

# RESULTADOS DEL ESTUDIO DE EXPANSION DEL SEN Y LA EVALUACION DE DISTINTOS ESCENARIOS

**1996 - Presente: Asimilación, prueba, adaptación y desarrollo del  
DECADES**

**2 Proyectos Nacionales, 1 Contrato de Investigación con OIEA de  
4 años ⇒ Servicio Científico Técnico UNE**

**Evaluaciones comparativas  
integrales de expansión del SEN**

**Creación BDEP**

**17 Combustibles, 170 tecnologías y 86 cadenas energéticas**

**CUBAENERGIA**

*Seminario Nacional para la presentación  
de evaluaciones comparativas de opciones  
de generación de electricidad a los directivos,  
17 y 18 de Mayo de 2001.*



# Evaluación de cadenas energéticas completas

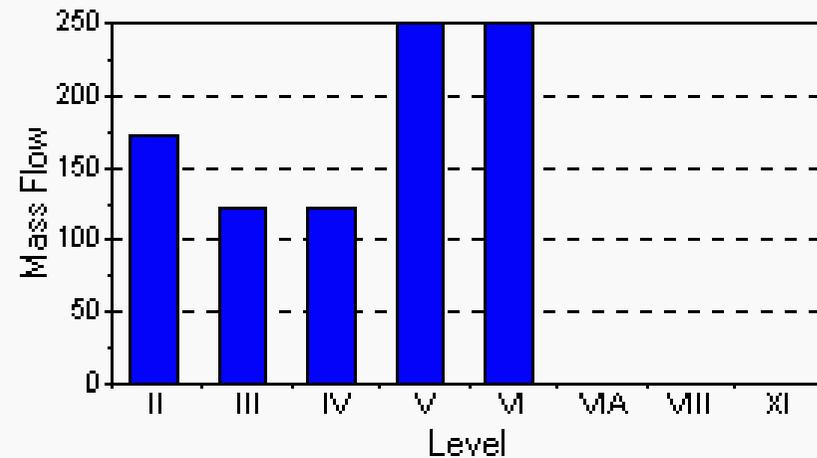
FC900 Chain



Steps

Oil Steam Boilers  
Conventional

II	Drilling and Extraction	DRILL1	172,94 g/kWh	
III	Transport	S31	122,65 g/kWh	35 km
IV	Processing and Refining	Ref1	122,23 g/kWh	
V	Transport	P502A	249,44 g/kWh	15 km
VI	Electricity generation	330	249,44 g/kWh	
VIA	Control Technology	None	0,29 g/kWh	Part
VIII	Transport	TRKW	0,29 g/kWh	5 km
XI	Waste Treatment and Disposal	SWP	0,29 g/kWh	



Level	Mass In	Unit	Mass In	Unit
II	172.94	g/kWh	398.331,10	t/yr
III	122.65	g/kWh	282.504,33	t/yr
IV	122.23	g/kWh	281.519,01	t/yr
V	249.44	g/kWh	574.528,60	t/yr
VI	249.44	g/kWh	574.528,60	t/yr
VIA	.29	g/kWh	660,71	t/yr
VIII	.29	g/kWh	660,71	t/yr
XI	.29	g/kWh	660,63	t/yr



CUBAENERGIA

# SELECCIÓN DE ESCENARIOS

**Caso Base**

**Análisis de sensibilidad**

- Tasa de descuento
- LOLP
- Disponibilidad de combustible
- Costos ENS
- Costos de construcción

**Criterios Fiabilidad**



**CUBAENERGIA**

# Escenarios Económicos

## Referencia

**Demanda crece 5.2% y 2.5%**

## Bajo

**Compra 100 GWh MINAZ , PMD  
Demanda crece 5.2% 2000  
y 1.4% 2015**

## Alto

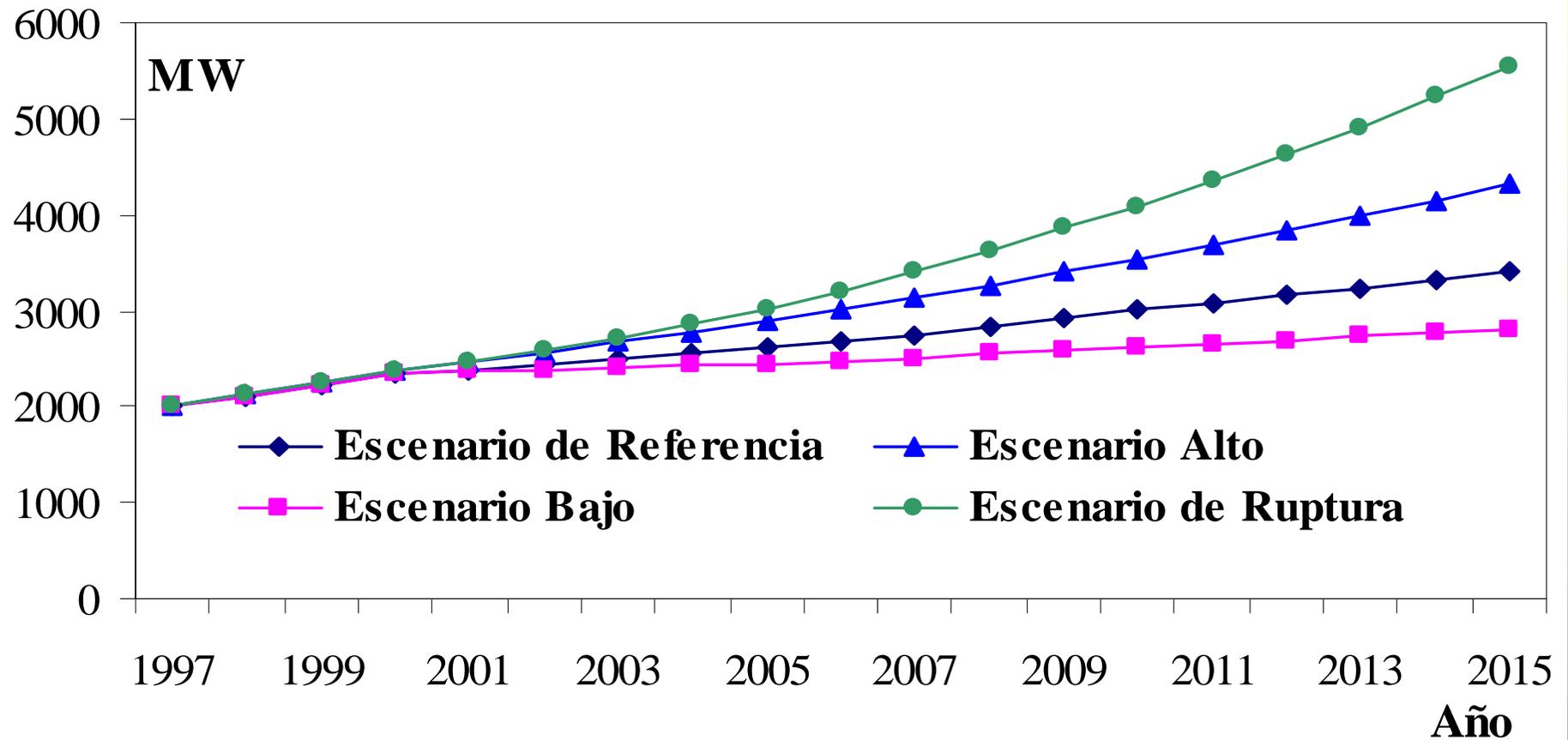
**Sin compra MINAZ.  
Sin efecto PMD.  
Demanda crece 5.7% y 4.1%**

## Ruptura

**Demanda crece 5.7% y 6.3%**



# Crecimiento de la demanda



CUBAENERGIA

# Premisas para la expansión del SEN

- 👍 **Período de estudio: 1997-2015**
- 👍 **1997 Año Base**
- 👍 **Tasa de Descuento: 12%**
- 👍 **Costo ENS: 1.9\$/kWh**
- 👍 **LOLP: 0.5% (44 h/a)**
- 👍 **Márgenes de Reserva: 15-45%**
- 👍 **LDC constante en el período**



## Plan de expansión óptimo: Costos Totales Mínimos

$$B_j = \sum_{t=1}^T \left[ \bar{I}_{j,t} - \bar{S}_{j,t} + \bar{F}_{j,t} + \bar{L}_{j,t} + \bar{M}_{j,t} + \bar{O}_{j,t} \right]$$

**I- Costos capitales de inversión.**

**S- Costo residual.**

**F- Costos del combustible.**

**L- Costos del inventario de combustible.**

**M- Costos de operación y mantenimiento.**

**O- Costos de la energía no servida.**

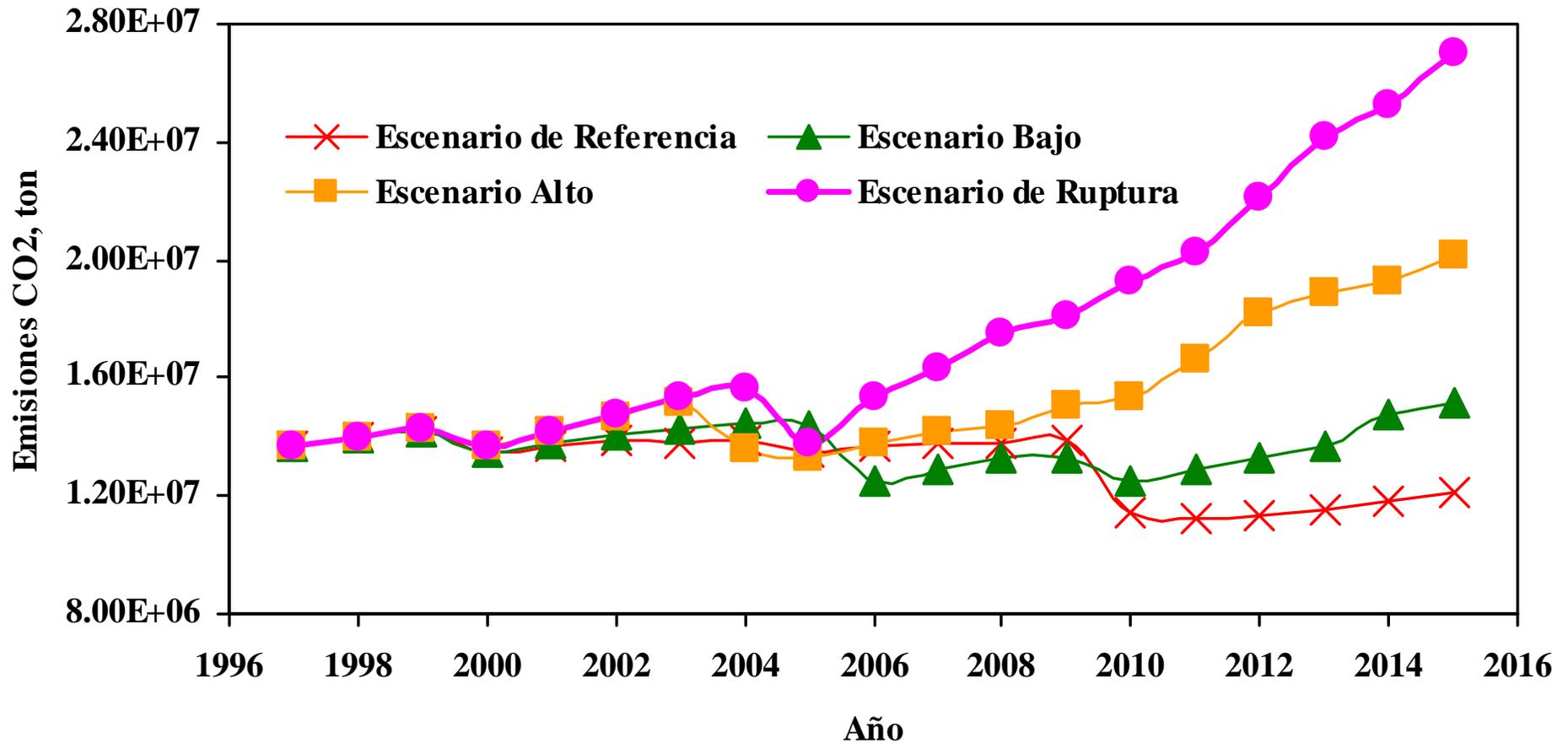


# Resultados de expansión para cada escenario

	Escenario Bajo	Escenario de Referencia	Escenario Alto	Escenario de Ruptura
<b>Hidroeléctricas</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Biomasa Cañera</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Central Electronuclear</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Ciclo Combinado</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Motor Diesel</b>	<b>1</b>			
<b>Turbina de Gas</b>	<b>1</b>			
<b>CTE Oil</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
<b>CTE Carbón</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Total, MW</b>	<b>931</b>	<b>1 664</b>	<b>2 627</b>	<b>4 047</b>



# Emisiones de CO<sub>2</sub> para cada Escenario



# Evaluación de la entrada del proyecto HAB4 en el 2001

👎 **La reserva del sistema alcanza el 55%**

👎 **Mercado sobre-equipamiento**

👎 **Factor de utilización de la capacidad instalada 50%**

👎 **Los costos totales durante el período crecen**

👎 **en 176 MM USD**

👎 **Las emisiones crecen**



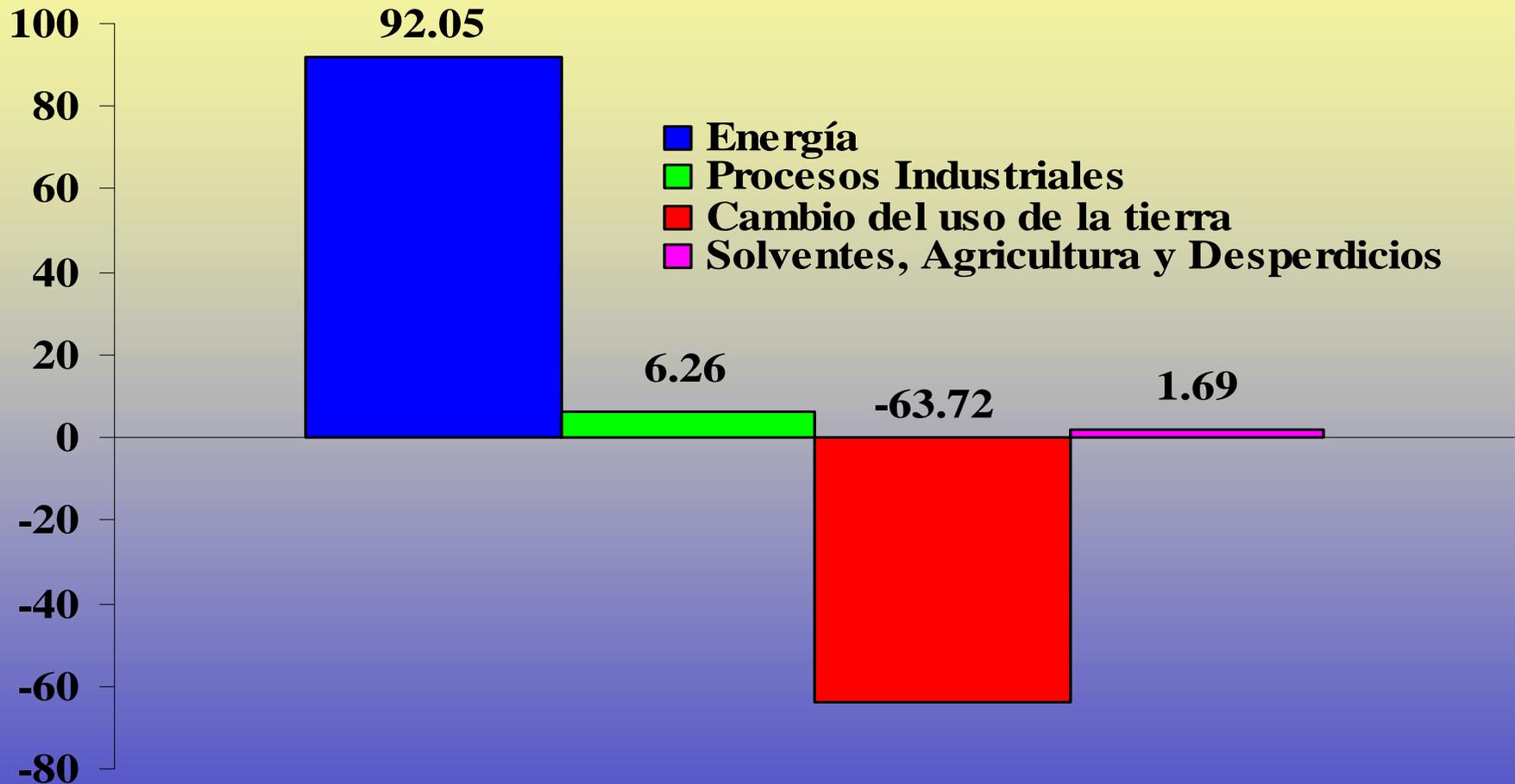
# Papel de la CEN en la expansión del SEN

- 👍 **Costos de inversión superiores. Costos de O&M y combustibles menores. Durante el período se ahorrarían entre 330 y 500 MM USD.**
- 👍 **En CEN, hidroeléctricas y biomasa cañera se generarían 33900 GWh. Si esto fuera generado en CTE se emitirían en el período unas 26 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y 570 mil toneladas de SO<sub>x</sub>.**
- 👍 **Un bloque de la CEN reduce el 80% de estas emisiones que representan el 15% de las emisiones de la generación de electricidad en 1997**



# Inventario Nacional de emisiones 1990

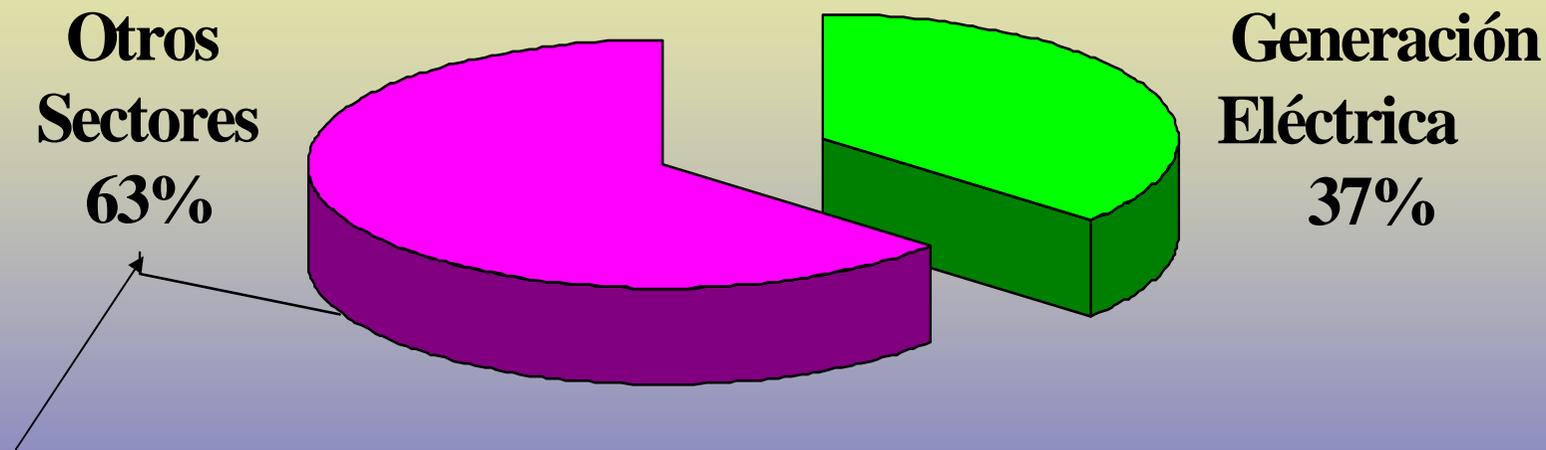
## 13 656 710 ton GEI



**CUBAENERGIA**

# Emisiones Sector Energía:

33 155 056 ton CO<sub>2</sub>

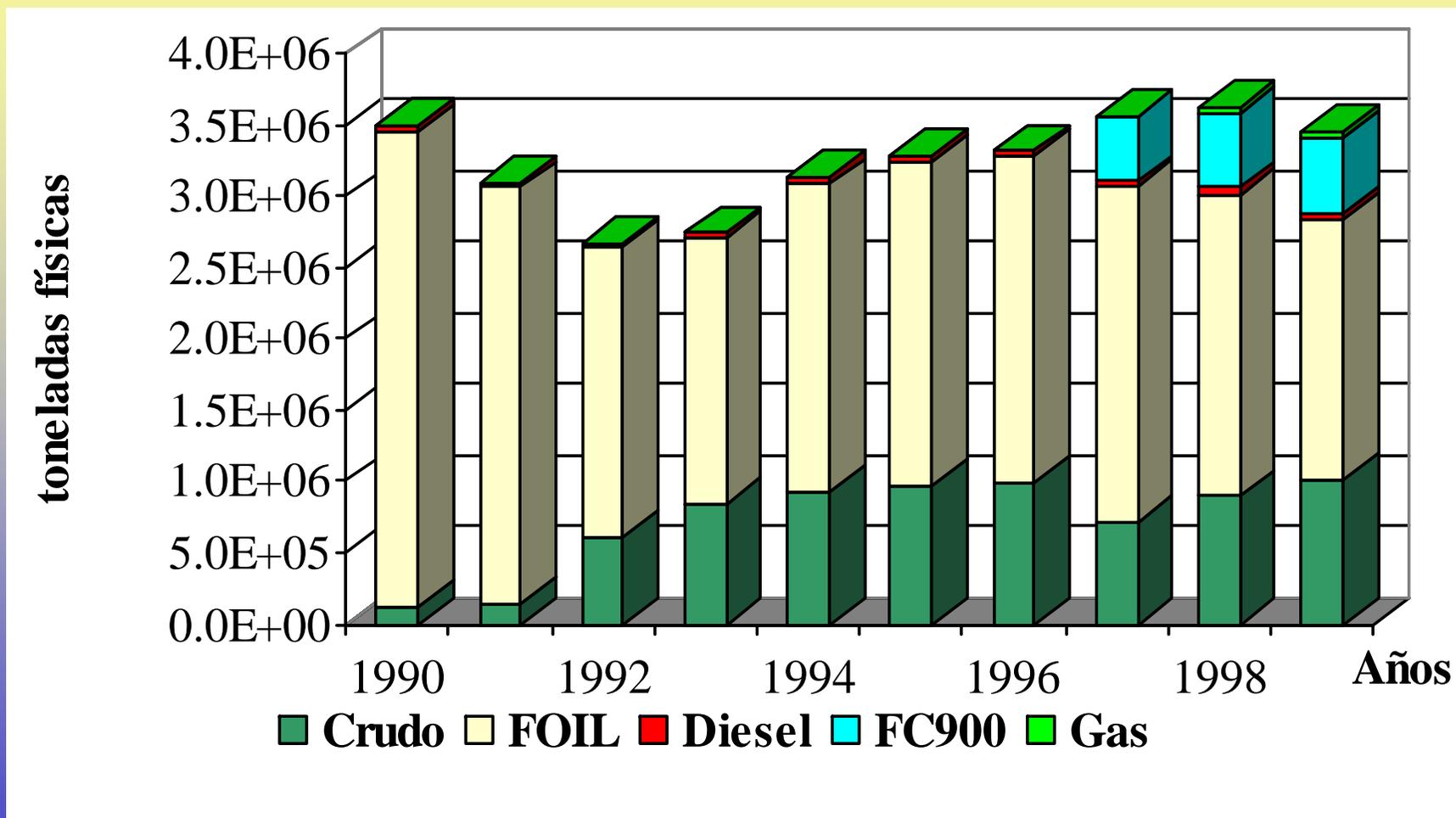


(Transporte, Manufactura, Industria de la Construcción, Sector Residencial)

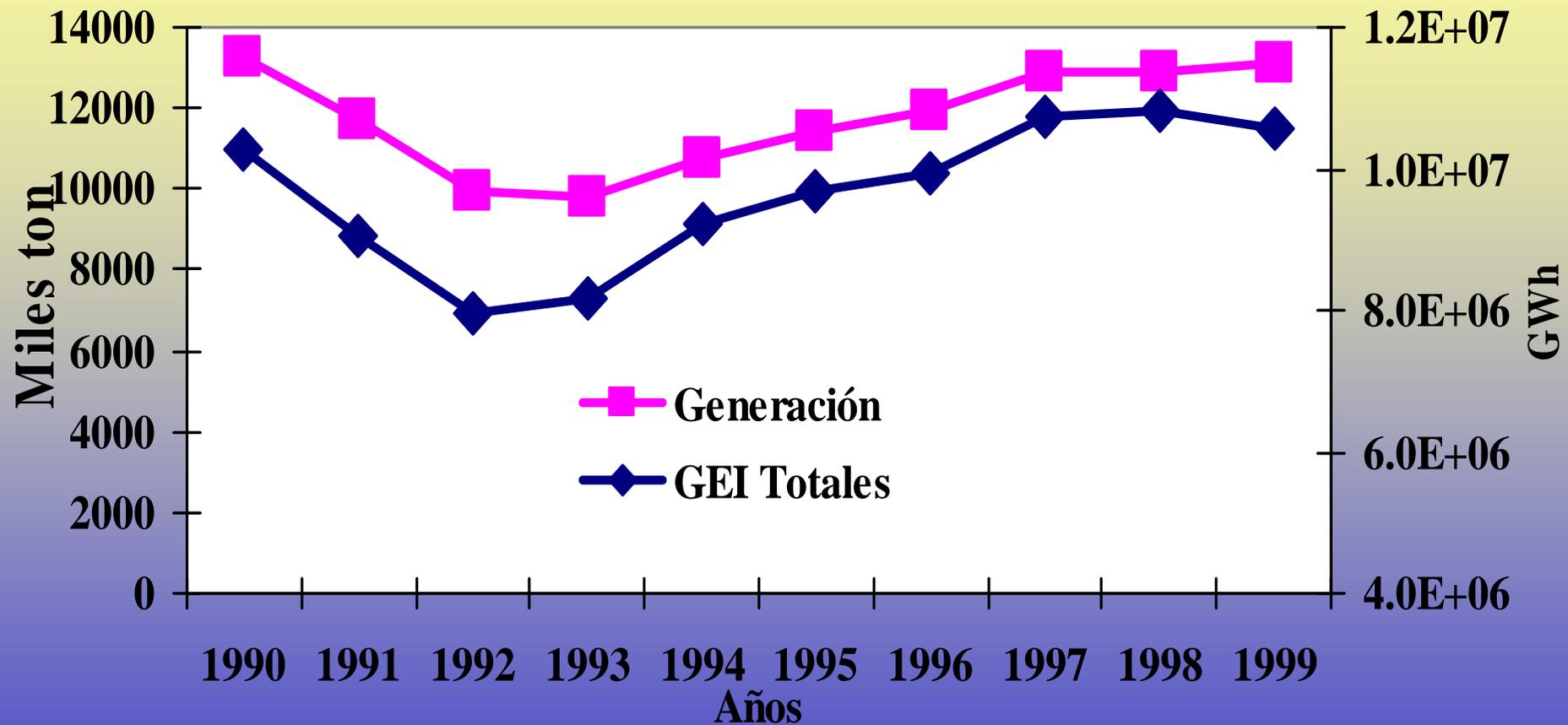


CUBAENERGIA

# Estructura del consumo de combustible para la generación de electricidad 1990-1999

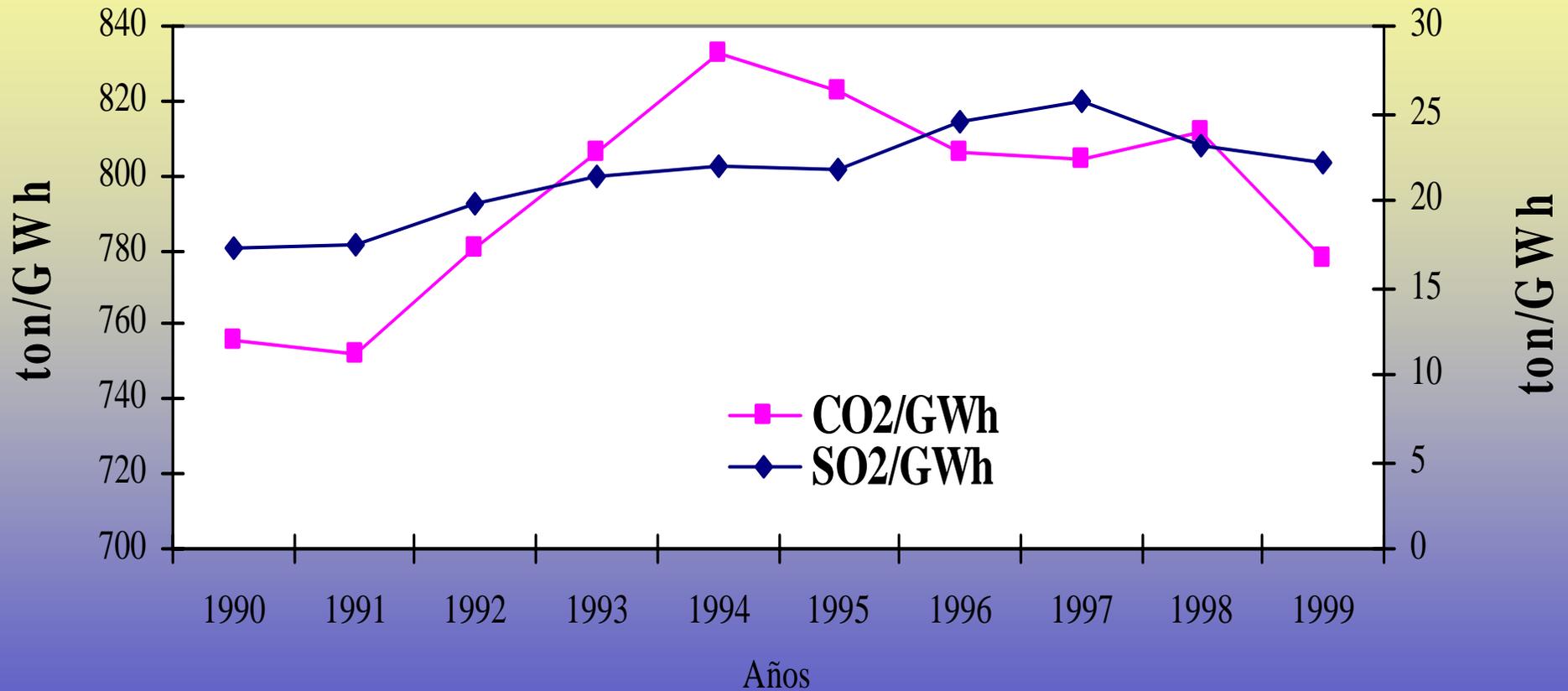


# Comportamiento emisiones totales de GEI y generación 1990-1999 del SEN



**CUBAENERGIA**

# INDICADORES: CO<sub>2</sub>/GWh y SO<sub>2</sub>/GWh



**CUBAENERGIA**

# Opciones de mitigación

**Modernización**

**Programa de Manejo  
de la Demanda**

**Disminución de  
las pérdidas**

**Introducción TG y CC**

**Proyectos hidráulicos**

**Energía nuclear**

**Incremento de utilización  
de la biomasa cañera**



**CUBAENERGIA**

# Escenarios de mitigación

**Escenario Base**: Candidatas CTE 350 MW con FC900

**Escenario I**: Candidatas proyectos hidráulicos de 20-37 MW y de biomasa cañera de 30 MW.

**Escenario II**: Idem I + CEN 417 MW.

**Escenario III**: Idem II + CC 250 MW con gas acompañante.

**Escenario de Referencia**: Idem III + Base + CTE de carbón y motor diesel de 50 MW.

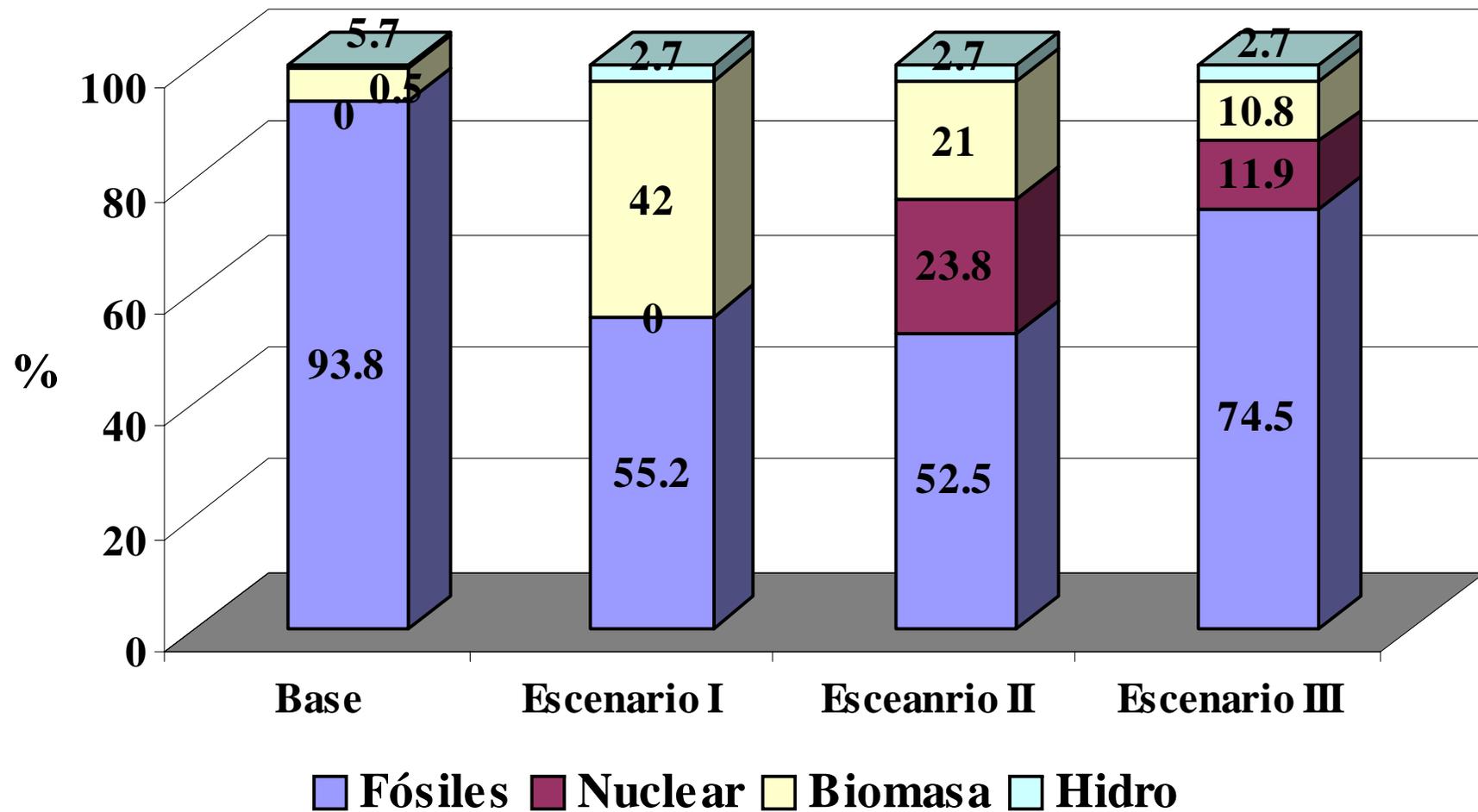


# Expansión óptima

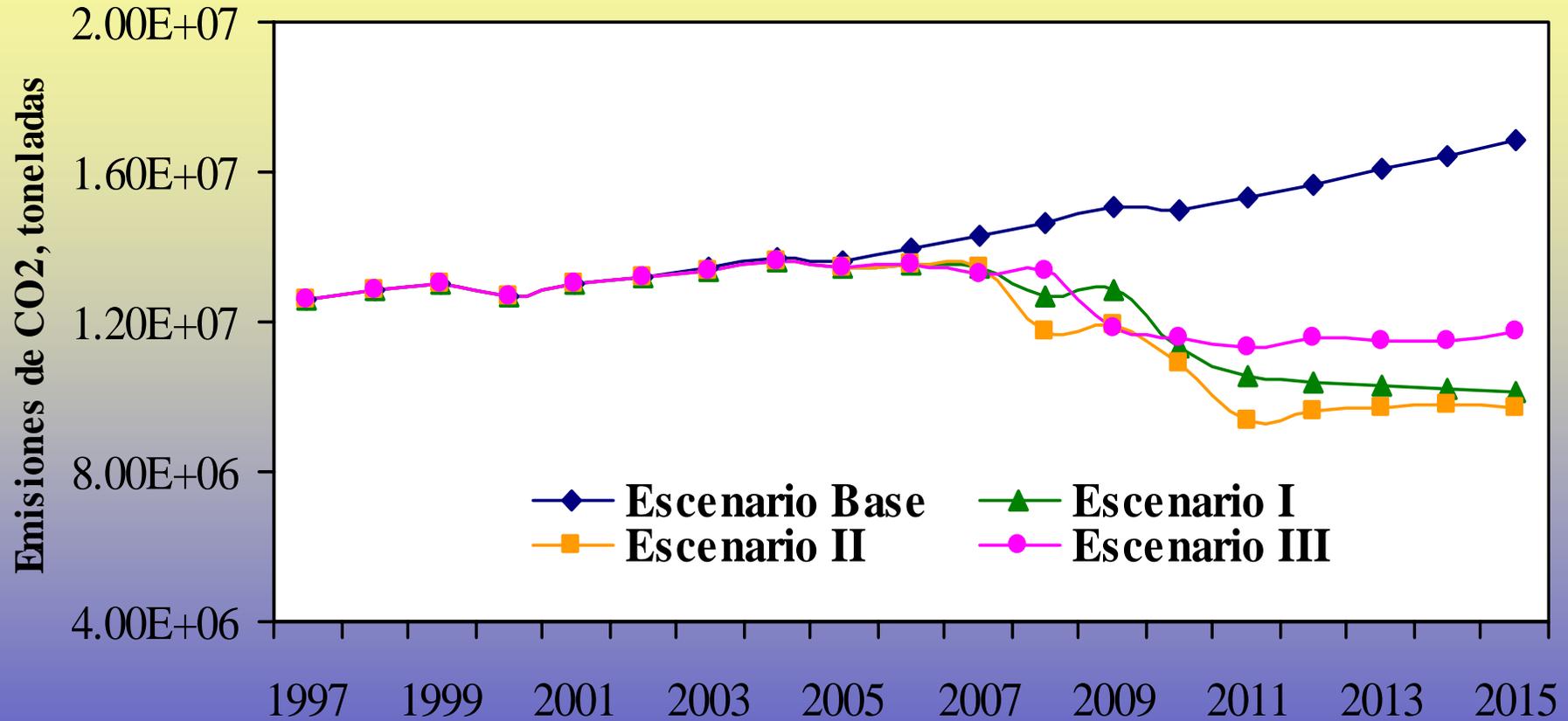
	Escenario Base	Escenario I	Escenario II	Escenario III
Hidroeléctricas		2	2	2
Biomasa Cañera		46	21	6
Central			2	1
Electronuclear				3
Ciclo Combinado	5			
CTE Oil				
<b>Total, MW</b>	<b>1665</b>	<b>1583</b>	<b>1515</b>	<b>1431</b>



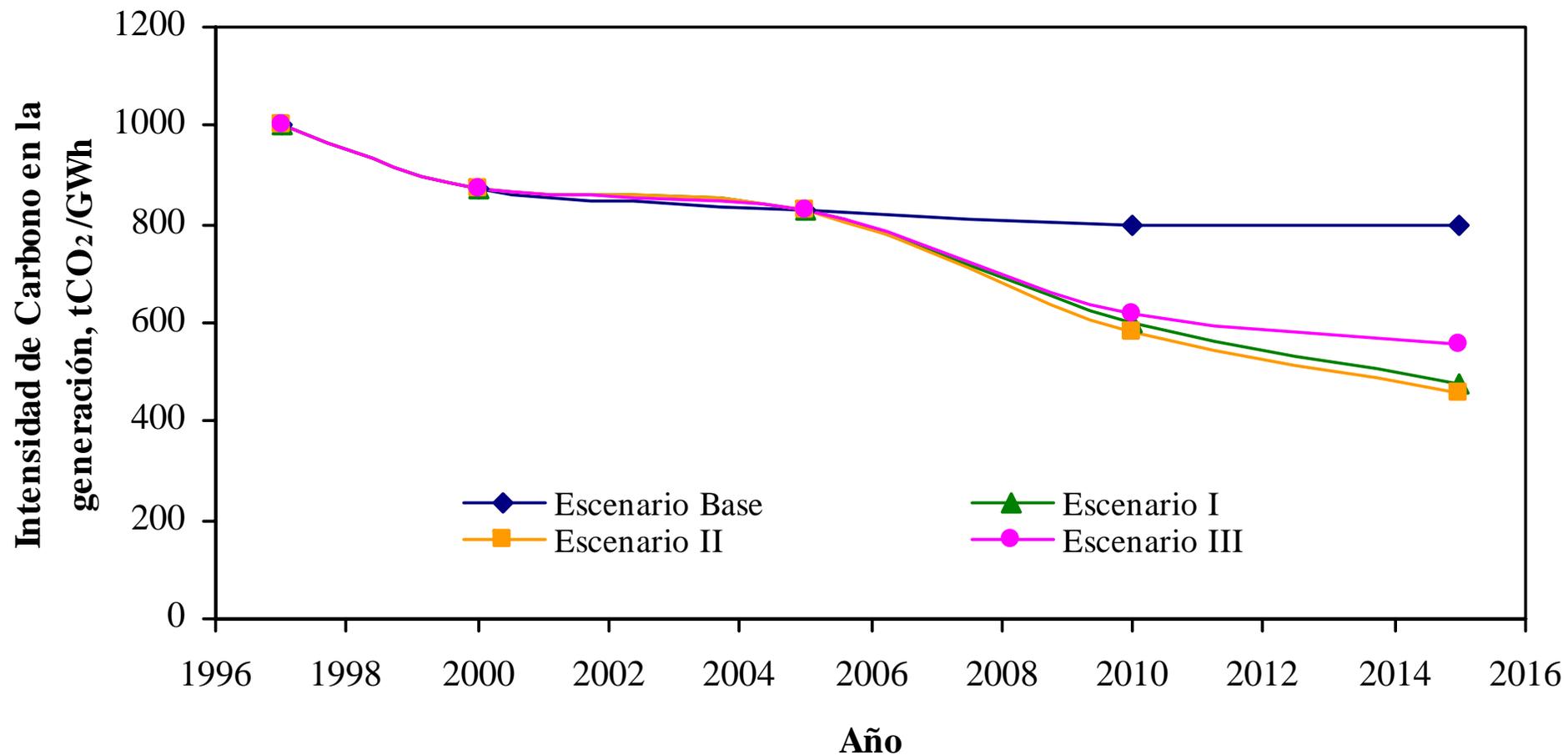
# Generación por tipo de combustible



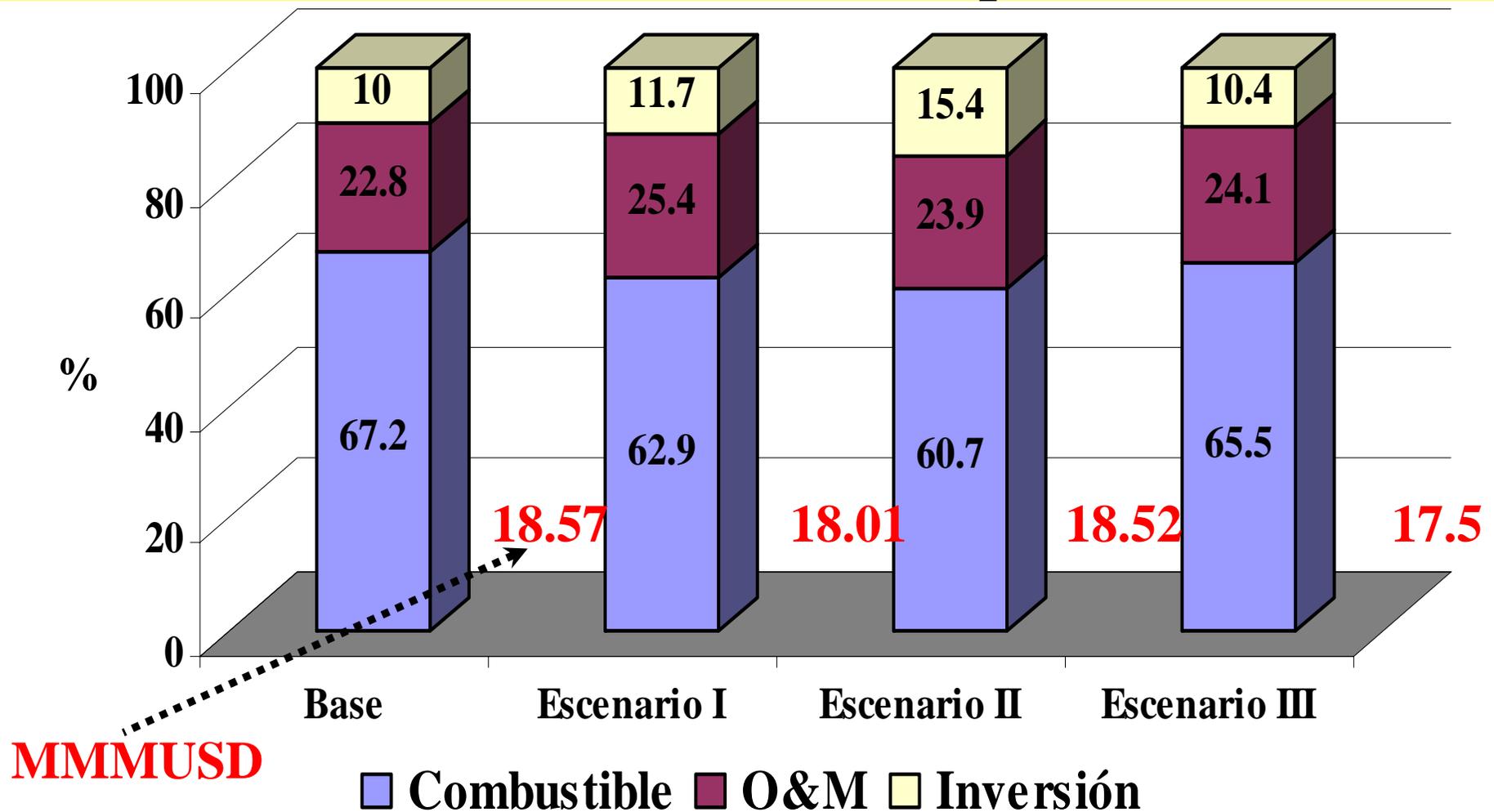
# Emisiones de CO<sub>2</sub>



# CO<sub>2</sub>/GWh



# Costos totales de expansión



**Variantes recientes de expansión del SEN**

**Variantes de retiro de unidades**

**433 MW y 761 MW**

**Variantes de proyectos firmes**

- **CC Energas Varadero 2001**
- **TG y CC Energas Jaruco 2000-2003**
- **100 MW en TG con diesel 2003**
- **60-100 MW bagazo 2003-2005**



**CUBAENERGIA**

# Candidatas para la expansión

- ↓ **CTE 200 MW**
- ↓ **Centrales hidroacumuladoras**
- ↓ **TG 35 MW con diesel**
- ↓ **CTE 330 MW**



# Proyecciones expansión

- 🏗️ **Con proyectos firmes la reserva del SEN 45-70% en los próximos años**
- 🏗️ **Se necesitan capacidades pico a partir del 2005-2008**
- 🏗️ **Base a partir del 2008**
- 🏗️ **Las CHA son competitivas hasta costos de 675 \$/kWe**



# Variante de entrada

1 CTE 200 MW

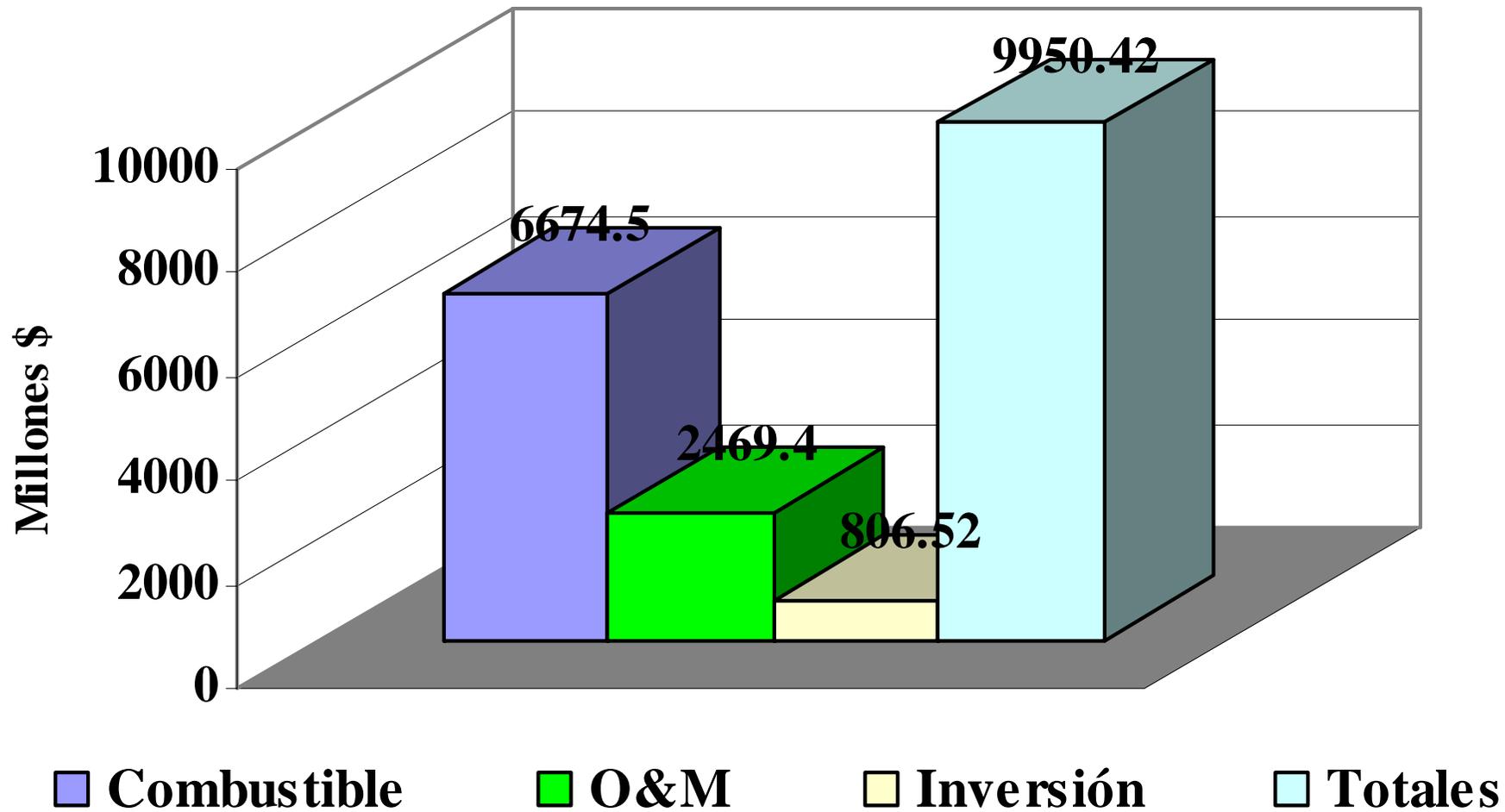
1 CTE 330 MW

13 TG 35 MW

1 CHA 120 MW



# Costos

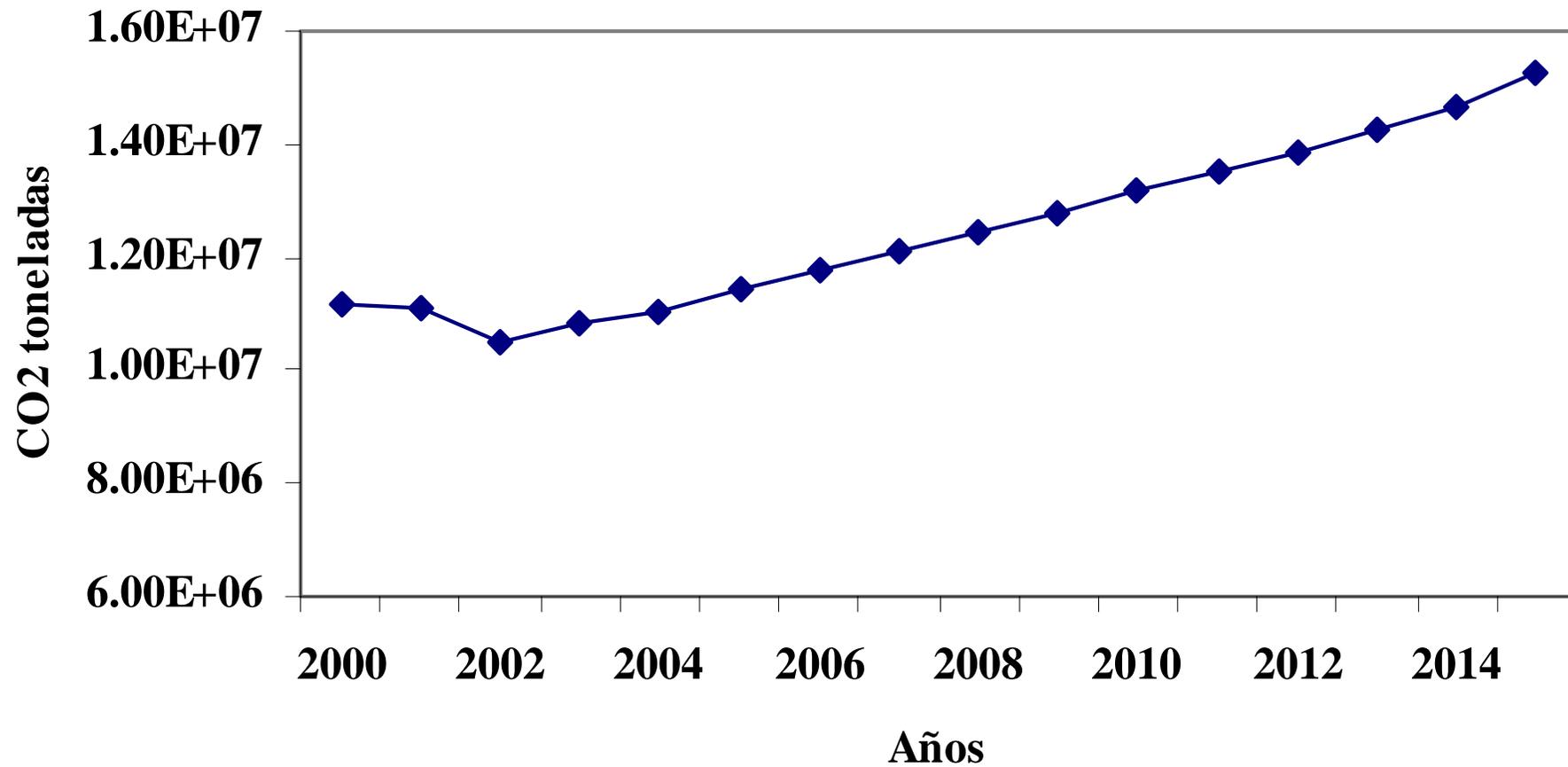


# Pronóstico utilización crudo

Año	Miles de toneladas
2005	3000-3500
2010	3700-4000
2015	4300-4800

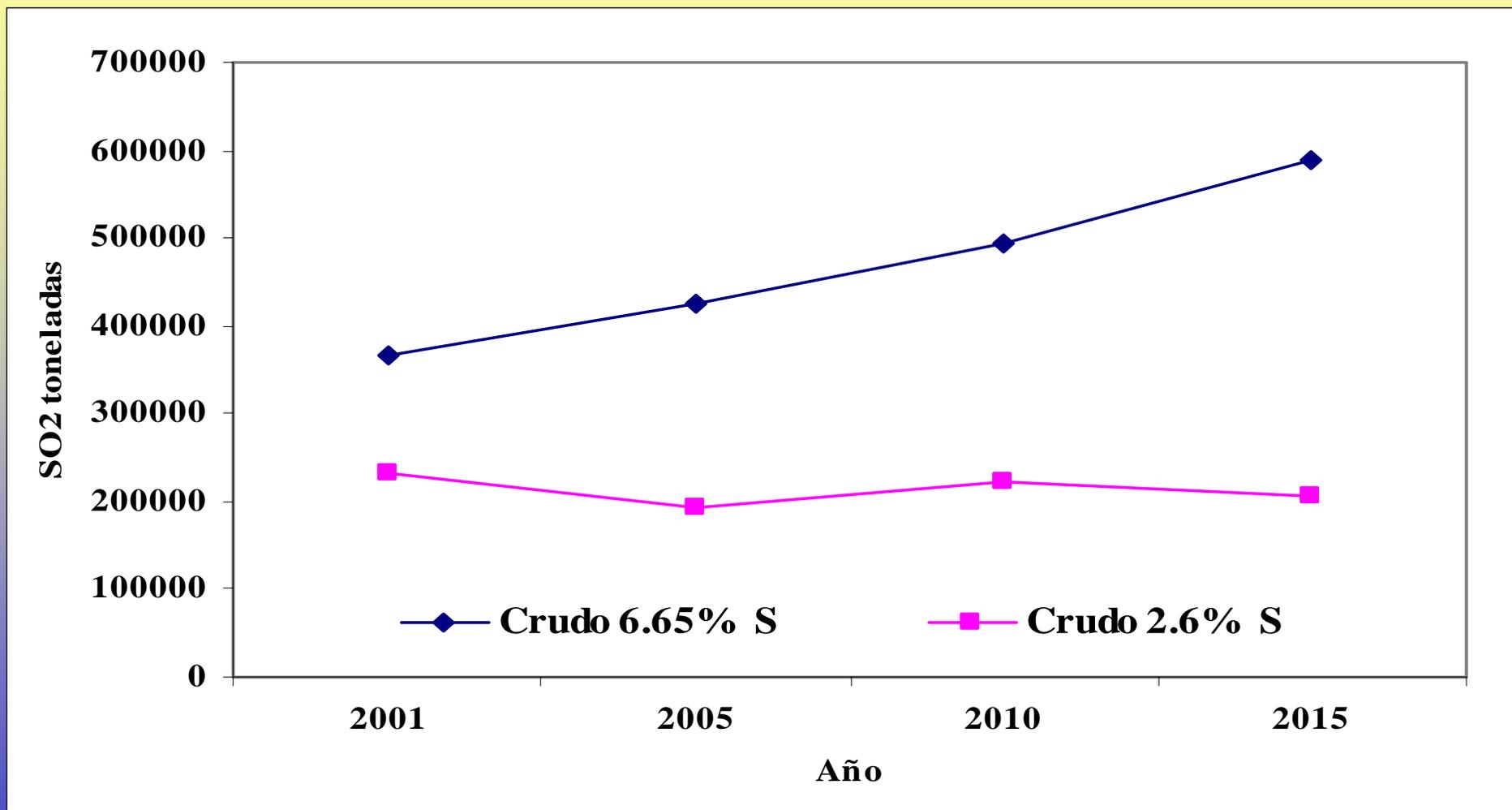


# Emisiones CO<sub>2</sub>



**CUBAENERGIA**

# Efecto desulfurización



**CUBAENERGIA**