

# **Inversión necesaria para la reducción de emisiones con crecimiento y redistribución del ingreso 2005-2015\***

**Mtro. Germán Alarco Tosoni \*\***

**Taller de Modelación Económica y Ambiental  
México-Estados Unidos, 11-12 julio de 2005.**

\* Este documento y el modelo fue desarrollado con la colaboración de Rafael Hernández Parra.

\*\* Los resultados de este documento no reflejan necesariamente la posición oficial de la institución a la que pertenece el autor.

# Contenido

---

## Objetivos del documento

1. Características y estructura general del MOEEMA-3
2. Problemática distributiva, crecimiento y emisiones de CO<sub>2</sub>
3. Estimaciones a partir del escenario “oficial”
4. Revisión de objetivos para el sector eléctrico
5. Evidencias y algunas metas para las emisiones de CO<sub>2</sub>
6. Brechas y políticas complementarias en el escenario “oficial”
7. Brechas y políticas en escenario bajo y medio sin/con redistribución del ingreso
8. Necesidades de inversión en generación eléctrica 2005-2015
9. Reducción de emisiones con política nuclear activa
10. Reducción de emisiones a partir de energéticos más contaminantes

## Algunas reflexiones finales

# Objetivos del documento

---

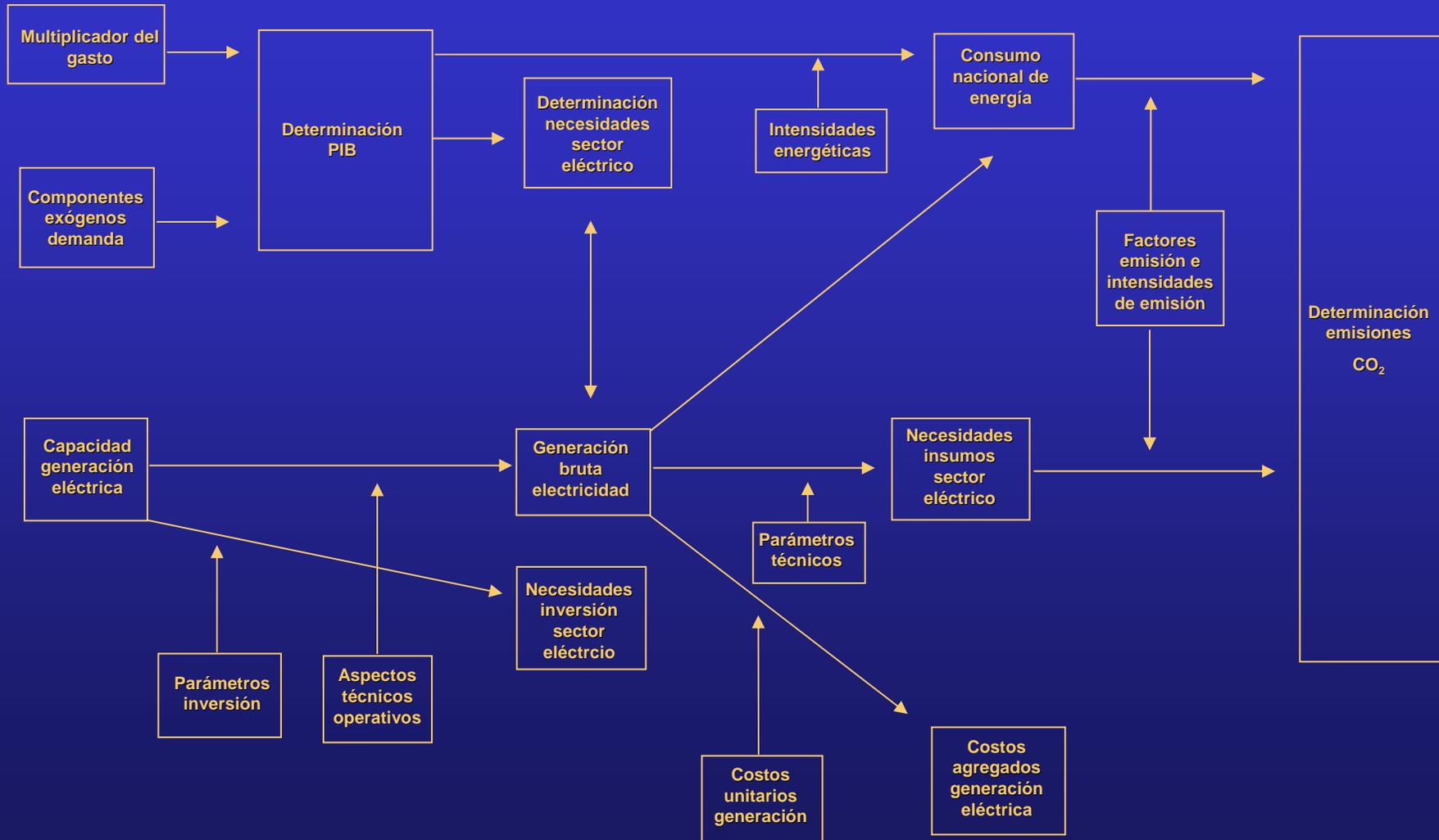
- **Presentar el modelo MOEEMA-3.**
- **Incorporar el fenómeno distributivo en la problemática energética-ambiental.**
- **Definir metas y políticas plausibles (retos) para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.**
- **Discutir redefinición de objetivos para el sector eléctrico.**
- **Revalorar el programa de expansión del sector eléctrico con tecnologías específicas.**
- **Explorar magnitud de recursos necesarios para mitigar emisiones de CO<sub>2</sub>.**

## Características generales del MOEEMA-3

---

- **Modelo tipo Top-down, estimando emisiones de CO<sub>2</sub>, requerimientos de inversión y costos totales de la generación eléctrica.**
- **Modelo matemático que parte de identidades e incorpora coeficientes y parámetros estimados de relaciones técnicas y econométricamente.**
- **Bloques recursivos y la solución es al interior de cada bloque**
  - **Macroeconómico**
  - **Capacidad y generación bruta de electricidad**
  - **Insumos energéticos operación del sector eléctrico**
  - **Consumo nacional de energía**
  - **Emisiones de CO<sub>2</sub>**
  - **Inversión y costos de generación del sector eléctrico**
- **Parámetros ajustados con información del periodo 2002-2003 y desarrollados en plataforma excel.**
- **Horizonte de previsión corto, mediano y largo plazo.**

# Estructura general de MOEEMA-3



## Elementos generales de las simulaciones

---

- Escenarios macroeconómicos 2005-2015 bajo (2.8% anual) y medio (4.4% anual) CAPEM-OEF ampliados.
- Factores emisión de CO<sub>2</sub> y factores técnicos IPCC.
- Factores de planta y eficiencia del sector eléctrico 2002-2003.
- La intensidad energética respecto al PIB se mantiene constante (2003).
- Proyecciones poblacionales 2003-2004 (1.58%), 2005-2010 (1.5% anual) y 2011 en adelante (1.4%).
- No hay modificación en precios relativos con respecto al INPC (consumidor) e IPP (productor). No modificación tipo de cambio real.
- Elasticidad ingreso consumo energía eléctrica – PIB unitaria.
- Precios constantes del 2003.
- No se considera autogeneración de energía eléctrica.

# Requerimientos de inversión por tecnología de generación (miles de US\$/MW)

	COPAR Generación 2003 <sup>1</sup>	NEA-IEA-OCDE 2005 <sup>2</sup>	
Térmica convencional (promedio)	1,121.1	n.d.	n.d.
Ciclo combinado (promedio)	428	400-800	600
Diesel (promedio)	1,454.7	1,340	
Carboeléctrica con desulfurador	1,557.7	1,000-1,500	1,250
Nuclear	1,980.1	1,000-2,000	1,500
Geotermoeléctrica (promedio)	1,106.4	n.d.	2,160
Hidroeléctricas (promedio)	1,405.8	1,500-2,900 (minihidráulicas)	2,200
Eólica (excepto offshore)	n.d.	1,000-2,000	1,500
Solar	n.d.	2,775-5,240 (excepto pico)	4,007.5
Desechos municipales	n.d.	1,476-3,630	2,553

<sup>1</sup> CFE, *Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico, generación 2003*. p.3.5.

<sup>2</sup> NEA-IEA-OCDE – *Projected cost of generating electricity, 2005 update*. 229 p. Sin embargo, los datos corresponden al 2003.

# Costo unitario integrado de generación (US\$/MWh)

	COPAR Generación 2003 <sup>1</sup>		NEA-IEA-OCDE 2005	
	AI 12%	AI 5%	AI 10%	
Térmica convencional (promedio)	69.1	n.d.	n.d.	
Ciclo combinado (promedio)	38.7	48.5	51.5	
Diesel (promedio)	75.6	83.1	92	
Carboeléctrica con desulfurador	58.2	37.5	47.5	
Nuclear	68.5	26	40	
Geotérmica (promedio)	45.2	27.1	41.5	
Hidroeléctrica (promedio sin Zimapán)	84.7	60 (minihidráulicas)	82.5	
Eólica	n.d.	60-65	92.5	
Solar	n.d.	150	200	

<sup>1</sup> COPAR, p.1.7.

# Algunos costos de mitigar emisiones de CO<sub>2</sub> por tecnología de generación eléctrica

Tecnología Anterior	Nueva tecnología	Inversión adicional corto plazo (miles US\$/MW)	Costo adicional largo plazo (US\$/MWh)	Comentario
Combustóleo	Gas natural	Ninguna	Ninguno	Vida útil ciclo combinado
Gas natural	Nuclear	900	Ninguno	Mayor periodo maduración Aspecto financiero Vida útil ciclo combinado
Gas natural	Eóloeléctrica	Ninguna	Mayor (60-51.5)	Menor escala
Gas natural	Hidroeléctrica	806	Mayor (82.5-51.5)	Problema rendimiento capital hidroeléctricas

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Problemática distributiva, crecimiento y emisiones de CO<sub>2</sub>

## Impactos principales:

- Desigualdad, marginación, afecta “paz social”
- Nivel de actividad económica

Indicadores comparativos	
	Posición economía mundial
Tamaño (2002):	9
Percápita (2002) :	66
Percápita (2002) Corregido PPP:	80
Coefficiente GINI:	112
Proporción ingresos: 10% rico / 10%pobre	109
Part. REM/YN (2003) :	35.2 %
	c/r 66.6% EUA (2004)
WB, WDI (2004).	



**México**  
**Sociedad marcadamente**  
**desigual**

# Problemática distributiva, crecimiento y emisiones de CO<sub>2</sub>

---

## Retos:

- Necesidad de reducir desigualdad en distribución funcional y personal del ingreso.
- Necesidad de diseñar e implantar políticas para mejorar la distribución del ingreso, asociadas a nuevo patrón de consumo de energéticos y menores emisiones de CO<sub>2</sub>.

# Distribución personal del ingreso en países seleccionados

---

País	Coefficiente Gini	% del ingreso 10% población más pobre	% del ingreso 10% población más rica
México	54.6	1.0	43.1
Alemania	28.3	3.2	22.1
Francia	32.7	2.8	25.1
China	44.7	1.8	33.1
República Checa	25.4	4.3	22.4
India	32.5	3.9	27.4
Japón	24.9	4.8	21.7
Italia	36.0	2.3	26.8
Malasia	49.2	1.7	38.4
Países Bajos	32.6	2.8	25.1
Perú	49.8	0.7	37.2
Rusia	45.6	1.8	36.0
España	32.5	2.8	25.2
Reino Unido	36	2.1	28.5
EUA	40.8	1.9	29.9

Fuente: Elaboración propia con base en el World Bank, *2004 World Development Indicators*.

# Regresiones de corte transversal 102 países

Variable dependiente	Variables independientes (lineal)					
	Constante	PIB per cápita	GINI	R <sup>2</sup>	F-statistic	N° de Obs.
(1) CO <sub>2</sub> PC	2.591 (2.027)	0.000325 (11.491)	-0.039 (-1.340)	0.626	82.791	102
	Constante	PIB per cápita	Highest 10% / Lowest 10%	R <sup>2</sup>	F-statistic	N° de Obs.
(2) CO <sub>2</sub> PC	1.407 (2.871)	0.000330 (12.236)	-0.019 (-1.457)	0.627	83.222	102

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la International Energy Agency y World Bank.

# Incremento de emisiones de CO<sub>2</sub> por mejora en la distribución del ingreso en México

mton CO<sub>2</sub>

Escenarios	Simulaciones a partir del índice de Gini	Simulación a partir de la dispersión del ingreso
Patrón distributivo de E.U.A.	54,258	53,825
Patrón distributivo de Gran Bretaña	73,130	58,085
Patrón distributivo de Alemania	103,404	71,196
Patrón distributivo de España	86,891	67,077
Patrón distributivo de Costa Rica	31,847	35,885

**Emisiones CO<sub>2</sub> México (2002): 365,150**

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la International Energy Agency y World Bank.

# Estimaciones a partir del escenario “oficial”

## 2002-2015

Años	Total de capacidad instalada (MW)	Generación bruta total (GWh)	Total de emisiones sector eléctrico (mton CO <sub>2</sub> )	Consumo nacional de energía PIB agregado TPES (mtoe)
2002	41,178	201,252	115,449	157,310
2003	44,555	221,411	122,472	159,514
2004	46,319	227,293	124,259	165,895
2005	47,712	234,955	126,923	172,199
2006	49,748	248,153	131,470	179,431
2007	51,328	255,652	133,286	186,788
2008	51,848	259,590	134,124	194,446
2009	53,213	274,029	143,585	203,002
2010	55,373	286,376	147,787	212,137
2011	58,916	305,686	153,436	221,683
2012	61,564	308,831	153,525	232,102
2013	65,383	324,669	159,722	242,314
2014	69,202	348,647	169,298	253,703
2015	73,021	372,625	178,874	265,627

tcpa 2002-2015  
(%)

4.5

4.9

3.4

4.1

Fuente: Elaboración propia con base en Sener, *Prospectiva del sector eléctrico 2004-2013* y en el MOEEMA-3.

# Estimaciones a partir del escenario “oficial”

## 2002-2015

Años	Total emisiones PIB agregado (mton CO <sub>2</sub> )	Total emisiones PIB agregado con programas de ahorro energía (mton CO <sub>2</sub> )	Intensidad de emisiones sector eléctrico (ton CO <sub>2</sub> /GWh)	Total emisiones per cápita (ton CO <sub>2</sub> )
2002	365,150	365,150	573.7	3.636
2003	375,672	363,099	553.1	3.682
2004	387,587	373,391	546.7	3.740
2005	400,257	384,701	540.2	3.805
2006	416,284	399,349	529.8	3.899
2007	429,777	411,429	521.4	3.966
2008	442,771	422,952	516.7	4.025
2009	465,813	444,457	524.0	4.172
2010	484,515	461,558	516.1	4.276
2011	505,317	480,722	501.9	4.398
2012	521,945	495,676	497.1	4.479
2013	544,352	516,238	492.0	4.607
2014	572,006	541,893	485.6	4.775
2015	600,509	568,224	480.0	4.943

tcpa 2002-2015

(%)

3.9

3.5

2.4

-1.4

Fuente: Elaboración propia con base en Sener, *Prospectiva del sector eléctrico 2004-2013* y en el MOEEMA-3.

# Estimaciones sector eléctrico a partir del escenario “oficial” 2002-2015

Años	Inversión neta anual en generación (miles US\$)	Inversión programada generación (miles US\$)	Componente nacional inversión neta (miles US\$)	Costos de generación (miles US\$)	Costos de generación (US\$/MWh)
2002	-	-	-	11,922,790	59.2
2003	2,084,709	-	573,241	12,953,484	58.5
2004	1,921,599	1,854,852	774,641	13,313,184	58.6
2005	1,066,366	2,533,321	462,266	13,730,339	58.4
2006	1,128,676	2,048,846	192,320	14,393,305	58.0
2007	1,440,602	2,332,932	753,531	14,826,003	58.0
2008	104,602	1,973,214	-137,192	15,004,201	57.8
2009	890,060	2,267,865	376,994	15,671,339	57.2
2010	1,397,384	3,186,579	179,888	16,292,542	56.9
2011	2,691,766	3,222,820	1,051,590	17,329,398	56.7
2012	3,326,708	2,912,967	538,905	17,537,743	56.8
2013	3,363,170	2,154,973	194,827	18,315,886	56.4
2014	2,291,400	-	620,969	19,550,747	56.1
2015	2,291,400	-	620,969	20,785,608	55.8

				Promedio simple	
<b>Total</b>	<b>23,998,441</b>	<b>24,488,369</b>	<b>6,202,950</b>		<b>57.5</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Sener, *Prospectiva del sector eléctrico 2004-2013* y en el MOEEMA-3.

# Objetivos básicos del sector eléctrico

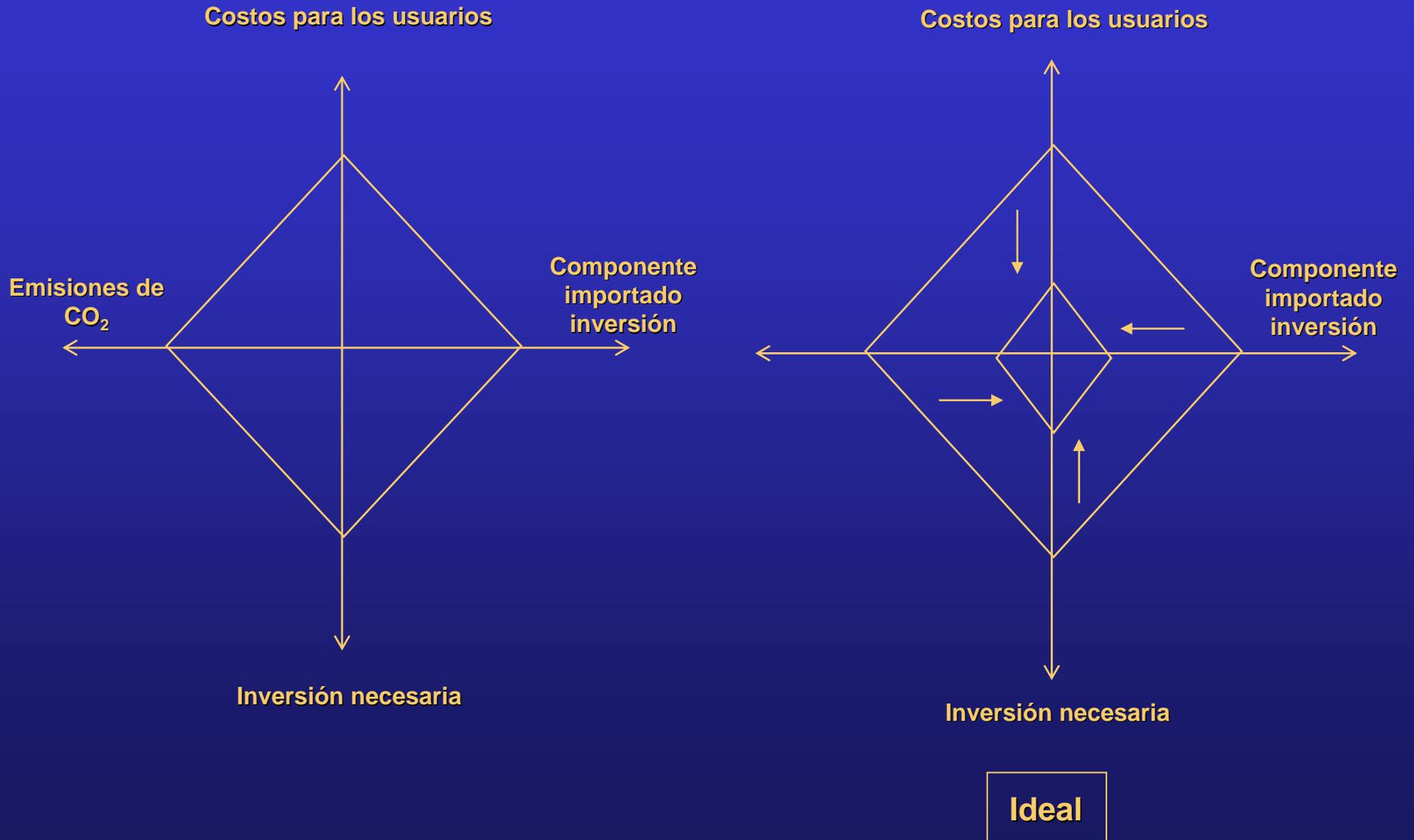
---

Atender demanda del aparato productivo y de las familias en oportunidad, magnitud, calidad y seguridad con eficiencia al menor costo y tarifas posibles en una perspectiva de mediano y largo plazo.

Teniendo en cuenta:

- Reducir emisiones ó menores emisiones posibles GEI (CO<sub>2</sub> en este caso) y GLLA.
- Disponibilidad nacional de insumos energéticos (costos, seguridad y menor volatilidad).
- Diversificación de fuentes energéticas.
- Minimizar necesidades de inversión y maximizar contribución a la economía nacional.
- Análisis y evaluación integral del sector energético.
- Reproducción simple y posibilidades de reproducción ampliada del sector eléctrico.
- Tarifas similares a los estándares internacionales.

# Objetivos instrumentales en el modelo



# Evidencias y algunas metas para las emisiones de CO<sub>2</sub>

## Participación de México en las emisiones de CO<sub>2</sub> internacionales %

Región	1971	1980	1990	2002
OCDE América del norte	2.1	4.0	5.3	5.6
OCDE Europa	2.7	5.1	7.4	9.2
OCDE Total	1.0	2.0	2.7	2.9
Mundiales	0.7	1.2	1.4	1.5

Fuente: Elaboración propia con base a International Energy Agency, *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2004 edition*.

## Crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub> por combustión de energéticos 1971-2002 TCPA (%)

País / Región	1971-1980	1980-1990	1990-2002	1971-2002
México	9.08	3.21	1.88	4.36
OCDE América del norte	1.28	0.47	1.37	1.05
OCDE Europa	1.37	-0.52	0.05	0.25
OCDE Total	1.47	0.32	1.08	0.95
Mundiales	2.78	1.37	1.27	1.74

Fuente: Elaboración propia con base a International Energy Agency, *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2004 edition*.

# Evidencias y algunas metas para las emisiones de CO<sub>2</sub>

## Coeficientes de participación relativa en la emisión de CO<sub>2</sub>/GDP PPP

México / Región	1971	1990	2002
OCDE América del norte	0.293	0.585	0.739
OCDE Total	0.354	0.729	0.901
Mundiales	0.353	0.627	0.805

Fuente: Elaboración propia con base a International Energy Agency, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2004 edition

## Coeficientes de participación relativa en la emisión de CO<sub>2</sub>/población

México / Región	1971	1990	2002
OCDE América del norte	0.11	0.23	0.23
OCDE Total	0.18	0.33	0.33
Mundiales	0.51	0.89	0.94

Fuente: Elaboración propia con base a International Energy Agency, CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2004 edition.

## Metas de emisiones de acuerdo a estándares internacionales (mton CO<sub>2</sub>)

Años	Sin límite	Máxima con parámetros OCDE Europa (0 % anual)	Intermedia con parámetro países OCDE (1% anual)	Promedio internacional (1.2% anual)
2002H	365,150	365,150	365,150	365,150
2003		370,183	370,183	370,183
2004		384,990	384,990	384,990
2005		384,990	388,840	389,610
2006		384,990	392,728	394,285
2007		384,990	396,655	399,016
2008		384,990	400,622	403,805
2009		384,990	404,628	408,650
2010		384,990	408,674	413,554
2011		384,990	412,761	418,517
2012		384,990	416,889	423,539
2013		384,990	421,058	428,621
2014		384,990	425,268	433,765
2015		384,990	429,521	438,970

Fuente: Elaboración propia con base a Agencia Internacional de Energía y en el MOEEMA-3.

# Brechas por cerrar en el escenario “oficial”

mton CO<sub>2</sub>

Años	Brecha "Oficial" meta países OCDE europeos	Brecha "Oficial" meta países OCDE	Brecha "Oficial" meta promedio internacional
2002H	0	0	0
2003	0	0	0
2004	0	0	0
2005	-289	-4,139	-4,909
2006	14,360	6,621	5,064
2007	26,439	14,774	12,413
2008	37,963	22,330	19,148
2009	59,467	39,829	35,807
2010	76,568	52,884	48,004
2011	95,732	67,961	62,205
2012	110,686	78,787	72,137
2013	131,249	95,181	87,617
2014	156,903	116,625	108,128
2015	183,234	138,703	129,254
<b>Total</b>	<b>873,630</b>	<b>610,873</b>	<b>556,186</b>

- De acuerdo a la información existente del 2003-2005 se cumplirían con todas las metas de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Entre 2006-2015 se observan importantes metas de emisiones por reducir.

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

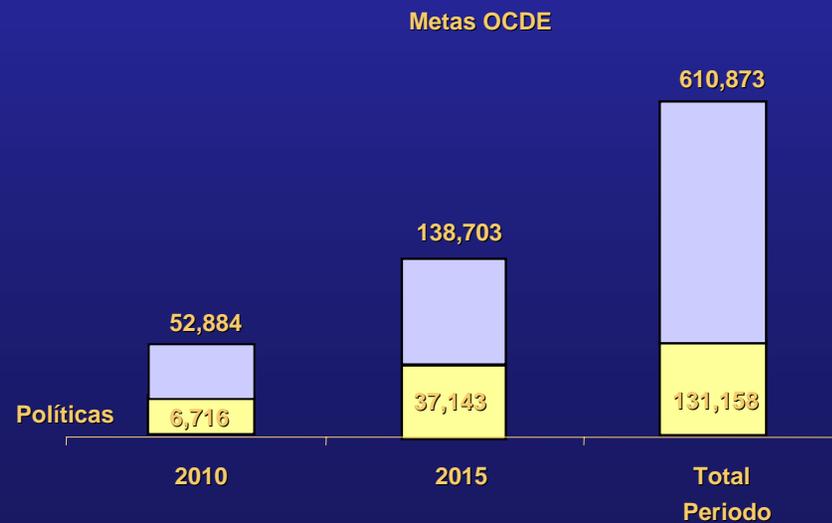
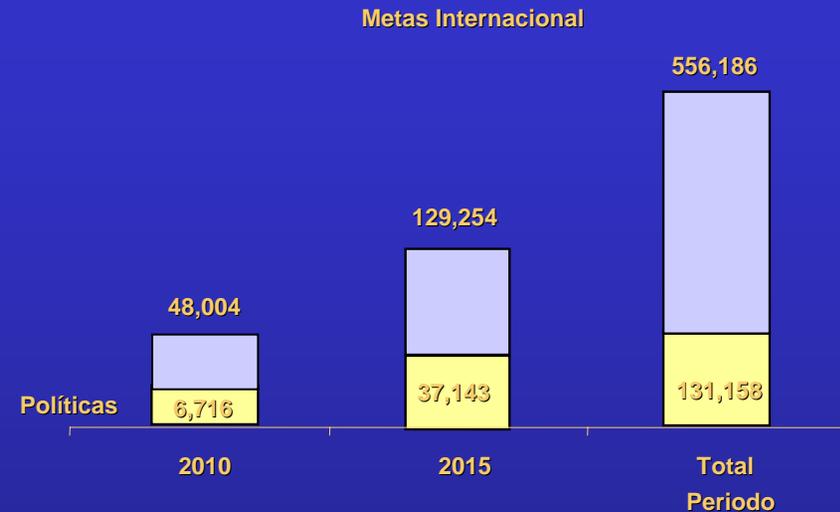
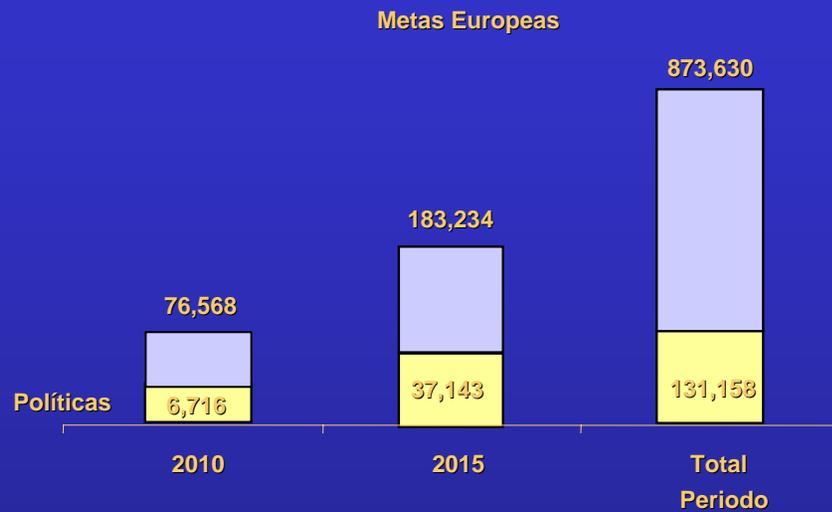
## Políticas complementarias para cerrar brechas en el escenario “oficial”

---

- **Proyectos hidroeléctricos con estudio de prefactibilidad, factibilidad y diseño: 6,754 MW**  
Entrada en operación 2010-2015: 1,105 MW, 1,423 MW, 900 MW, 1,026 MW, 1,400 MW y 900 MW.
- **Proyectos geotérmicos en Baja California, Jalisco y Puebla: 220MW (2010)**
- **Proyectos nucleares: 6 Plantas (2 x 953MW) similares a coreanas (Kor-N1) con entrada en operación 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015.**

**Nuevos proyectos reducen capacidad instalada de PIES al 100%, a excepción de hidroeléctricos con el 50% por diferentes factores de planta.**

# Evaluación reducción de emisiones (mton CO<sub>2</sub>)



**Necesidad de otras políticas para reducir emisiones. Sólo se reducen emisiones por el 23.6% del total de las metas (promedio internacional).**

## Principales resultados políticas complementarias

Años	Menores emisiones de CO <sub>2</sub> (mton CO <sub>2</sub> )	Mayor inversión neta (miles US\$)	Mayor componente nacional inversión (miles US\$)	Menores costos generación (miles US\$)	Menores costos unitarios generación (US\$/MWh)
2002H	0	0	-	0	-
2003	0	0	0	0	0.000
2004	0	0	0	0	0.000
2005	0	0	0	0	0.000
2006	0	0	0	0	0.000
2007	0	0	0	0	0.000
2008	0	0	0	0	0.000
2009	0	0	0	0	0.000
2010	6,716	3,048,717	2,257,260	27,322	0.095
2011	12,728	3,420,953	2,536,615	-45,640	-0.148
2012	18,635	2,710,620	2,025,758	-20,371	-0.065
2013	24,701	2,849,951	2,140,214	-1,630	-0.005
2014	31,235	3,263,520	2,479,950	-2,264	-0.006
2015	37,143	2,710,620	2,016,759	23,005	0.061
<b>Total</b>	<b>131,158</b>	<b>18,004,381</b>	<b>13,456,556</b>	<b>-19,577</b>	<b>-0.068</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Sener, *Prospectiva del sector eléctrico 2004-2013* y en el MOEEMA-3.

# Brechas de emisiones CO<sub>2</sub>

## Escenario bajo crecimiento económico

mton CO<sub>2</sub>

Años	Brecha bajo meta países OCDE europeos	Brecha bajo meta países OCDE	Brecha bajo meta promedio internacional
2005	8,738	4,888	4,118
2006	19,369	11,630	10,074
2007	29,882	18,217	15,855
2008	40,669	25,037	21,854
2009	53,013	33,375	29,352
2010	66,153	42,468	37,589
2011	79,687	51,916	46,160
2012	94,557	62,658	56,008
2013	108,464	72,396	64,832
2014	124,254	83,976	75,479
2015	140,550	96,019	86,570
<b>Total</b>	<b>765,336</b>	<b>502,579</b>	<b>447,892</b>

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Brechas de emisiones CO<sub>2</sub>

## Escenario bajo con redistribución del ingreso

mton CO<sub>2</sub>

Años	Brecha bajo redistribución meta países	Brecha bajo redistribución meta países	Brecha bajo redistribución meta promedio
	OCDE europeos	OCDE	internacional
2005	11,381	7,531	6,761
2006	24,834	17,096	15,539
2007	38,351	26,685	24,324
2008	52,333	36,701	33,518
2009	68,120	48,481	44,459
2010	84,955	61,270	56,390
2011	102,439	74,667	68,912
2012	121,579	89,680	83,030
2013	139,968	103,900	96,336
2014	160,637	120,358	111,862
2015	182,149	137,618	128,168
<b>Total</b>	<b>986,744</b>	<b>723,988</b>	<b>669,300</b>

Un punto porcentual anual de la participación de las remuneraciones en el PIB entre 2005-2015

35.2% → 46.2%

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Brechas de emisiones CO<sub>2</sub>

## Escenario medio crecimiento económico

mton CO<sub>2</sub>

Años	Brecha medio meta países OCDE europeos	Brecha medio meta países OCDE	Brecha medio meta promedio internacional
2005	14,511	10,661	9,891
2006	31,290	23,552	21,995
2007	48,358	36,692	34,331
2008	66,125	50,493	47,310
2009	85,974	66,336	62,314
2010	107,167	83,483	78,603
2011	129,315	101,543	95,788
2012	153,487	121,588	114,938
2013	177,180	141,112	133,548
2014	203,602	163,323	154,827
2015	231,266	186,734	177,285
<b>Total</b>	<b>1,248,275</b>	<b>985,518</b>	<b>930,831</b>

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Brechas de emisiones CO<sub>2</sub>

## Escenario medio con redistribución del ingreso

mton CO<sub>2</sub>

Años	Brecha medio redistribución meta países	Brecha medio redistribución meta países	Brecha medio redistribución meta promedio
	OCDE europeos	OCDE	internacional
2005	17,193	13,343	12,573
2006	36,917	29,179	27,622
2007	57,204	45,538	43,177
2008	78,487	62,855	59,672
2009	102,218	82,579	78,557
2010	127,678	103,994	99,114
2011	154,496	126,724	120,969
2012	183,830	151,931	145,281
2013	213,071	177,003	169,439
2014	245,653	205,375	196,878
2015	280,248	235,717	226,268
<b>Total</b>	<b>1,496,994</b>	<b>1,234,238</b>	<b>1,179,550</b>

**Un punto porcentual anual  
de la participación de las  
remuneraciones en el PIB  
entre 2005-2015**

**35.2% → 46.2%**

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

## Políticas convencionales para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>

---

- Programa hidroeléctrico oficial al 2013 (3,185 MW) y ampliación (6,754 MW)
- Programa eólico oficial (406 MW)
- Programa geotérmico posible (220 MW)
- Programa solar y eólico privado: 2004-2010: 4 MW anuales, 2011-2015: 6 MW anuales.
- Retiro oficial plantas térmicas convencionales combustóleo (3,819 MW) y adición ciclos combinados (12, 757 MW)
- Programa oficial cogeneración eléctrica (entre 1,427 MW y 2,909 MW)

# Políticas convencionales para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>

---

- Programa para el ahorro y uso eficiente de la energía
  - Aplicación de las normas (NOM)
  - Programas en instalaciones
  - Sector agropecuario
  - Horario de verano
  - Incentivos FIDE
  - Sector doméstico
  - Inmuebles APF

**Se ahorrarán entre 3,967 MW y 10,187 MW de capacidad instalada entre 2003 y 2015.**

**Se supone la misma tasa de crecimiento entre 2012/2013, para 2013/2014 y 2014/2015.**

**Nota: Se supone que la ampliación de capacidad hidroeléctrica, solar y eólica tienen un factor de planta equivalente a la mitad de las otras fuentes energéticas convencionales.**

# Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por políticas convencionales

mton CO<sub>2</sub>

## Programas para reducir emisiones

Años	Hidroeléctrico	Eólico	Geotérmico	Programas para reducir emisiones				Total reducción
				Solar y eólico privado	Ahorro y uso eficiente de energía	Retiro combustóleo y adición ciclos combinados	Cogeneración energía eléctrica	
2005	1,484	0	0	13	15,556	2,514	622	20,188
2006	1,484	160	0	19	16,935	6,568	654	25,820
2007	2,671	160	0	26	18,348	8,672	654	30,530
2008	2,671	160	0	32	19,819	11,169	654	34,504
2009	3,308	160	0	38	21,356	14,869	654	40,385
2010	5,249	320	697	45	22,957	18,788	654	48,709
2011	8,124	480	697	54	24,595	22,245	1,110	57,305
2012	10,856	480	697	64	26,269	24,518	1,266	64,149
2013	12,647	640	697	73	28,114	29,264	1,266	72,700
2014	14,563	640	697	83	30,113	19,110	1,266	66,471
2015	15,751	640	697	92	32,285	21,061	1,266	71,792
<b>Total</b>	<b>78,803</b>	<b>3,840</b>	<b>4,182</b>	<b>536</b>	<b>256,347</b>	<b>178,778</b>	<b>10,066</b>	<b>532,552</b>

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

## Relación de escenarios 2005-2015

---

- **Metas promedio internacional con crecimiento económico bajo (E1)**
- **Metas promedio internacional con crecimiento económico bajo y mejora en la distribución del ingreso (E2)**
- **Metas promedio internacional con crecimiento económico medio (E3)**
- **Metas promedio internacional con crecimiento económico medio y mejora en la distribución del ingreso (E4)**
- **Metas intermedias (OCDE) con crecimiento económico bajo (E5)**
- **Metas intermedias (OCDE) con crecimiento económico bajo y mejora en la distribución del ingreso (E6)**

## Relación de escenarios 2005-2015

---

- **Metas intermedias (OCDE) con crecimiento económico medio (E7)**
- **Metas intermedias (OCDE) con crecimiento económico medio y mejora en la distribución del ingreso (E8)**
- **Metas máximas (Europeas) con crecimiento económico bajo (E9)**
- **Metas máximas (Europeas) con crecimiento económico bajo y mejora en la distribución del ingreso (E10)**
- **Metas máximas (Europeas) con crecimiento medio (E11)**
- **Metas máximas (Europeas) con crecimiento económico medio y mejora en la distribución del ingreso (E12)**

# Resumen de escenarios cumplimiento de metas 2005-2015

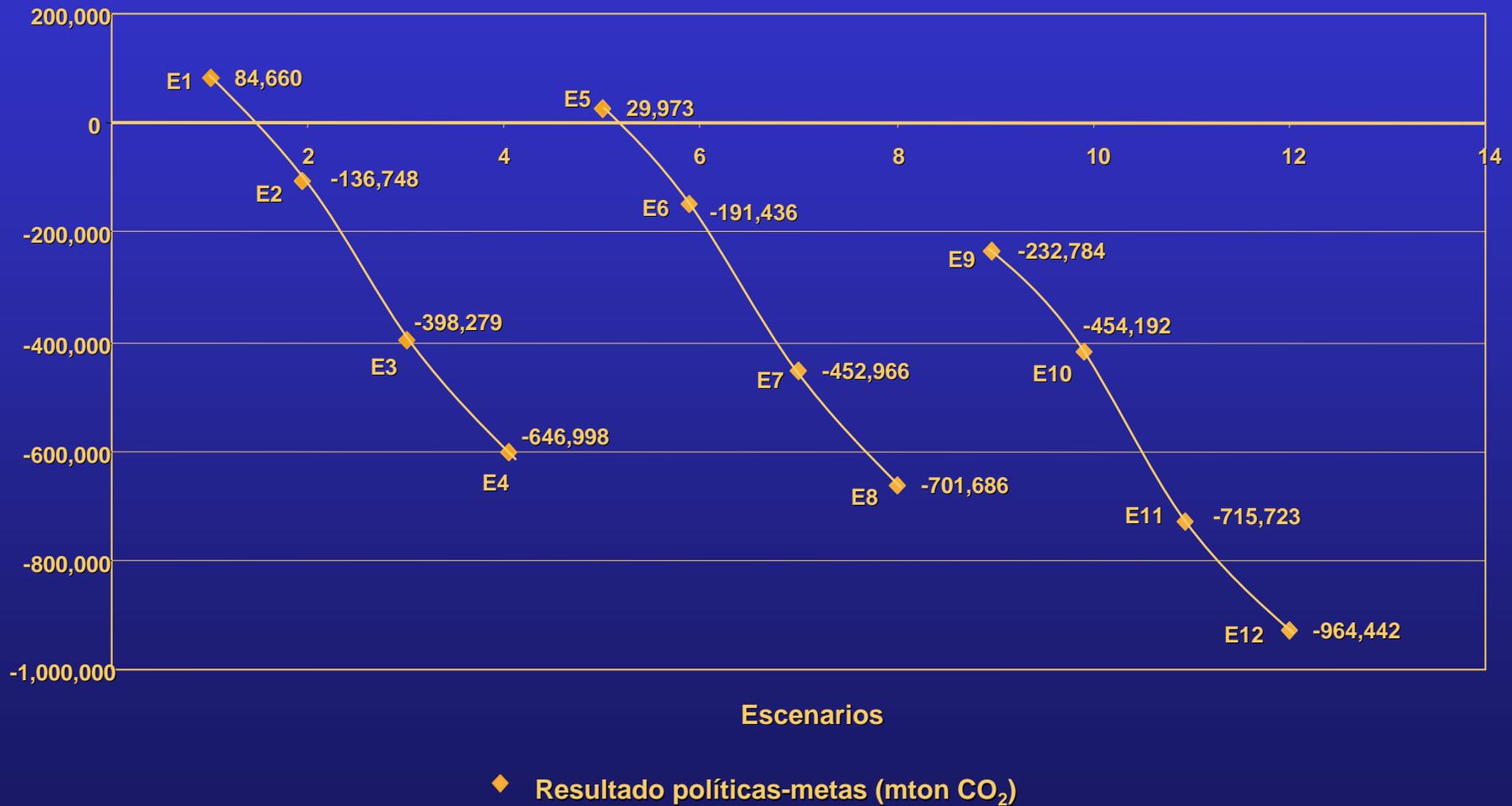
---

mton CO<sub>2</sub>

Escenario	Resultado metas-políticas (mton CO <sub>2</sub> )	Comentario
E1	-84,660	Brecha cerrada
E2	136,748	No cierra brecha
E3	398,279	No cierra brecha
E4	646,998	No cierra brecha
E5	-29,973	Brecha cerrada
E6	191,436	No cierra brecha
E7	452,966	No cierra brecha
E8	701,686	No cierra brecha
E9	232,784	No cierra brecha
E10	454,192	No cierra brecha
E11	715,723	No cierra brecha
E12	964,442	No cierra brecha

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Grado de cumplimiento de las metas por reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>



Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Necesidades de inversión en generación eléctrica 2005-2015 (millones US\$)

Opciones / Escenarios	Crecimiento económico bajo	Bajo con redistribución del ingreso	Crecimiento económico medio	Medio con redistribución del ingreso
Composición actual con estándares internacionales	18,488	23,957	30,412	36,846
Ampliación con costo nuclear	25,394	32,905	41,770	50,608
Ampliación con costo hidráulico	23,803	30,843	39,153	47,437
Ampliación con costo ciclo combinado	10,158	13,162	16,708	20,243

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Reducción de emisiones con política nuclear activa

Sustituir plantas de ciclo combinado por 6 plantas nucleares (2 x 953 MW) del 2010-2015

Año	Menores emisiones (mton CO <sub>2</sub> )	Mayor inversión (miles US\$)	Menores costos generación (miles US\$)	Mayor componente nacional de la inversión (miles US\$)
2010	4,779	1,715,400	71,895	1,208,213
2011	9,558	1,715,400	143,790	1,208,213
2012	14,338	1,715,400	215,684	1,208,213
2013	19,117	1,715,400	287,579	1,208,213
2014	29,711	1,715,400	709,966	1,208,213
2015	39,119	1,715,400	1,060,821	1,208,213
<b>Total</b>	<b>116,622</b>	<b>10,292,400</b>	<b>2,489,735</b>	<b>7,249,278</b>

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

## Contribución a reducción emisiones CO<sub>2</sub> 2005-2015 (%)

E1	26.1	Brecha cerrada
E2	17.4	Se tiende a reducir brecha
E3	12.5	No cierra brecha
E4	9.9	No cierra brecha
E5	23.2	Brecha cerrada
E6	16.1	No cierra brecha
E7	11.8	No cierra brecha
E8	9.5	No cierra brecha
E9	15.2	No cierra brecha
E10	11.8	No cierra brecha
E11	9.3	No cierra brecha
E12	7.8	No cierra brecha

Fuente: Elaboración propia con base en el MOEEMA-3.

# Reducción de emisiones a partir de energéticos más contaminantes

---

## Casos:

- Precios de los insumos energéticos muy reducidos.
- Diferencia significativa entre el costo económico interno (contable y rendimiento) y el costo de oportunidad en mercados internacionales abiertos.

## Insumos energéticos:

- Carbón y coque de carbón
- Coque de petróleo
- Combustóleo
- Crudos pesados procesados (Ej. Orimulsión)
- Subproductos ó residuos refinerías

# Reducción de emisiones a partir de energéticos más contaminantes

---

## Precondiciones:

- **Costos de producción con rendimiento razonable reducidos respecto a referencias internacionales.**
- **Creación de fondo financiero para reducir emisiones CO<sub>2</sub>.**

**Diferencia (DIF) : Costo generación<sub>i,T</sub> – Costo generación<sub>J,T</sub>**

**i,J – Tecnología más contaminante y anterior**

- **Cumplir con criterio de evaluación**

**El ahorro en costos de generación eléctrica debe permitir financiar al menos la reducción de emisiones marginales adicionales en subsector eléctrico o en otros sectores productivos.**

**DIF > Emisiones CO<sub>2</sub> marginales \* Costo mitigación**

- **En el caso de los productos petroleros y petrolíferos el fondo financiero se cubriría con parte de los excedentes de PEMEX.**

# Reducción de emisiones a partir de energéticos más contaminantes

## Principales supuestos:

Plantas 1,000 MW

Factor de planta: 70%

Eficiencia ciclo combinado: 50%

Eficiencia planta combust : 35%

F. Emisión comb. : 21.1 Ton/TJ

F. Emisión GN. 15.3 Ton/TJ

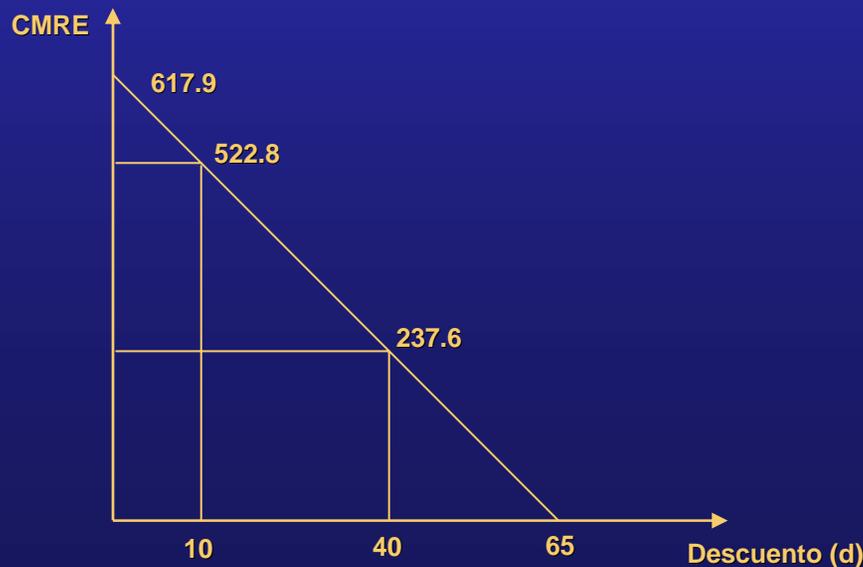
Costo generación: 65 US\$ MWh

$(65 - \text{descuento (d)}) \cdot 6,132,000 \geq 645,387$  costo máximo reducir emisiones (CMRE)

65 - descuento = 0.1052 CMRE

En la medida que el costo de generación sea menor se requiere de un menor costo para reducir las emisiones.

Con estos resultados el caso es muy usual.



Descuento US\$/MWh	CMRE ton CO <sub>2</sub>
0	617.9
10	522.8
15	475.3
20	427.8
30	285.2
50	142.6
60	47.5

# Algunas reflexiones finales

---

## En la esfera interna:

- La necesidad imperiosa de mejorar la distribución del ingreso en México impone mayores retos a la limitación en el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Es necesario revisar el programa de expansión de la capacidad de generación e inversión del sector eléctrico, tanto en lo relativo a supuestos como resultados.
- Comparar estructura de energéticos para la generación eléctrica con la vigente y esperada en países OCDE.
- Necesidad de discutir los objetivos del sector eléctrico y de las estrategias para la expansión de capacidad de generación.
- Necesidad de explorar el diseño e implantación de un programa de generación eléctrica a partir de la energía nuclear y de ampliar el programa de energías renovables: hidroeléctrico y geotérmico especialmente.
- El cumplimiento de metas de emisiones promedio internacional y promedio OCDE sólo es factible en escenario de bajo crecimiento económico.

# Algunas reflexiones finales

---

## En la esfera internacional:

- Bajo ninguna circunstancia se deben admitir metas de emisión europeas (0 % de crecimiento o negativas), ya que resultarían inviables.
- La magnitud del esfuerzo de México en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> debe tener en cuenta las contribuciones históricas acumuladas o las relativas respecto a su participación entre el producto y la población mundial

Contribución a CO<sub>2</sub> (%)

---

Participación en PIB o población mundial (%)

- La utilización de tecnologías sin emisiones de CO<sub>2</sub> como la nuclear genera menos costos de generación que las otras tecnologías. Sin embargo, su implantación podría requerir de apoyos financieros (donaciones temporales) de los países desarrollados y/o de organismos internacionales. Revisar manejo desechos.

# Algunas reflexiones finales

---

## En cuanto a los aspectos instrumentales

- Revisar los niveles de inversión y costos de COPAR-CFE por tecnología de generación eléctrica y posibilidad de adecuación a parámetros internacionales.
- Incorporar detalle de costos fijos, costos variables, especialmente de energéticos para valorar diferentes escenarios de precios esperados.
- Determinar costos económicos (contables y rendimiento al capital de costo de oportunidad) de crudo pesado, productos petrolíferos y subproductos actividades de refinación.
- Replantear modelo con función objetivo, de forma tal que se puedan establecer escenarios más/menos óptimos y jerarquizar opciones del programa de expansión de capacidad.
  - Costos de generación – 50%
  - Reducción de emisiones CO<sub>2</sub> – 20%
  - Magnitud inversión necesaria – 10%
  - Componente nacional de la inversión – 10%
  - Seguridad/diversificación – 10%
- Incorporar otras emisiones GLLA.