



**Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares**

# **Participación de la Energía Nuclear en la Estrategia Nacional de Energía**

Gustavo Alonso, José Raúl Ortiz, Julián Sánchez,  
Luis Carlos Longoria, Javier C. Palacios





# Estrategia Nacional de Energía (2009-2024)



- Considera que para 2024 se debe tener una contribución de generación eléctrica con fuentes limpias del 35%
- Las fuentes limpias son:
  - Fuentes renovables:
    - Hidráulica (menor a 30 MW)
    - Eólica
    - Geotermia
    - Solar
    - Biomasa
  - La Energía Nuclear es una fuente limpia que debe tomarse en cuenta



# 2008 Generación Eléctrica



	Participación	Generación MWh
Generación con combustibles fósiles		
Ciclo Combinado	45.72 %	107,832,647
Térmica Convencional	20.08%	47,361,670
Carbón	10.546%	24,672,451
Subtotal	76.26 %	179,866,769
Generación Limpia		
Hidráulica	16.49 %	38,892,032
Geotermia	2.99%	7,055,769
Nuclear	4.16 %	9,803,976
Eólica	0.11%	254,613
Subtotal	23.74 %	56,006,381
<b>Total</b>	<b>100.0 %</b>	<b>235,873,150</b>



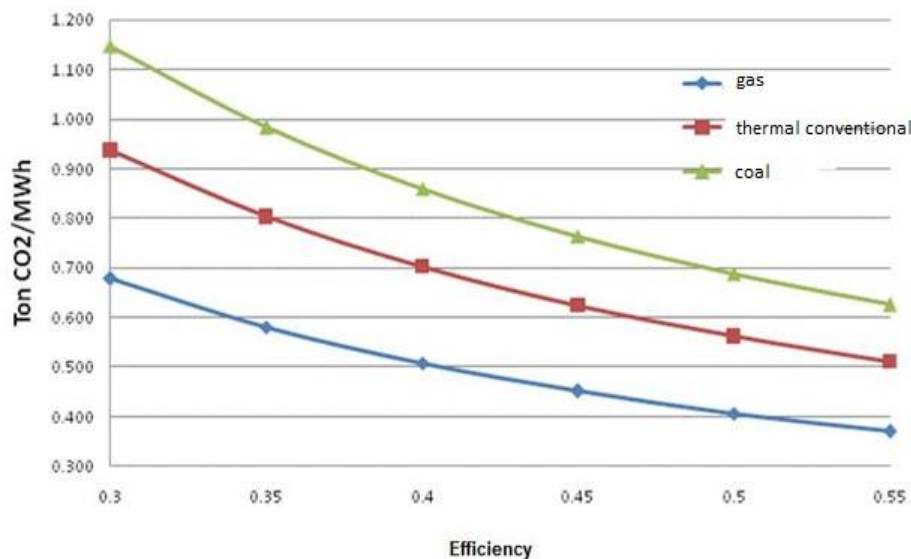
# 2008 Cálculo de Emisiones de CO<sub>2</sub>



	Eficiencias Térmicas Promedio		
	Gas Natural	Carbón	Térmica Convencional
Media	0.470114	0.36692	0.352373
Desviación Estándar	0.0250516	0.0118897	0.0176122

Fuente: Tabla de Merito, Octubre 2009. CENACE. CFE.

Nota: El regimen de carga para los ciclos combinados es de 75% y para las plantas térmicas que usan carbón es de 100%, en tanto que para las plantas térmicas que usan combustóleo es 50%, 75% y 100%



Fuente: Primary Data RETScreen. Natural Resources Canada.



# 2008 Emisiones de CO<sub>2</sub>



	Millones de Tons de CO <sub>2</sub>	Generación MWh
Generación con combustibles fósiles		
Ciclo Combinado	47.4	107,832,647
Térmica Convencional	23.4	47,361,670
Carbón	37.9	24,672,451
Subtotal	108.7	179,866,769

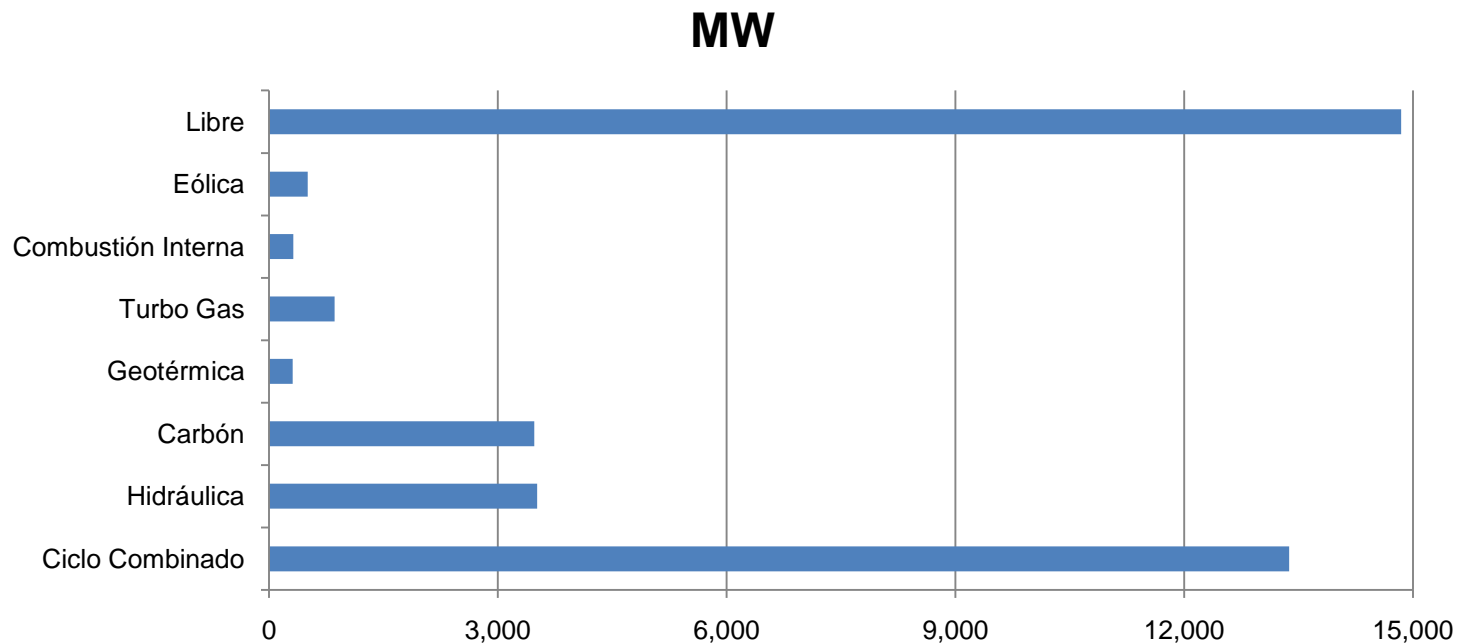
Generación Total 235,873,150 MWh

Generación Limpia 23.74%

0.460 Tons of CO<sub>2</sub> /MWh



# 37,209 MW de Adición de Capacidad en el Período 2009-2024



	Ciclo Combinado	Hidráulica	Carbón	Geotérmica	Turbo Gas	Combustión Interna	Eólica	Libre
MW	13,376	3,514	3,478	311	859	316	507	14,848

78,406 MW de capacidad instalada para 2024

Actualmente 41,197 MW

Se quiere generar 415,899 GWh



# 2024 Generación Eléctrica

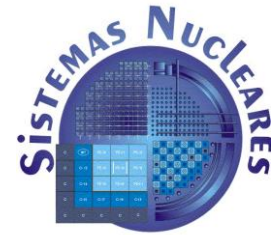


	Capacidad Instalada MW	Factor de Planta	Generación MWh
Ciclo Combinado	29,794.28	0.73	190,504,759
Térmica Convencional	6,899.73	0.34	20,760,837.5
Carbón	8546.25	0.60	44,847,358.5
Subtotal	45,240.26		256,112,955
Hidráulica	15,053.95	0.39	7,976,359
Geotermia	1,097.68	0.83	51,605,357.9
Nuclear	1568.12	0.81	1,562,523.3
Eólica	627.26	0.28	11,141,774.8
Libre	14,818.73		
Subtotal	33,165.74		72,286,015
<b>Total</b>	<b>78,406</b>		<b>328,398,970</b>

Factores de planta obtenidos de los valores promedio de producción de la CFE en 2008.



# Tecnología Libre



- Se asume que se quiere tener un 35% de Generación de Energía Limpia
- 14,818 MW de capacidad instalada serán proporcionados por fuentes limpias
- Estos deberán generar 87,500,030 MW lo que implica un factor de planta promedio de 0.6741
- Dados los factores de planta de la Energía Eólica 0.28 y de la mini-hidráulica 0.39, no es posible cubrir únicamente con alguna de ellas o una combinación de las mismas la generación requerida
- Se requiere adicionalmente hacer uso de la energía nuclear y de la geotermia





# Capacidad de las Fuentes Limpias



- Plantas Eólicas hasta de 2 MW
- Mini Hidráulica esta limitada hasta 30 MW
- Geotermia en unidades de 50 MW
- La generación III de reactores nucleares esta en un rango de 100 MW a 1600 MW, un valor promedio considerado aquí es de 1350 MW (ABWR)



# Propuesta de Implementación de Fuentes Limpias



- Alrededor del 50% (54.4%) de tecnología libre cubierta con energía nuclear, equivalente a 8,100 MW, se adicionan 6 reactores
- El resto dividido equitativamente en Eólica, mini hidráulica y geotermia, aproximadamente 2239 MW por tecnología, lo cual requiere la adición de:
  - 1109 Plantas Eólicas, 2218 MW
  - 75 Mini Hidráulicas, 2250 MW
  - 45 Plantas Geotérmicas, 2250



# Propuesta para 2024



	Capacidad Instalada MW	Factor de Planta derivado de la operación	Generación MWh
Generación con combustibles fosiles	45,240.26		256,112,955
Hidráulica	15,053.95	0.39	7,976,359
Geotermia	1,097.68	0.83	51,605,357.9
Nuclear	1568.12	0.81	1,562,523.3
Eólica	627.26	0.28	11,141,774.8
Geotermia Adicional	2250	0.83	1,634,9703.4
Hidráulica Adicional	2250	0.39	7,713,061.344
Eólica Adicional	2218	0.28	5,525,209.216
Nuclear Adicional	8100	0.81	57,551,957.73
Subtotal	33,165.74		159,425,946.6
<b>Total</b>	<b>78,406</b>		<b>415,538,901.6</b>

Generación Limpia 38.4%, con lo cual se alcanza la meta de la ENE y la Generación proyectada en el POISE 2010-2024



# 2024 Emisiones de CO<sub>2</sub>



	Millones de Tons de CO <sub>2</sub>	Generación MWh
Ciclo Combinado	81.91704622	190504758.6
Térmica Convencional	16.60866998	20760837.48
Carbón	42.60499087	44847358.82
Generación con Combustibles Fósiles	141.1307071	256,112,955
Geotermia		67,955,061.30
Hidráulica		15,689,420.30
Eólica		16,666,984.00
Nuclear		59,114,481.00
Subtotal		159,425,946.60
<b>Total</b>		<b>415,538,901.60</b>

Generación limpia 38.4%

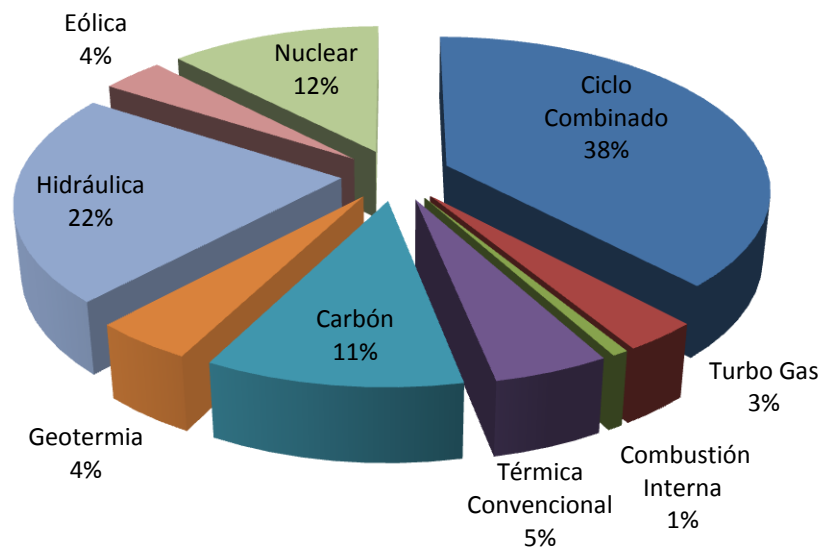
0.340 Tons of CO<sub>2</sub> /MWh una reducción del 27%



# Participación de Tecnologías en 2024 de Acuerdo a Propuesta



Tecnología	Capacidad Instalada
Ciclo Combinado	29,794
Turbo Gas	2,509
Combustión Interna	549
Térmica Convencional	3,843
Carbón	8,546
Geotermia	3,348
Hidráulica	17,304
Eólica	2,845
Nuclear	9,668
<b>Total</b>	<b>78,406</b>





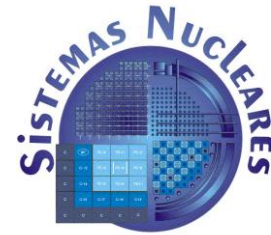
# Estrategia Considerando Capacidad Instalada



- Si la ENE considera la capacidad instalada entonces solo 8,818 MW son de Tecnología Limpia para cubrir la meta de 35% de capacidad instalada de generación limpia
- La generación menos contaminante es la de ciclo combinado, adicionalmente se incluirían 6,000 MW
- Lo que aumentara 16.046 millones de tons de CO<sub>2</sub> dando como resultado una emisión de 0.378 millones de tons de CO<sub>2</sub> /MWh generado y solo una participación del 30% de la generación limpia.
- Manteniendo la participación de Eólica, Hidráulica y Geotermia, esto solo da lugar a la adición de dos reactores 2700 MW.



# Alternativas de Reactores



## Características Generales de los Reactores

---

Tiempo de vida útil (años)	Factores de Planta (%)	Potencia Eléctrica (MW)	Tiempo de Construcción (años)	Overnight Cost (US\$/kW)	Costo de Combustible US\$/MWh	O&M Costo US\$/MWh
40	90	1350	5	2500-3500	6.80	7.83

---

ABWR            1350 MW  
EPR             1600 MW  
AP1000        1100 MW



# Costo Nivelado



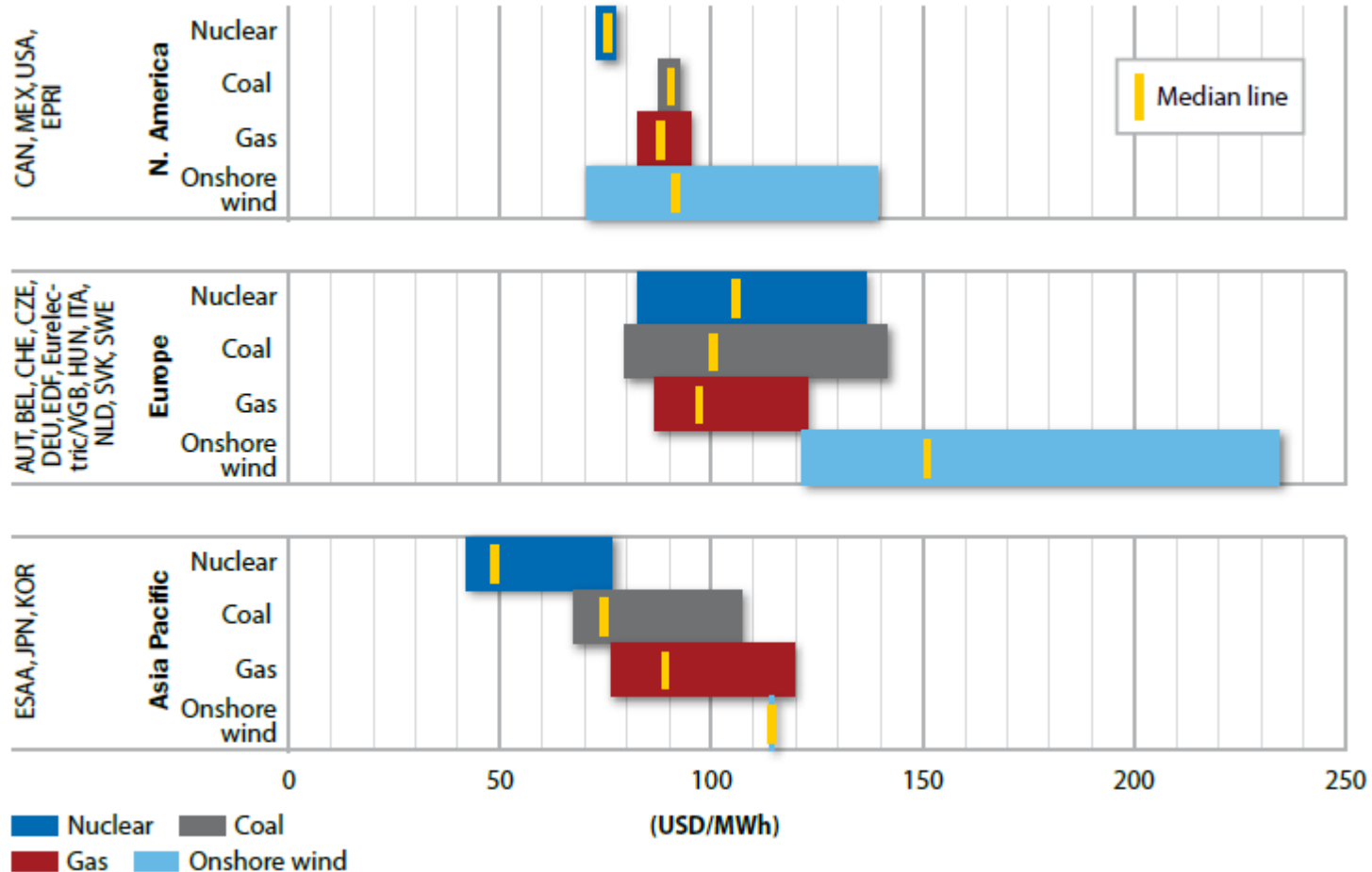
Tasa de Descuento	Costo Nivelado US\$/MWh			Costo de Inversión US\$ Millones			Inversión sin intereses US\$ Millones
	5%	8%	10%	5%	8%	10%	
Overnight Cost US\$/kW							
2500	36.63	47.98	55.95	4028.57	4334.59	4547.82	3375
3000	40.97	54.57	64.14	4834.28	5201.51	5457.39	4050
3500	45.31	61.17	72.34	5639.99	4334.59	6366.95	4725





# Costo Nivelado OECD 2010

10 % tasa de descuento



**With financing costs at 10%, coal-fired generation, followed by coal with CC(S), and CCGTs are the cheapest sources of electricity globally but not in every region**



# Alternativas de Financiamiento



- Dos alternativas de financiamiento pueden ser consideradas para un proyecto nuclear:
  - CFE provee de sus propios recursos el capital de inversión;
  - La segunda alternativa es a través de créditos internacionales y nacionales



# Recursos Propios de la CFE



Potencia Eléctrica (MWe)	Costo de Oportunidad	Overnight Cost (US\$/kW)	Inversión sin intereses (millones de US\$)	Inversión con costo de oportunidad (millones de US\$)
1350	8%	2500	3375	4335
		3000	4050	5202
		3500	4725	6068

Anual

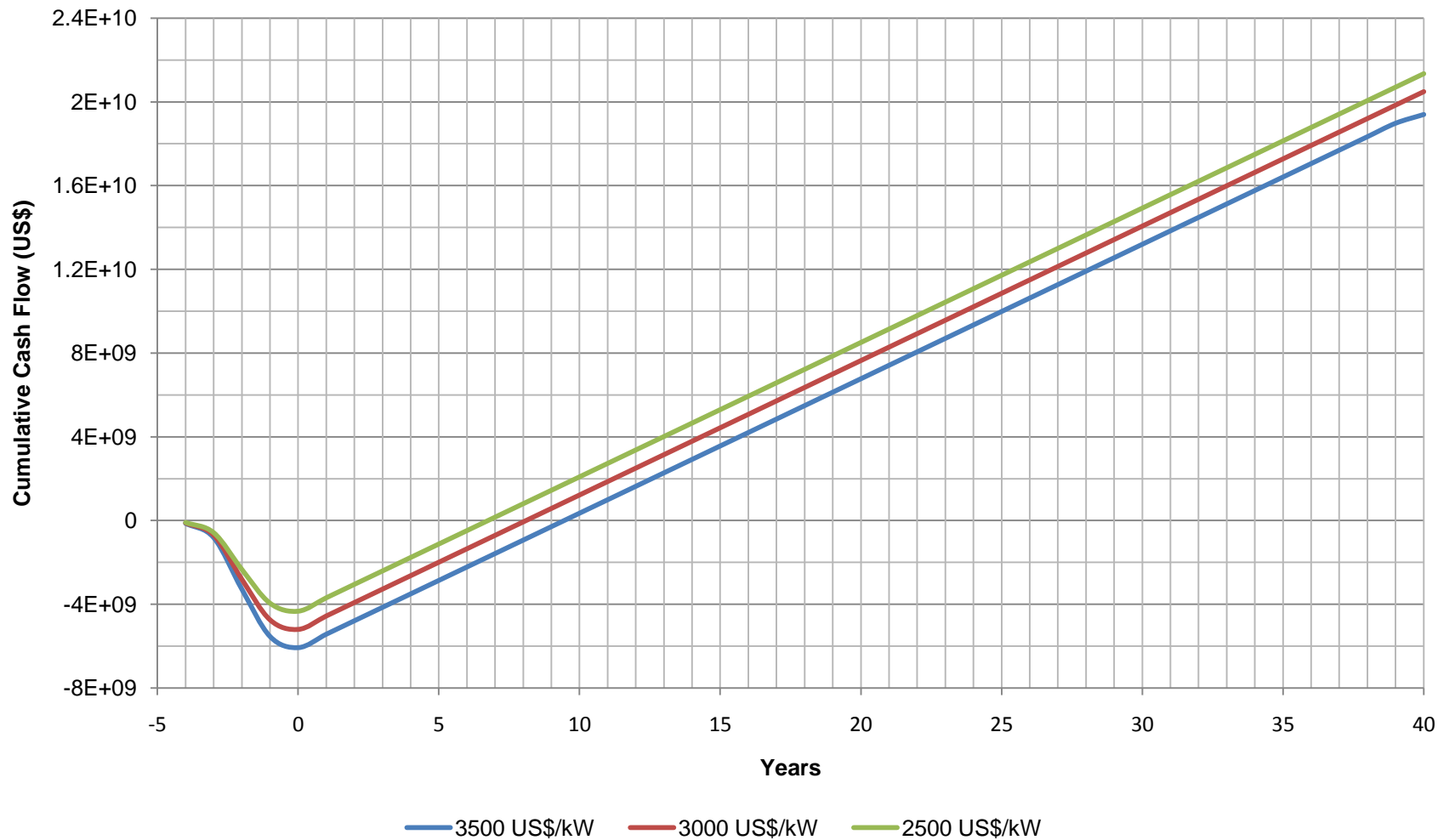
Generación GWh	Costo de Combustible US\$	Costo de O&M US\$	Fondo de B & D* US\$	Precio de venta de la Electricidad US\$/MWh	Ingreso por venta US\$
10,359.92	96,192,154	48,512,045	48,512,045	87.07	902,038,234
				100.00	1,035,992,000

\*B & D: disposición de combustible gastado y desmantelamiento



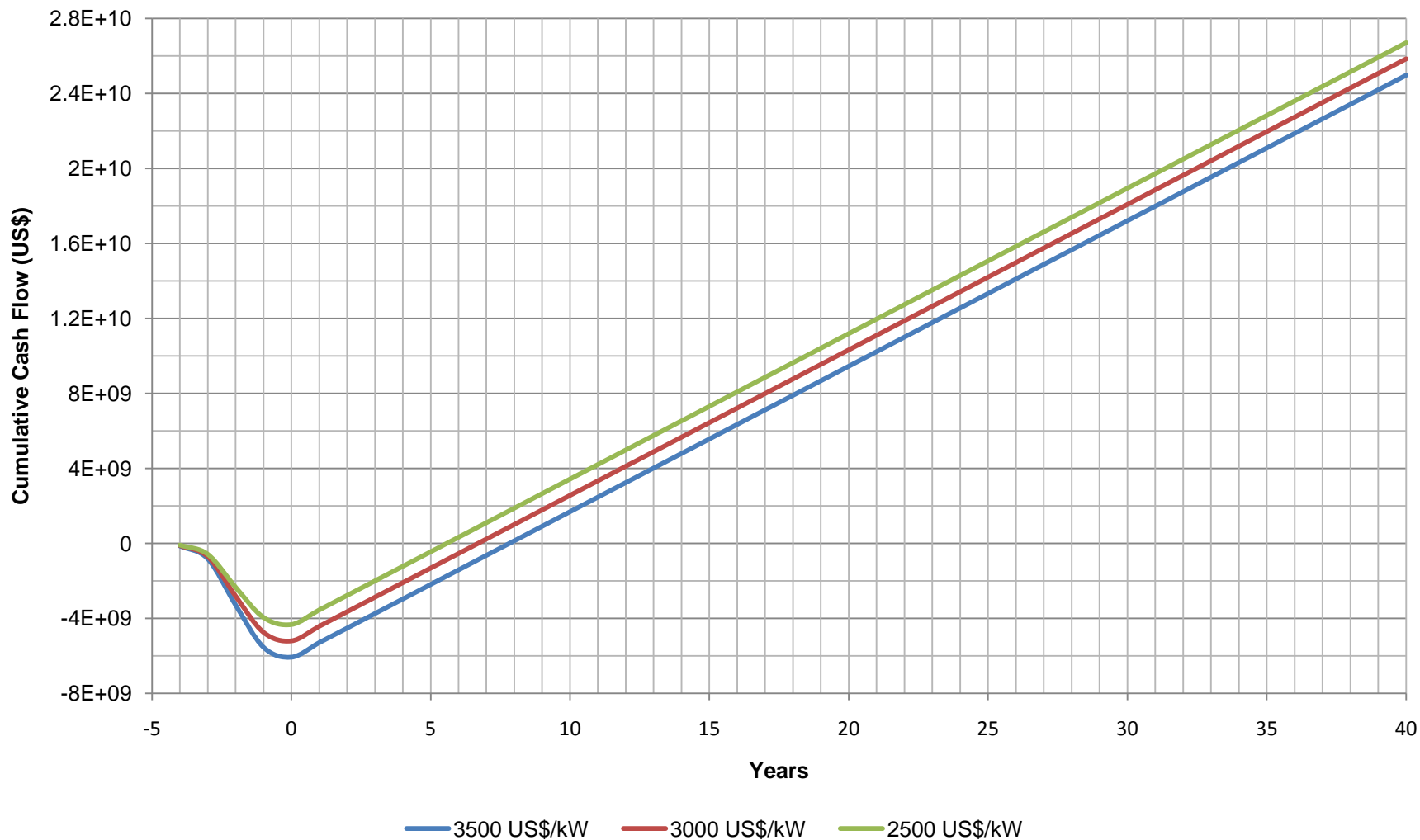
# Flujo de Efectivo Acumulado

## 87.07 US\$/MWh



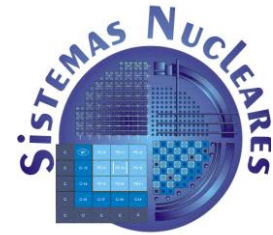


# Flujo de Efectivo Acumulado 100 US\$/MWh





# Financiamiento Mediante Credito

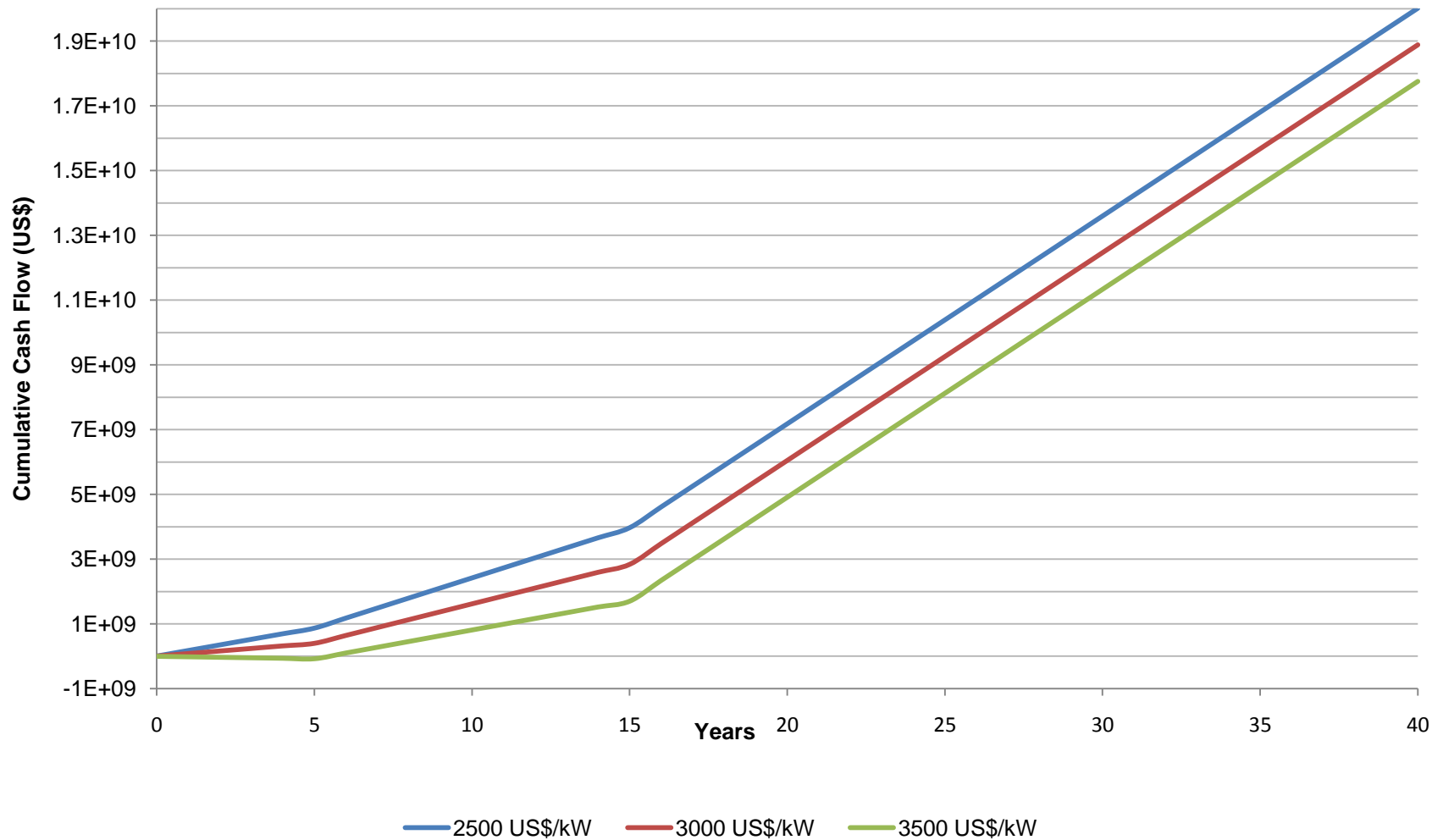


- Las condiciones del crédito internacional supuesto son:
  - Período de pago del crédito: 15 años.
  - 30 pagos semestrales
  - Período de gracia: 6 meses despues de la operación comercial.
  - Tasa de descuento anual en dólares del 8%.
- Las condiciones del crédito nacional son:
  - Período de pago del crédito: 5 años.
  - 10 pagos semestrales
  - Primer pago: al inicio de la operación comercial
  - Tasa de descuento en dólares del 12%.



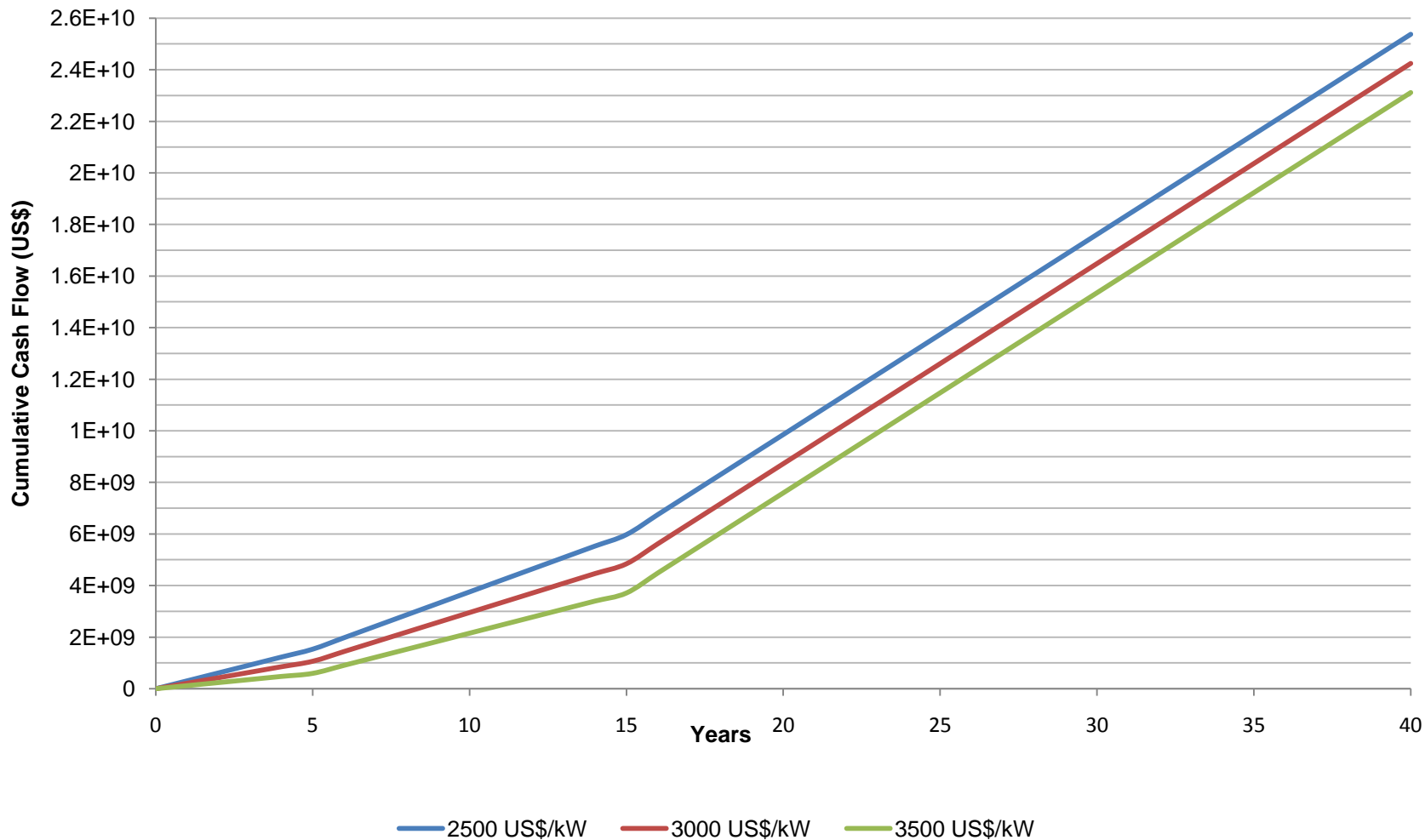
# Flujo de Efectivo Acumulado

## 87.07 US\$/MWh





# Flujo de Efectivo Acumulado 100 US\$/MWh







# Conclusiones



- La energía nuclear debe ser una parte importante en la diversificación y uso de fuentes limpias
- La adición de al menos seis reactores 8,100 MW de los 14,800 MW de energía limpia al sistema eléctrico nacional logra una generación limpia del 35%.
- La energía nuclear es competitiva económicamente
- Mediante el financiamiento se tiene siempre un flujo de efectivo positivo haciéndolo un proyecto viable