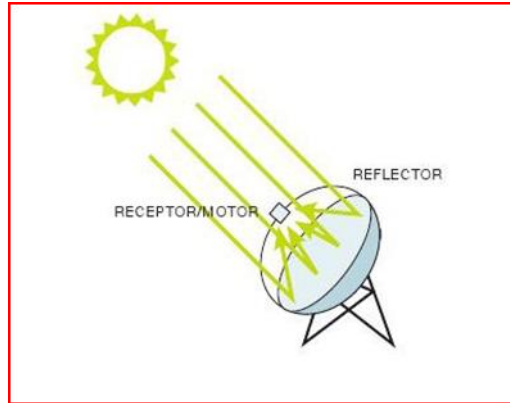


- Colector - Receptor
- Almacenamiento
- Unidad de Generación Eléctrica
- Unidad de Control Automático

SISTEMA CANALES PARABÓLICOS

- **En España;**
Andasol 1: 50 MWe operando
Andasol 2 y 3: 50 MWe c/u ocupan un área de 510,000 m² y tienen capacidad de almacenamiento para 7.5 horas.
- **En México;** proyecto de 10 MWe acoplado a una unidad de ciclo combinado en la Central Agua Prieta, Son.
- **En el mundo;**
500 MWe operando
>10,000 MWe en construcción o propuestos

Ref. Energía Solar Térmica de Concentración. Perspectiva Mundial 2009. SolarPACES, Greenpeace, ESTELA.



- Colector (concentrador)
- Receptor (motor Stirling)
- Estructura y mecanismos de direccionamiento
- Unidad de Generación Eléctrica
- Unidad de Control Automático

SISTEMA DISCOS PARABÓLICOS

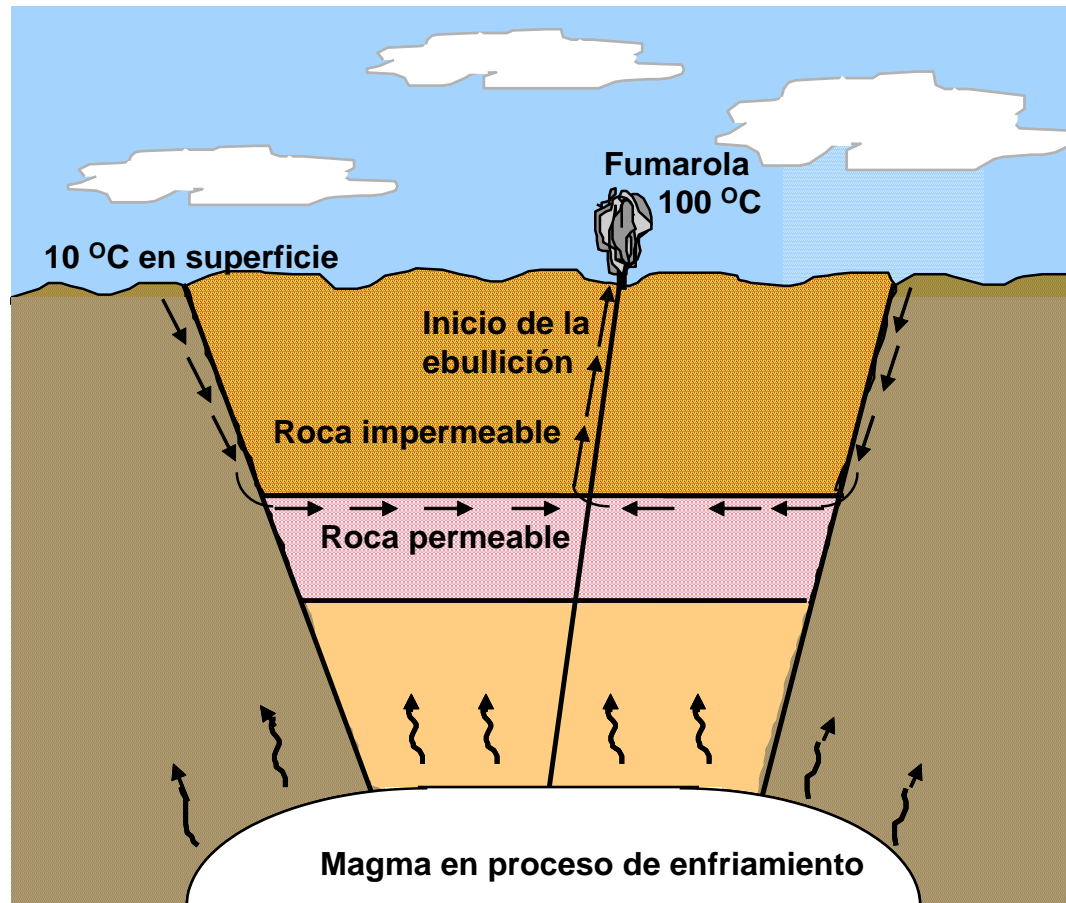
- Durante los últimos 10 años han estado operativos con éxito varios prototipos de disco/motor, desde 10 kW (diseño de Schlaich, Bergermann & Partner), 25 kW (SAIC) hasta el 'Gran Disco' de más de 100 kW de la Universidad Nacional de Australia.
- **En el mundo;**
 - 0.5 MWe operando
 - 1000 MWe en construcción o propuesta.

Ref. Energía Solar Térmica de Concentración. Perspectiva Mundial 2009. SolarPACES, Greenpeace, ESTELA

Geotermia

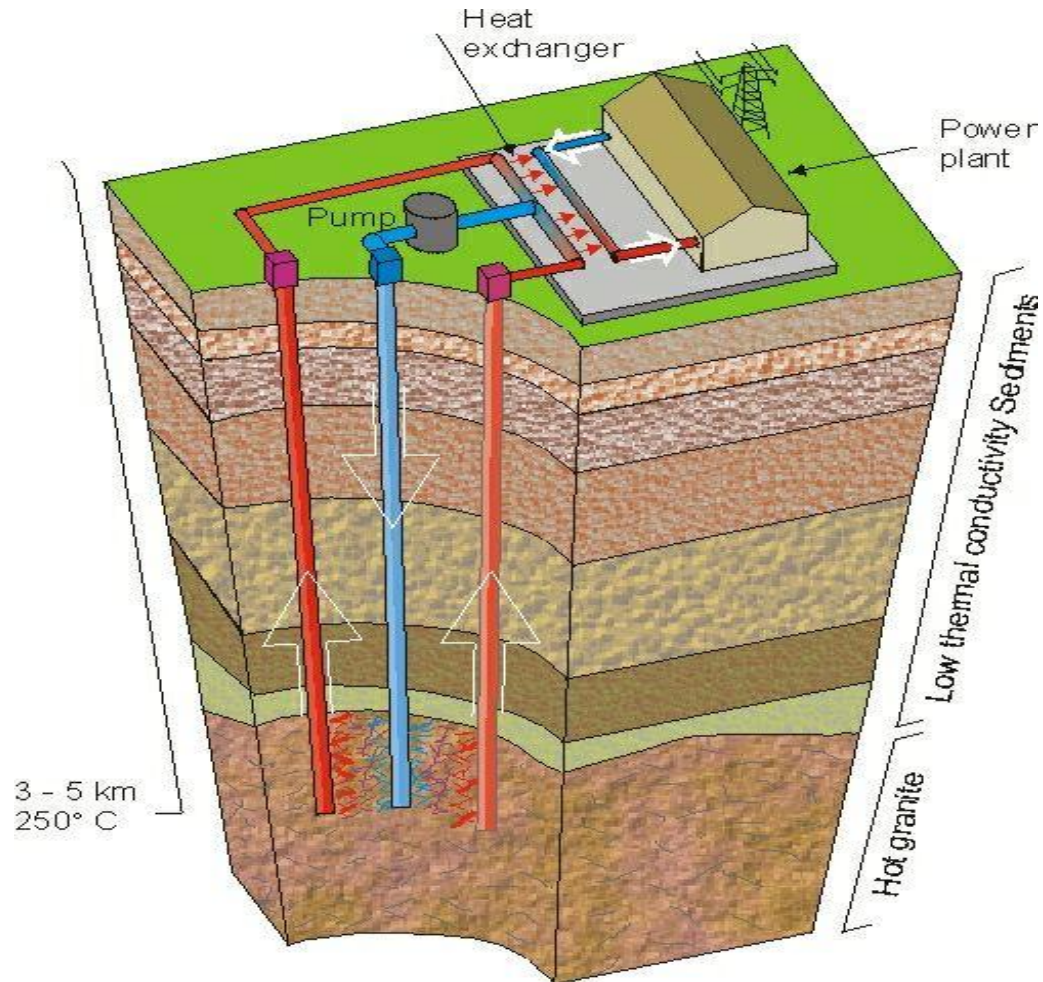


GEOTERMIA CONVENCIONAL





GEOTERMIA AVANZADA



- **Geotermia Convencional - Yacimientos Hidrotermales.**

***A nivel mundial:* capacidad eléctrica 9733 MWe y en aplicaciones no-eléctricas ~ 100,000 MWt.**

***En México:* Electricidad: Cerro Prieto B.C.720 MWe
Los Azufres Mich.....188 MWe
Los Humeros Pue.....40 MWe
Tres Virgenes B.C.....10 MWe
Total.....958 MWe**

Usos Directos: aplicaciones térmicas ~155.8 MWt

Balnearios:~160 sitios en 19 Estados: ~155.3 MWt

Ref. Country Report 2008. México. Geothermal Implementing Agreement. IEA/OECD.2009

Geotermia Avanzada

En EUA.

- .- Para el 2050, esta tecnología podría proveer del orden de 100,000 MWe en los EUA.
- .- La energía térmica almacenada en la franja de entre 3 y 10 kilómetros de profundidad es de 14 millones de ExaJoules.
- .- El recurso recuperable estimado es del orden de 2.8 millones de ExaJoules.
- .- En perspectiva, los EUA en 2005 consumieron un total de 100 ExaJoules.

Ref. The Future of Geothermal Energy, Jefferson Tester, MIT, 2007

Biomasa

APLICACIONES

- Biomasa par la generación eléctrica
 - Residuos agrícolas,
 - Plantaciones energéticas
 - Residuos forestales
 - Desechos urbanos

Biomasa para Generación Eléctrica

- **En 2005, ~ 40,000 MWe que generaron ~ 180 TWh**
- **Principales formas de generación; madera en chips (países escandinavos) y bagaso de caña (Brasil).**
- **Bagaso de caña en ingenios azucareros/alcoholeros en forma de cogeneración (~3,900 MWe total con 1,700 MWe en Brasil).**
- **Madera en chips como aditivo a carbón pulverizado en carboeléctricas convencionales y en sistemas de cogeneración.**
- **Costos; 0.03 – 0.12 USdls/kWh (estos son previos a los aumentos de los precios de los insumos recientes).**

Ref. Survey of Energy Resources 2007, World Energy Council.

Desechos Urbanos; Biodigestión

- Relleno sanitario genera biogas (aprox. 55% metano, 35% CO₂, + H₂, ..etc).
- En los EUA, 519 sistemas operando con 1,597 MWe.
- En México hay una unidad de 7.4 MWe en Monterrey.
- Costos; 750 – 1,300 USdls/kWe.

Energias Oceánicas

APLICACIONES

- **Generación Eléctrica**

Mareas

Oleaje

Unidades Hidrocinéticas

Gradientes térmicos oceanicos

Mareas

- La Rance (Francia ~1960) 200 MWe. Ampliación a 400 MWe abandonada.
- Proyecto Estuario Severn, Reino Unido: potencial de 5% la generación del país (aprox. 20 TWh/a). A nivel de estudio de prefactibilidad.

Hidroenergía (pequeña escala < 30 MWe)

HIDROENERGÍA (< 30 MWe)

- A diciembre 2008:

CFE..... 270.0 MWe

LyFC.23.4 MWe

Permisarios.... 83.5 MWe

Total..376.9 MWe

- Potencial estimado: 3,250 MWe

Ref. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, SENER, 2009



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
ELECTRICAS



WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEJO MUNDIAL DE ENERGÍA
CAPÍTULO MÉXICO

ENERGÍA NUCLEAR



La Nucleoelectricidad

- A nivel mundial,
Genera el ~16% del total de la electricidad con 436 unidades en operación y 47 en construcción. Del orden de 60 países se interesan en iniciar un programa nucleoelectrico.
- En México,
Central de Laguna Verde, 2 unidades BWR de 655 MWe c/u, genereraron el 4.5% de los TWh requeridos en 2008.

Ref. La Nucleoelectricidad; una Oportunidad para México, Academia de Ingeniería, noviembre 2009.

La Demanda Futura

- Los sistemas eléctricos inteligentes (redes y equipos) así como la electrificación del sector transporte incrementaran la generación base.
- Por limitaciones relacionadas con el cambio climático, en México esta solo podrá realizarse con energías fósiles/captura y secuestro de carbón, algunas energías renovables y energía nuclear.
- La propuesta no oficial de 10 unidades (~12,000 MWE) para 2030 implican aproximadamente el 10% de la capacidad instalada y el 15% de la generación en ese año.

COMBUSTIBLES FÓSILES CON CAPTURA Y SECUESTRO DE CARBÓN (CSC)

Los Procesos

- En realidad son 3 procesos: captura, transporte y secuestro.
- Métodos de **captura**:
 - .- post-combustión (el de mayor interés)
 - .- pre-combustión
 - .- combustión con 100% O₂

Los Procesos

- El **almacenamiento** se contempla en formaciones geológicas:
 - .- acuíferos salinos profundos
 - .- yacimientos de hidrocarburos agotados
 - .- betas profundas de carbón no explotables
- Proyectos realizados en las dos primeras muestran confinamiento confiable.

Los Procesos

- El transporte es ya comercial; en EUA y Canada se transportan 30 millones de toneladas al año a través de más de 3,000 km de gaseoductos.
- En el escenario “Blue Map” del IEA al 2050, las unidades de generación con CSC son solo el 19% del total de la generación y equivalen a ~ 1000 GW de los cuales 2/3 son carboeléctricas

EFICIENCIA ENERGÉTICA

EJEMPLOS

- Carboeléctrica Convencional (~34%) -- Supercrítica (~42%) – Ultrasupercrítica (~46%). Nuevas aleaciones (~>50%).
- Turbinas de gas (~40%) – ciclos combinados (~60%)

Nota: (Eficiencia)

INDICE

- Introducción
- Las Opciones Tecnológicas en la Generación Eléctrica.
- **Las Opciones Tecnológicas en el Sector Transporte**
- .- Reflexiones Finales

OPCIONES PARA EL SECTOR TRANSPORTE

Electrificación
Biocombustibles

EFICIENCIA DE VEHÍCULOS AVANZADOS

- EFICIENCIA GLOBAL (%)

Vehículo con motor de combustion interna	18-23
Vehículo eléctrico en base a baterias	21-27
Vehículo híbrido combustión interna/baterias	30-35
Vehículo con celda de combustible y reformadora	30-37

Ref. Hoffert M.I. Et al., "Advance Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet, Science, vol. 298, p.981, november 2002

Biocombustibles

A nivel mundial, en 2008, las producciones fueron;

BIOETANOL: 65.4 millones de litros

EUA: 34.7 millones (52%)

Brasil: 24.5 millones (37%)

China: 1.9 millones

Francia: 1 millón

Canadá: 0.9 millón

Ref. Biofuels Platform 2009, ENERS Energy Concept (www.eners.ch)

Bioetanol de la Caña de Azúcar. México

- Para generar ~ 12.7 millones de lts./día de etanol anhidro y adicionarlo (10%) a la gasolina (consumo ~127 millones de lts/día[#]), se requieren ~0.8-1.0 millones de hectareas de caña de azúcar*.
- Un litro de etanol requiere 700-1200 lts. de agua[%].
- Superficie agricola en México: 30.2 millones de hectáreas de las cuales 5.6 millones son de riego^{\$}.

Ref. # “Prospectiva de Petrolíferos 2008-2017, SENER.

*“Factibilidad del Etanol y del Biodiesel derivados de Biomasa como Combustibles para el Transporte en México”. Resumen Ejecutivo. SENER/GTZ. Noviembre 2006.

% Comunicación personal del Dr. J.L. Fernández Zayas.

\$ “Agua y Agricultura en México y en el Mundo” Enrique de la Madrid C., www.financierarural.gob.mx.

Biodiesel. México

- A partir de grasas animales, planta comercial en Monterrey (producción 1.2 millones lts/mes)
- A partir de aceites vegetales, planta comercial en Lazaro Cardenas (prod. 8,000 ton/año)
- A partir de algas marinas. Planta piloto en Sonora, junto a la central de Puerto Libertad.
- A partir de la planta jatropha; rendimientoon 1-2 toneladas de biodiesel/hectarea/año. ????????????

INDICE

- Introducción
- Las Opciones Tecnológicas en la Generación Eléctrica.
- Las Opciones Tecnológicas en el Sector Transporte
- .- **Reflexiones Finales**

Reflexión

Irremediablemente, la mitigación de gases invernadero incrementará el costo de la energía

El sector energético, debido a la vida útil y a la inversión tan grande de sus instalaciones, es un sector con una gran inercia. *El cambio es lento.*

Reflexión

Debido a lo dicho en la transparencia anterior, es muy conveniente tener una visión actualizada de largo plazo en base a escenarios. De esta manera hay mayor probabilidad de éxito en la toma de decisiones.

Se deben actualizar los escenarios cada 3-5 años ya que el entorno cambia.

Reflexión

La velocidad del cambio dependerá de la intensidad con la que se den los impactos negativos del fenómeno del cambio climático.

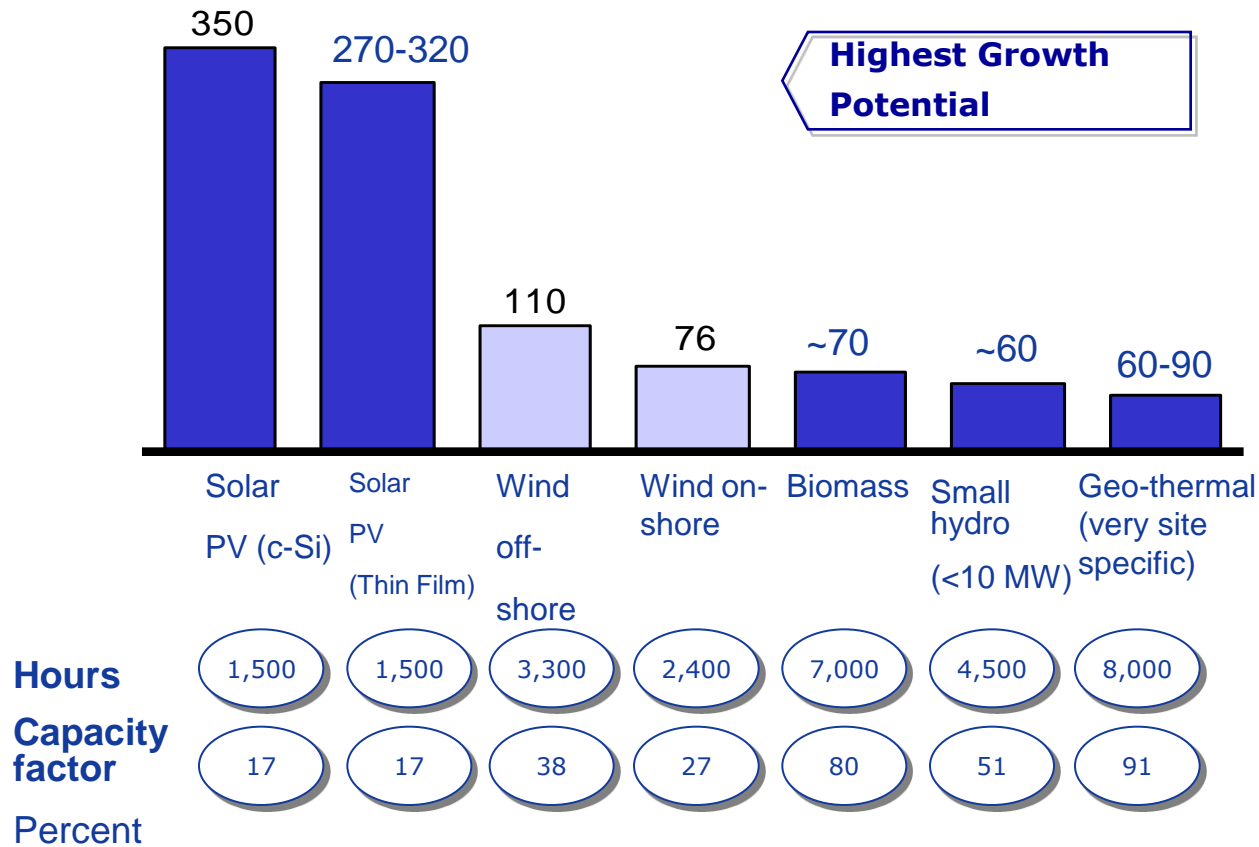
La percepción es que solo las catástrofes climáticas pondrán la debida presión al sector político para crear las políticas públicas adecuadas para enfrentar el reto.

Muchas gracias por su atención

COSTOS

Costos Energías Renovables

Lower generation cost
2008, LCOE**, EUR/MWh

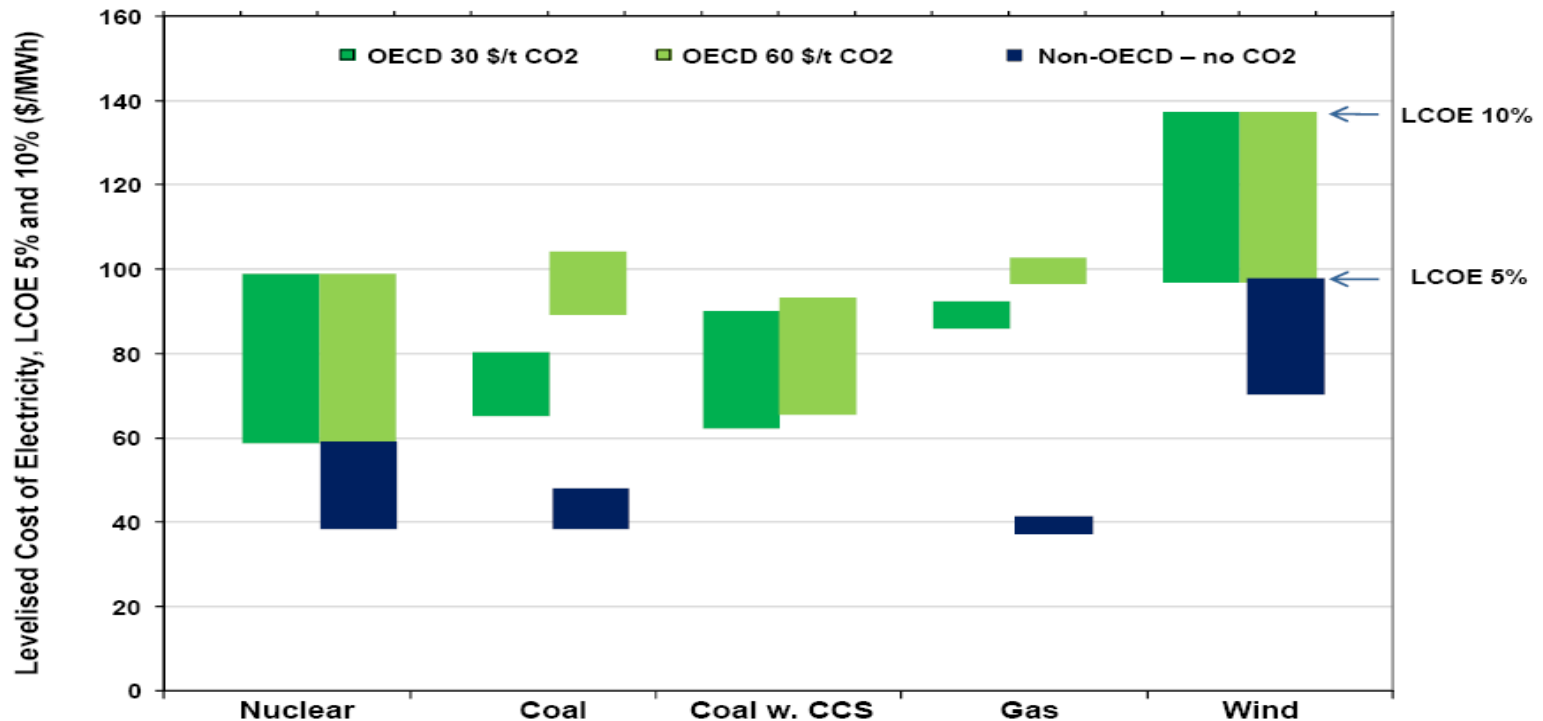


* BoP (Balance of plant) not included

** Levelized cost of electricity. Technology specific hypothesis: Solar PV (c-Si) capex 4.7 EUR/Wp, utilization 1,500 hours/year; Solar PV thin film capex between 3.5-4.3 EUR/Wp, utilization 1,500 hours/year; Wind on-shore capex 1,4 M€/MW, utilization 2,400 hours/year; wind off-shore capex 3,0 M€/MW, utilization 3,300 hours/year; Small hydro capex 2 M€/MW, utilization 4,500 hours/year; Biomass capex 1.2 M€/MW, utilization 7,000 hours/year; Geothermal capex 1.4 M€/MW, utilization 8,000/year. For all technologies Wacc @10%. Solar PV (both Si and thin films) Wacc @ 7,4



Main Conclusions: Median Case - Sensitivity to CO2 cost



To bolster competitiveness of low-carbon technologies such as nuclear, renewables and CCS, we need strong government action to lower the cost of financing and a significant CO2 price signal to be internalised in power markets.