



Energía Nuclear:

Aspectos ambientales

Situación en México

CFE

Comisión Federal de Electricidad

Guillermo Ortega Rodriguez



ININ

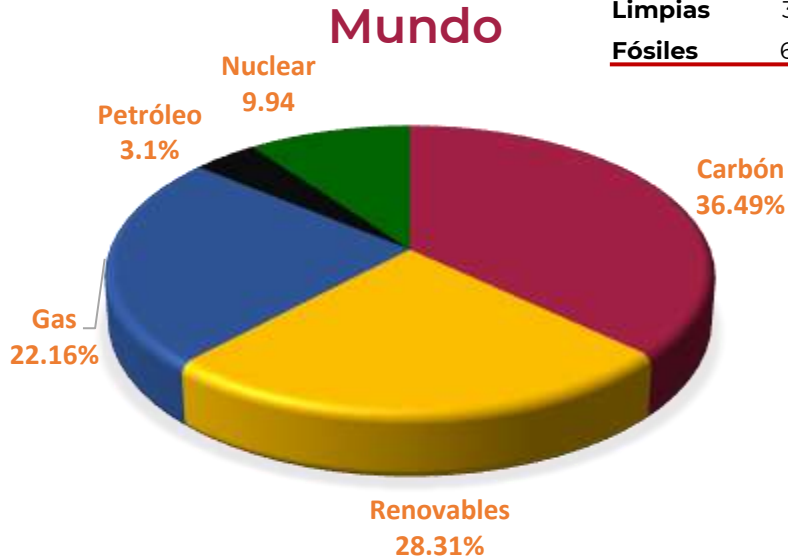
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Javier C. Palacios Hernández

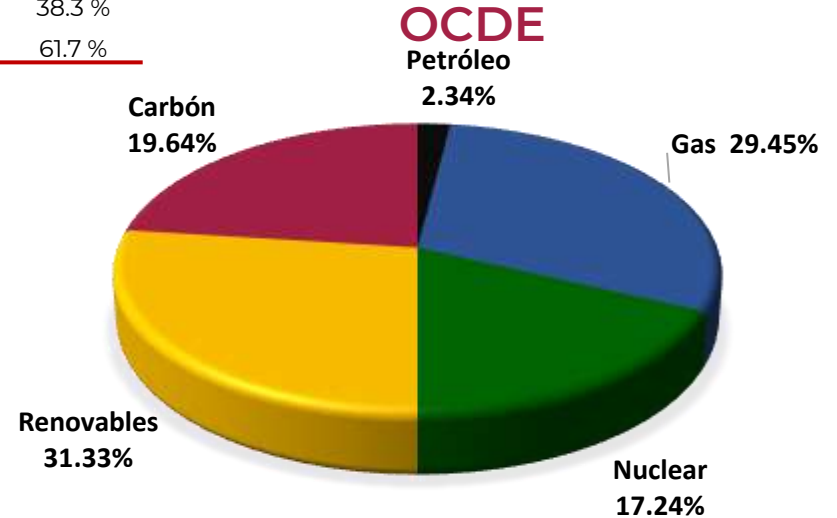




Mezcla de generación eléctrica en el mundo y la OCDE (2021)



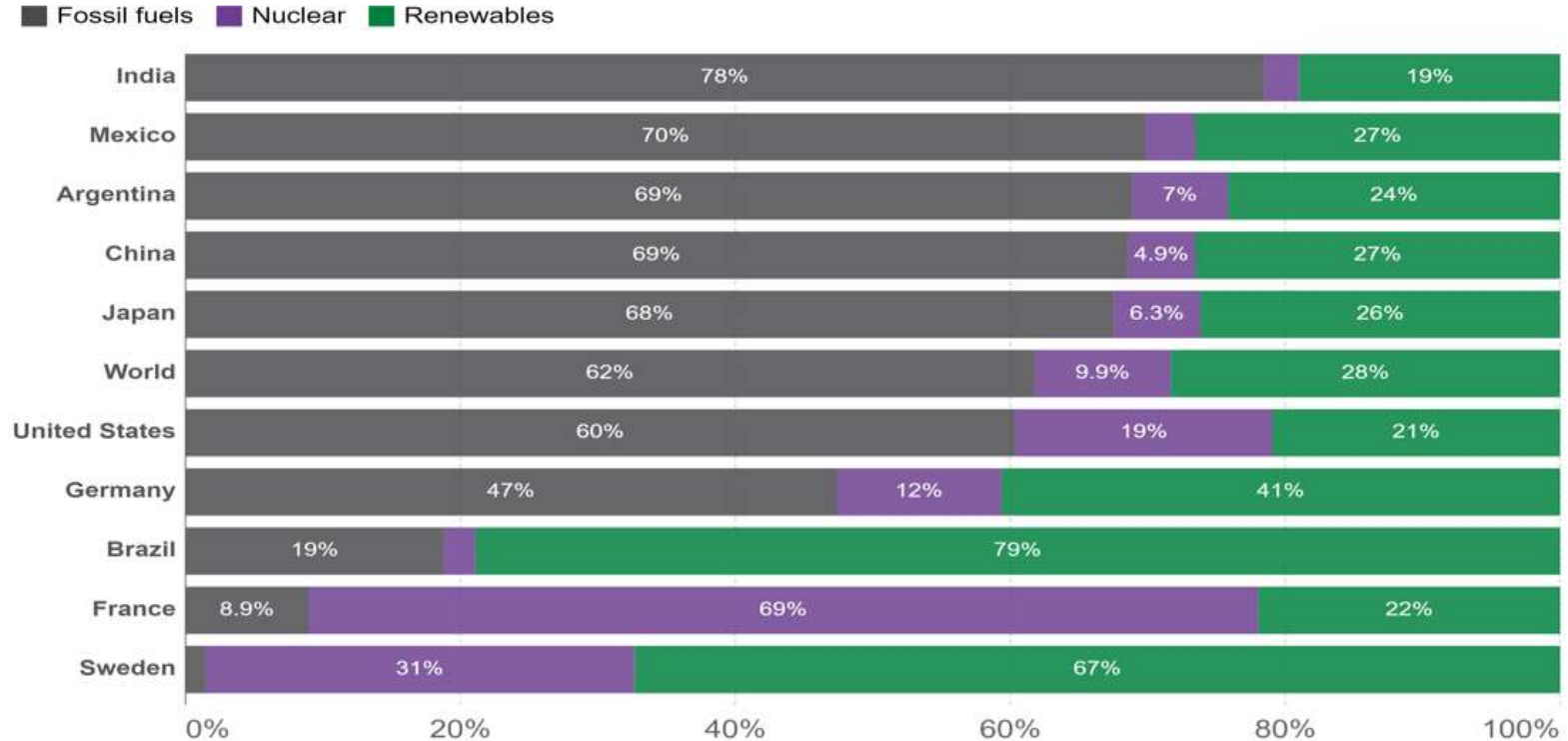
	2000	2020
Limpias	35.2 %	38.3 %
Fósiles	64.8 %	61.7 %



- En 2020 se generaron **2,700.1 TWh** por medios nucleares.
- Estados Unidos y Francia, representan el **47.5 %** de la producción nuclear mundial.

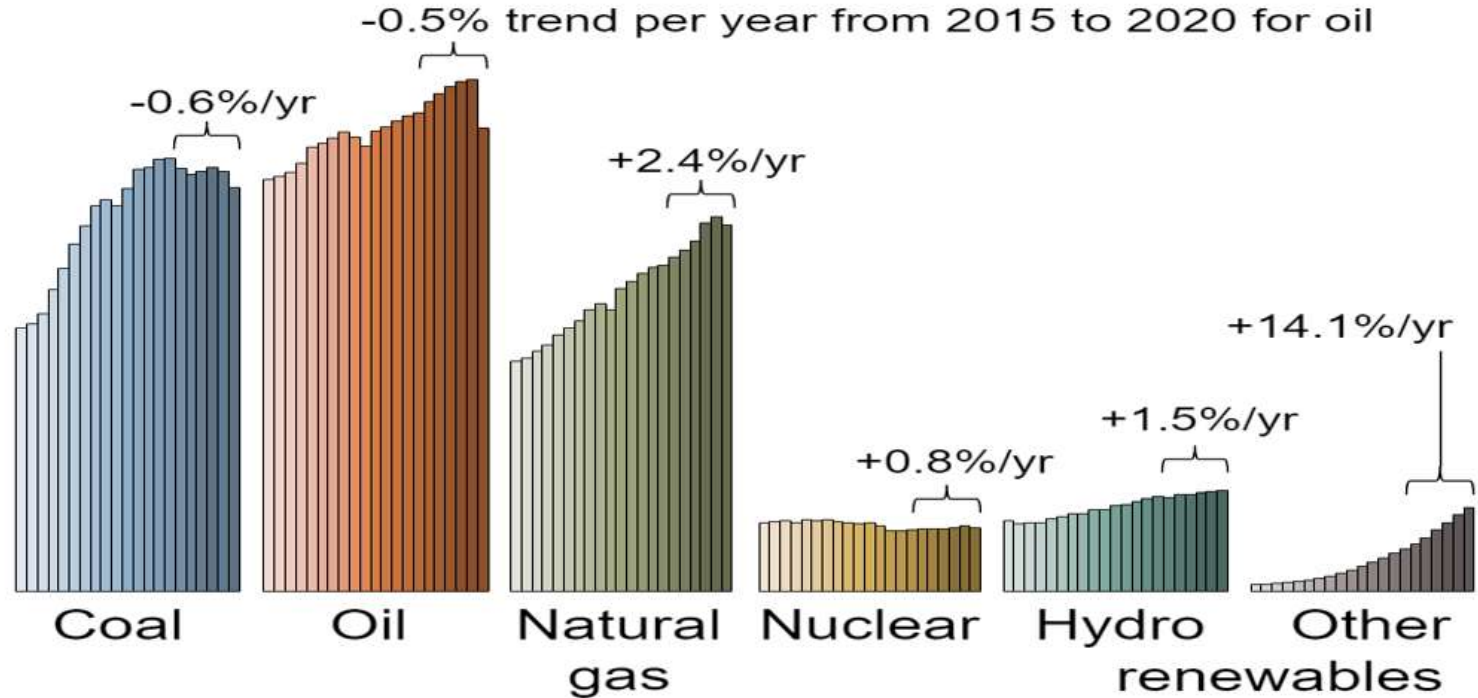


Consumo de Electricidad per cápita (fósiles, nuclear y renovables)





Consumo global de Energía 2000 a 2020



Fuente: Jackson et al.: Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health. *Environmental Research Letters* (14), 2019.



Aspectos ambientales de la Energía Nuclear

"To the optimist, the glass is half full.

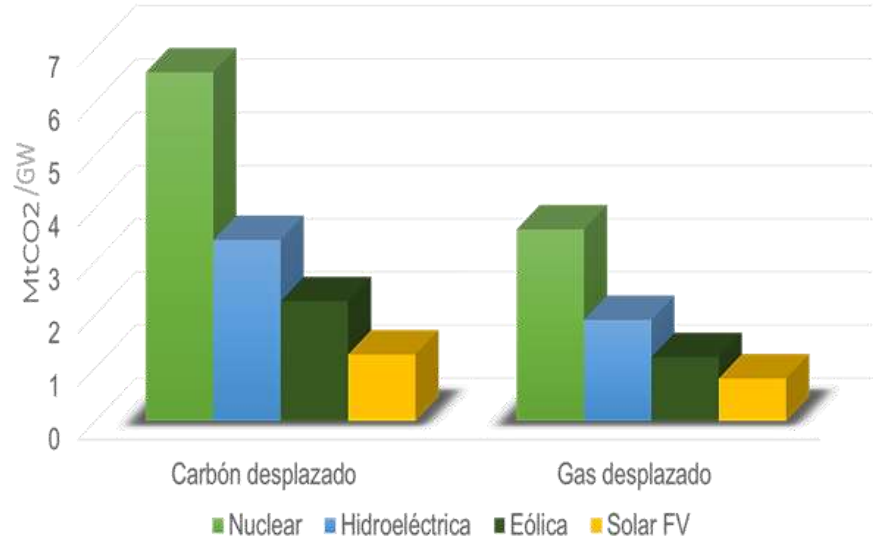
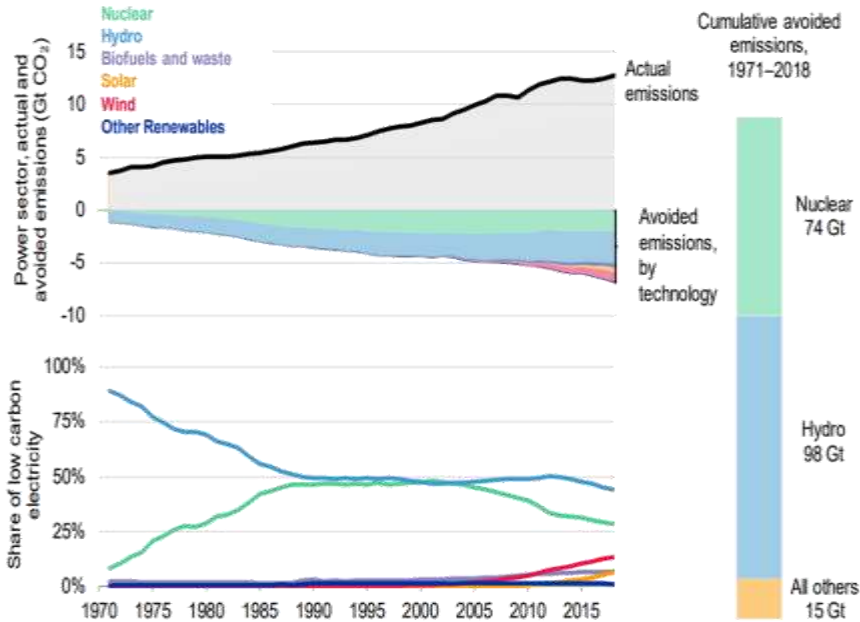
To the pessimist, the glass is half empty.

To the engineer, the glass is twice as big as it needs to be."

Anónimo



Emisiones anuales evitadas



Fuente Climate Change and Nuclear Power IAEA 2020

Fuente IEA 2019

La energía nuclear evita actualmente la emisión de 600 millones de toneladas de



Alta Densidad Energética

1 kg de:	kWh	Foco de 100 W encendido durante (por kg)	Foco de 100 W encendido por 183 años (kg)
Madera	3.3	1.4 días	43,000
Carbón	8.72	3.6 días	18,000
Etanol	7.85	3.3 días	20,000
Petróleo	11.6	4.8 días	14,000
Gas Natural	12.1	5.0 días	13,000
Gasolina	12.2	5.1 días	13,000
Uranio Natural	160 k	183 años	1
LEU	1 M	1,142 años	0.16

El combustible NUCLEAR es el más energético

1 pastilla de uranio
(1 cm de diámetro por 1 cm de altura)
contiene tanta energía como:

- 1 tonelada carbón
- 2 toneladas madera
- 3 barriles petróleo

Además, **no emite** gases de efecto invernadero, al usarse en un reactor nuclear.

SENER **ININ**

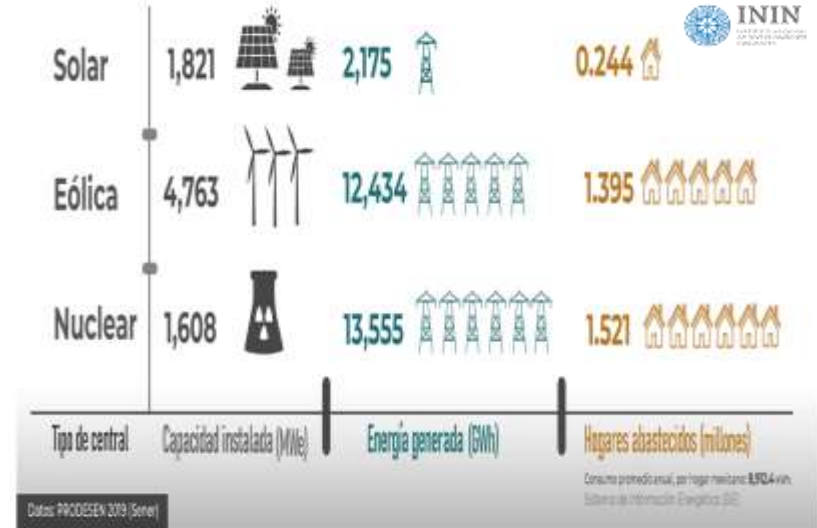
gob.mx/inin

5 pastillas de combustible de uranio = 1 año de las necesidades de electricidad de un hogar promedio.
El consumo anual de combustible de una central nuclear de 1,000 MWe de potencia instalada es de unas 30 toneladas de uranio.



Alto Factor de capacidad de Generación y Superficie requerida

Para generar la misma cantidad de electricidad que genera la **Central Nucleoeléctrica Laguna Verde** se necesitarían:



La Administración de Información de Energía de EEUU estima el factor de capacidad promedio de las Centrales en el 2020 fue:

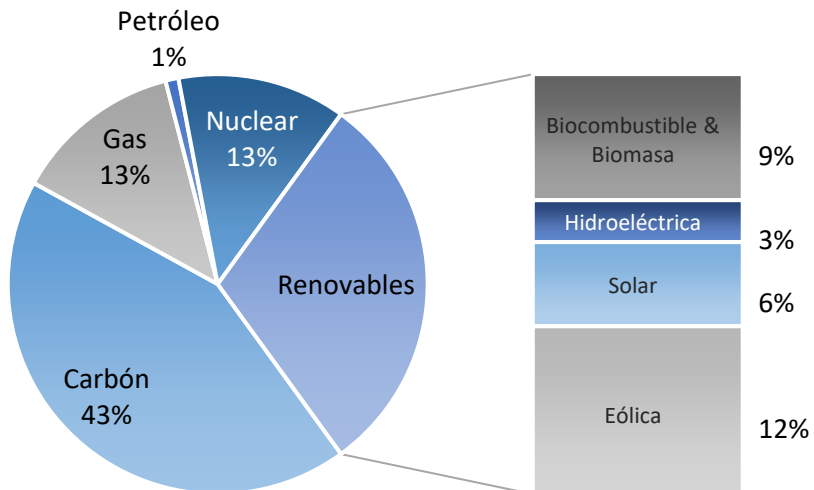
- Fotovoltaicas 24.9%,
- Parques eólicos 35.4%,
- Plantas de carbón 40.2%,
- Hidroeléctricas 41.5%,
- Ciclos combinados 56.6%
- **Centrales nucleares 92.5%.**

Mezcla de Generación Eléctrica 2016 para Francia y Alemania



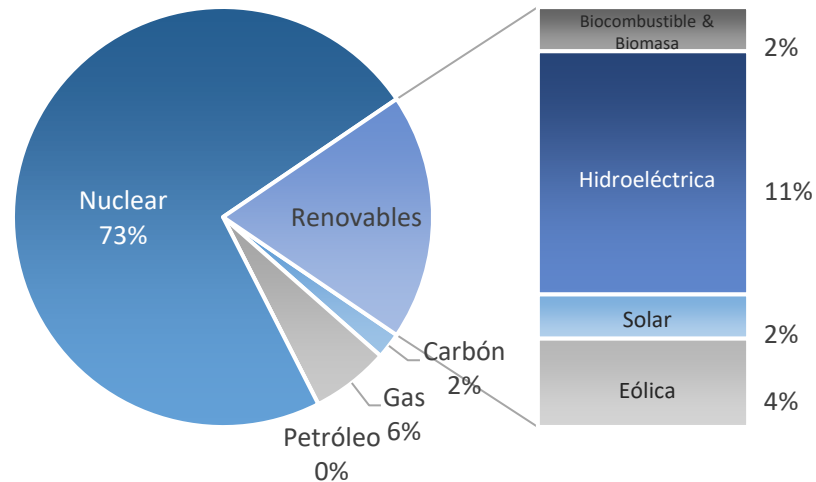
Alemania

31% Renovables (Promedio IEA: 24%)



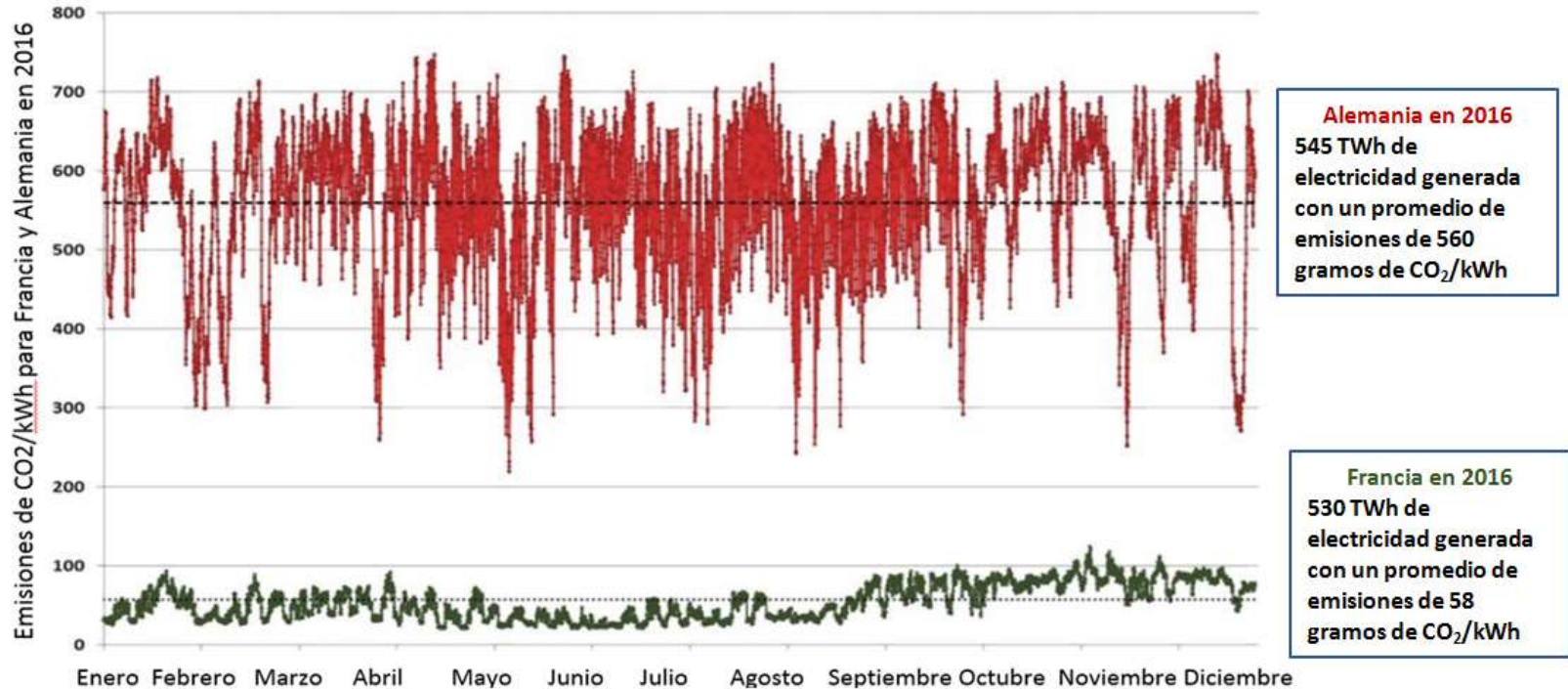
Francia

18% Renovables (Promedio IEA: 24%)





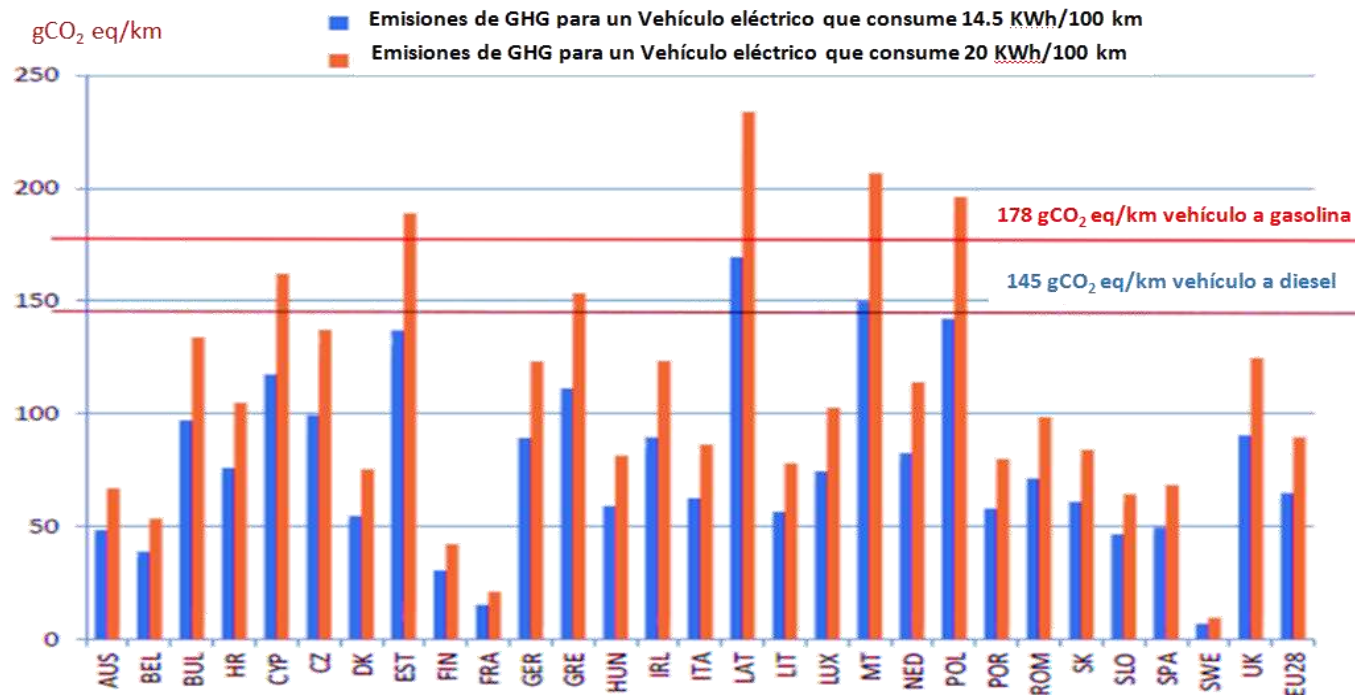
Emisiones de CO₂/kWh para Francia y Alemania en 2016



A pesar de haber generado más del 30% de la electricidad mediante energías renovables, las emisiones en Alemania fueron 10 veces más que las de Francia que solo generó el 18% mediante renovables



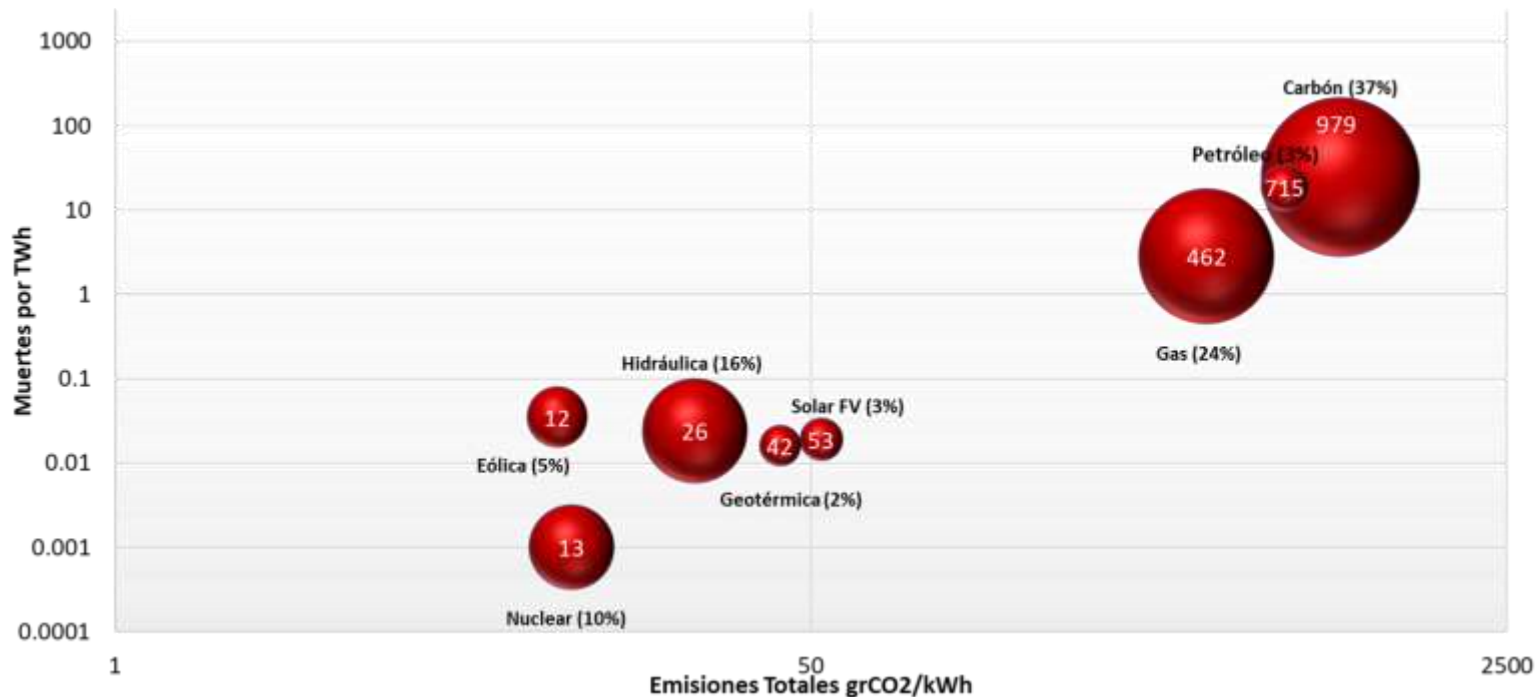
Emisiones de GHG debidos al uso de vehículos eléctricos en Europa



Las emisiones del vehículo eléctrico varían en función de las tecnologías utilizadas para la generación de electricidad. A más renovables y energía nuclear, menos emisiones



¿Qué tan Segura es la Energía Nuclear?



Entre paréntesis se muestra el porcentaje de generación eléctrica en el 2020



¿Cuántas vidas ha salvado la energía nuclear? o ¿Cuántas vidas podrían haberse salvado si los países no la hubieran abandonado?

A raíz del desastre nuclear de Fukushima en 2011, Alemania anunció planes para eliminar gradualmente la generación de energía nuclear. Durante el período de 2011 a 2017 cerró 10 de sus 17 instalaciones nucleares y planea cerrar los reactores restantes en 2022.



La mayor parte del déficit energético de Alemania por el retiro de la energía nuclear se suplió con el aumento de la generación mediante carbón, que es, como acabamos de ver, la fuente más contaminante con los mayores impactos en la salud.



Debido a que la energía nuclear es más segura que sus principales alternativas, esta decisión política cuesta vidas. Reemplazar la energía nuclear con combustibles fósiles mata a las personas. Es probable que este sea el caso en el ejemplo reciente de Alemania.

En un estudio realizado por Stephen Jarvis, Olivier Deschenes y Akshaya Jha (2020) para responder a la pregunta ¿Cuántas muertes se han ocasionado debido al retiro de los reactores nucleares en Alemania?

- El análisis de Stephen Jarvis, Olivier Deschenes y Akshaya Jha (2020) estima que la eliminación nuclear de Alemania ha tenido un costo de más de 1.100 muertes adicionales cada año como resultado de la contaminación del aire.
- El plan de Alemania para hacer que sus sistemas energéticos sean más seguros ha hecho exactamente lo contrario.

En un estudio publicado en la revista Environmental Science and Technology, Pushker Kharecha y James Hansen (2013) tuvieron como objetivo responder a la pregunta

¿Cuántas vidas ha salvado la energía nuclear?.

- Analizaron cuántas personas más habrían muerto durante el período comprendido entre 1971 y 2009 si la energía nuclear hubiera sido sustituida por combustibles fósiles.
- El número de muertos depende de la combinación de combustibles fósiles utilizados para reemplazar la energía nuclear (más habría muerto si se hubiera utilizado más carbón que petróleo o gas)
- Estiman que la energía nuclear ha salvado globalmente alrededor de dos millones de vidas.



Proyección del incremento de Capacidad y de generación de electricidad por medios nucleares en América Latina

- Se proyecta que la **capacidad total de generación eléctrica aumentará en aproximadamente un 30%** para 2030 y se duplicará con creces para 2050.
- Se proyecta que la **generación total de electricidad aumentará alrededor del 50% en el 2030** con respecto a los niveles de 2019. Se espera que se duplique con creces para 2050.
- Se espera que la **participación de la energía nuclear en la producción total de electricidad se mantenga en su nivel de 2019**

FIGURE 18. NUCLEAR ELECTRICAL GENERATING CAPACITY IN THE LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN REGION

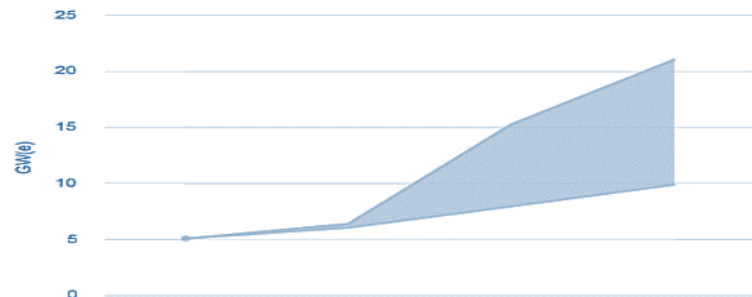
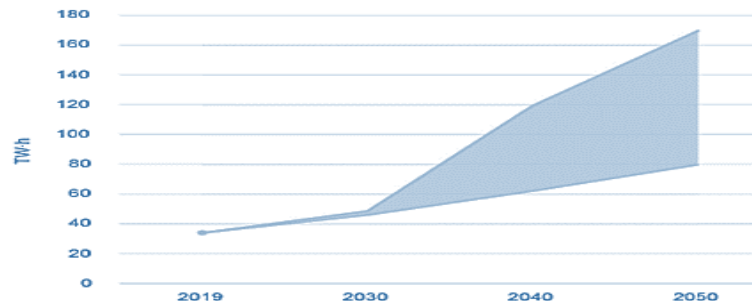
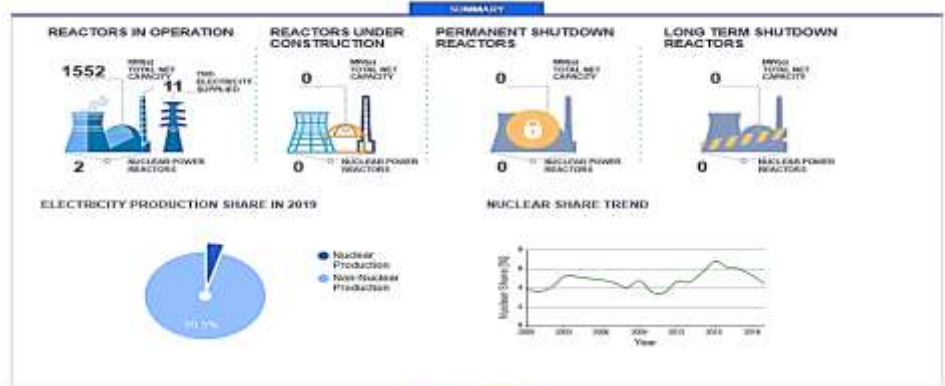


FIGURE 20. NUCLEAR ELECTRICITY PRODUCTION IN THE LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN REGION





REACTORS

Name	#	Type	Status	Location	Reference Unit Power (MW)	Gross Electrical Capacity (MW)	First Grid Connection
LAGUNA VERDE-1		BWR	Operational	ALTO LUCERO	777	800	1989-04-18
LAGUNA VERDE-2		BWR	Operational	ALTO LUCERO	775	800	1994-11-11

Above data generated by the PRIS database. Last update on 2020-11-30

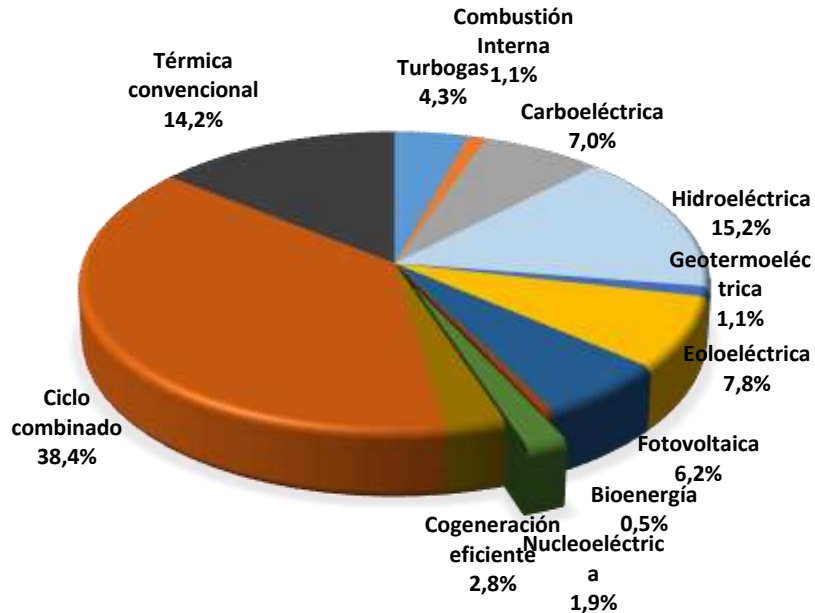
Energía Nuclear en México

"Cuando la fé no es suficiente... es momento de buscar un ingeniero"
Anónimo

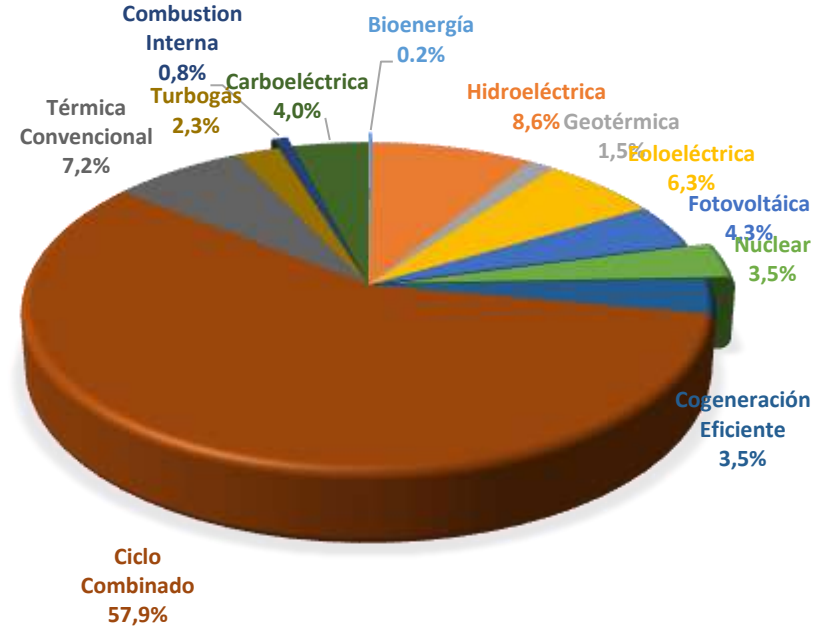


Capacidad Instalada y Generación Eléctrica 2020

Capacidad Instalada 83,121 MW



Generación Eléctrica 312.35 TWh





Central Nucleoeléctrica Laguna Verde

- **Dos Unidades idénticas**, cada una tiene un reactor tipo **BWR/5** de General Electric
- **La Unidad 1** inició operación comercial en **1990**
- **La Unidad 2** inició operación comercial en **1995**

Capacidad

- **La potencia original era de 1931 MWth**
 - (Aprox. 675 MWe efectiva por unidad)
- **En 1999 aumentó la potencia de ambas unidades al 105%, quedando en 2027 MWth**
 - (Aprox. 708 MWe por unidad)
- **En 2015 aumentó la potencia de ambas unidades al 120% de la potencia original, quedando en 2317 MWth,**
 - (Aprox. 810 MWe por unidad)



El 24 de julio de 2020, la Unidad 1 de la CNLV cumplió 30 años de operación

El 25 de julio de 2020, renovó su licencia de operación por otros 30 años

2020 La U1 tuvo su mejor ciclo operativo al acumular 532 días conectados al Sistema Eléctrico Nacional



Generación Limpia No Renovable 2018-2020

Tecnología/fuente de energía	2018	2019	2020 ^{1/}
Nucleoeléctrica	13,200.33	10,880.73	9,603.90
% respecto a la generación neta	4.2%	3.4%	3.6%
Frenos regenerativos	3.60	3.60	0.00
Cogeneración eficiente ^{2/}	2,362.99	3,301.15	3,138.77
% respecto a la generación neta	0.8%	1.0%	1.19%
Limpias no renovables	15,566.92	14,185.48	12,742.68
% de energías limpias no renovables respecto a la generación neta total	4.98%	4.43%	4.82%

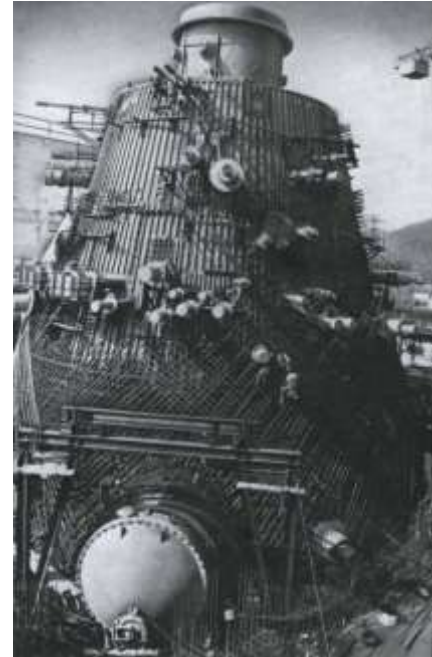
^{1/} Generación neta de la CFE y el resto de los permisionarios, enero-octubre 2020.

^{2/} Se considera el porcentaje de energías libres de energías fósil acreditado por unidades de verificación y registradas por la CRE. Incluye Abasto Aislado.

La energía nuclear representa casi el 80% de la generación limpia no renovable



Perspectivas de Adición de Capacidad Nuclear



"I have not failed. I've just found 10,000 ways that won't work"

Thomas A. Edison

ENE 2015-2026

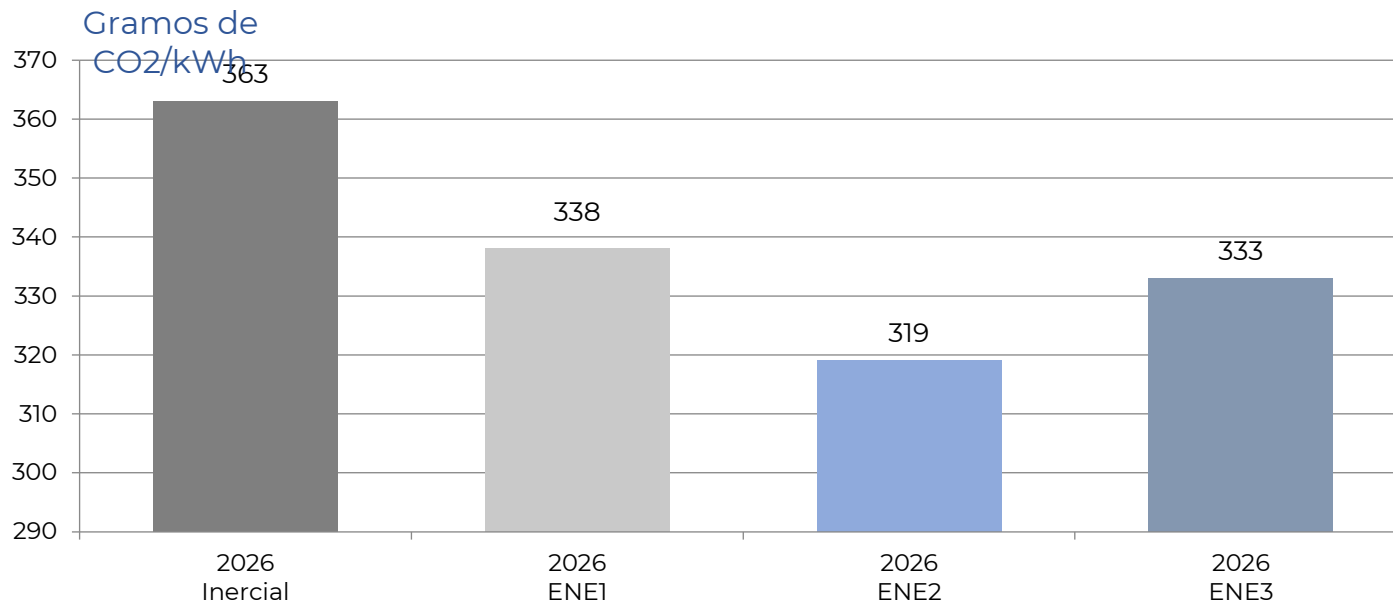
Escenarios de la Planeación Energética



	Escenario	Ciclos Combinados	Eoloeléctricas	Nucleoeléctricas
Capacidad Instalada 2012: 52,534 MW 2026: 93,502 MW	Inercial	49,837 MW de capacidad instalada	7,667 MW de capacidad instalada	1,590 MW de capacidad instalada (capacidad actual)
Las centrales eólicas sustituyen a los ciclos combinados del Inercial.	ENE1	Se sustituyen 10,661 MW (15 o 16 proyectos de alrededor de 700 MW)	<ul style="list-style-type: none"> Adición de 28,413 MW (284 granjas eólicas de 100 MW). Respaldo: Adición de 7,857 MW de turbinas de gas 	Misma capacidad instalada que en el escenario Inercial
Las centrales nucleares sustituyen a los ciclos combinados del Inercial.	ENE2		Misma capacidad instalada que en el escenario Inercial	Adición de 10,753 MW (equivalentes a 7 u 8 reactores nucleares)
Centrales nucleares y eólicas sustituyen a ciclos combinados del Inercial.	ENE3		<ul style="list-style-type: none"> Adición de 20,968 MW (209 granjas eólicas de 100 MW) Respaldo: Se adicionan 5,792 MW de turbinas de gas 	Adición de 2,790 MW (equivalentes a dos reactores nucleares)

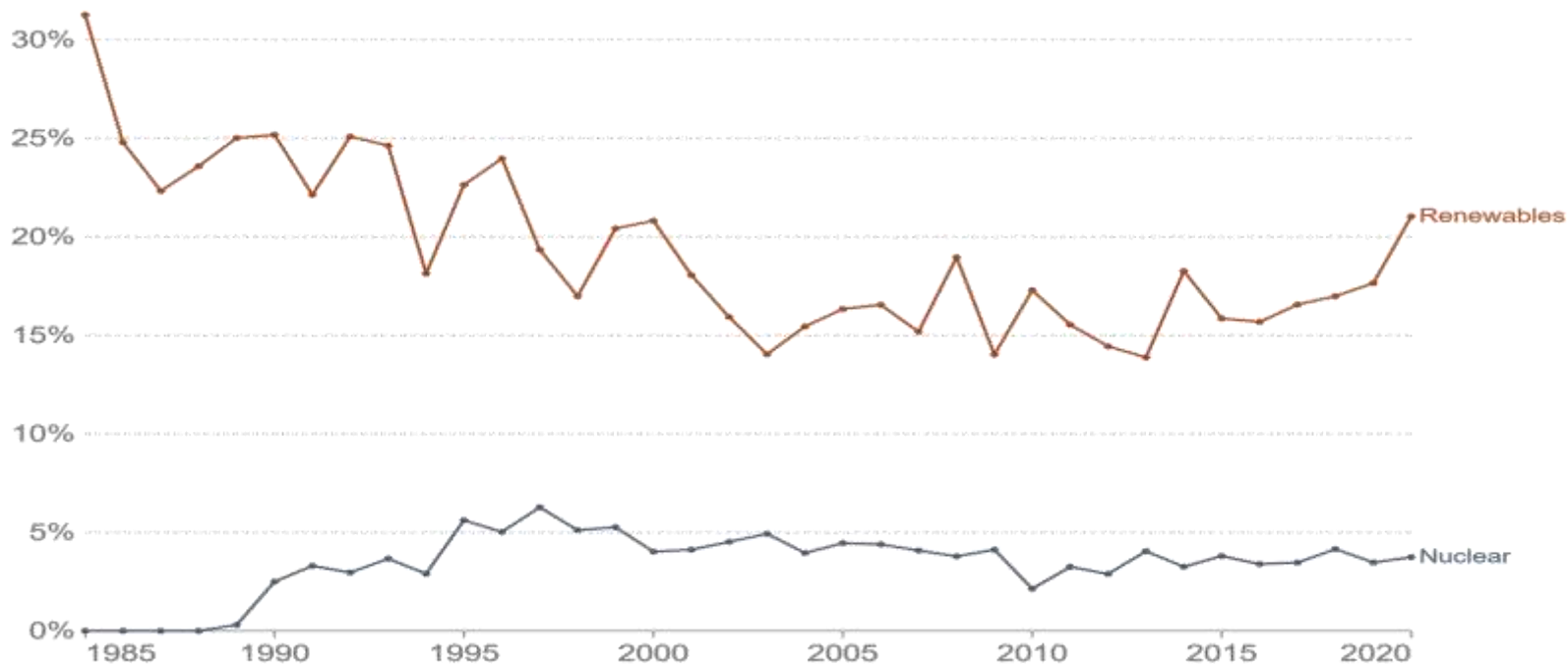
Caso de estudio

Análisis de la ENE 2015-2016



Porcentajes calculados por el ININ y la CFE. Los porcentajes de generación en los escenarios considerados corresponden al POISE 2012-2026 y éstos pueden diferir ligeramente con respecto a los reportados por la ENE 2012-2026 debido a los factores de disponibilidad empleados en el cálculo de generación eléctrica del sistema.

Participación de las energías limpias en la Generación de electricidad en México



En el 2019 la CNLV evitó la liberación de cerca de 10 millones de toneladas de CO₂ lo que representa casi un 10% de las emisiones totales en el sector eléctrico nacional



La Energía Nuclear en la Transición Energética

Energía Nuclear



Energía limpia tal como la define la Ley de la Industria Eléctrica.

Su rol es esencial como generación **firme y confiable**, que no contribuye a la Generación de Gases de Efecto Invernadero.

Deberá de jugar un **papel protagónico en la transición energética mexicana** como energía limpia.



ININ

Asesor tecnológico natural de la SENER en este campo.

Realizar estudios y análisis de nuevas tecnologías **para definir un programa nuclear mexicano**, que permita transitar armónicamente desde las energías contaminantes a las energías limpias.

Desarrollar Proyectos que permitan aprovechar las capacidad de **cogeneración usando reactores nucleares**.



ININ

Soporte Tecnológico a la Central Nuclear Laguna Verde.

Renovación de licencia de operación que llevará a esta central a operar otros 30 años.

Administración del envejecimiento de Estructuras, Sistemas y Componentes.

Cambio Generacional de profesionales nucleares.

Gestión del Almacenamiento de Combustible Nuclear Gastado.

Cumpliendo con su mandato constitucional el ININ trabaja continuamente para ser **el eje rector de la ciencia nuclear** en México

Nuevas Tecnologías de Reactores en el Panorama Nacional



Estudios para incrementar la capacidad nuclear en México

Análisis Técnico
Económico de Nuevas
Tecnologías de Reactores
Nucleares.

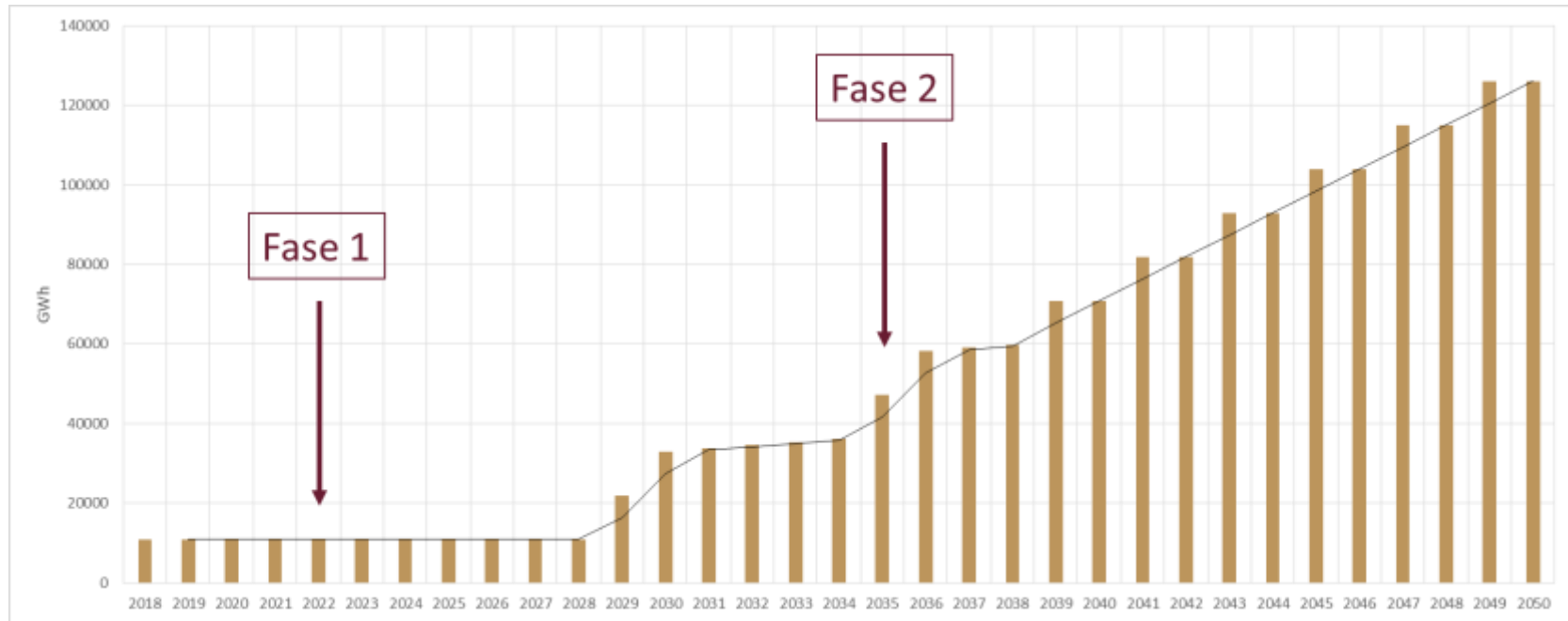
Aplicaciones de
Reactores
Nucleares SMR.
(Small Modular Reactor)

Estudios de
Cogeneración
utilizando reactores
nucleares.
(Electricidad y agua potable)

Análisis del impacto de la
energía nuclear en la
reducción de emisiones en
el sistema eléctrico
nacional.

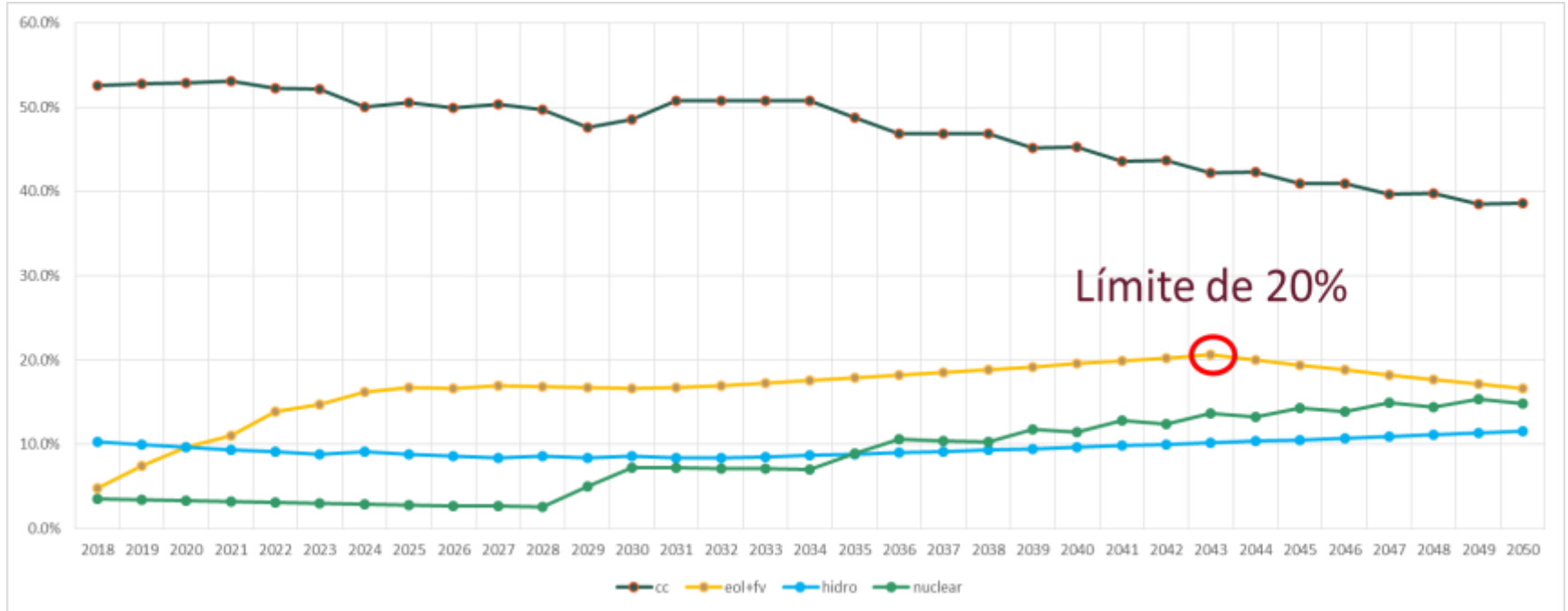


PROPUESTA DE GENERACION BÁSICA 2018 – 2050 (Estudios CFE-ININ)

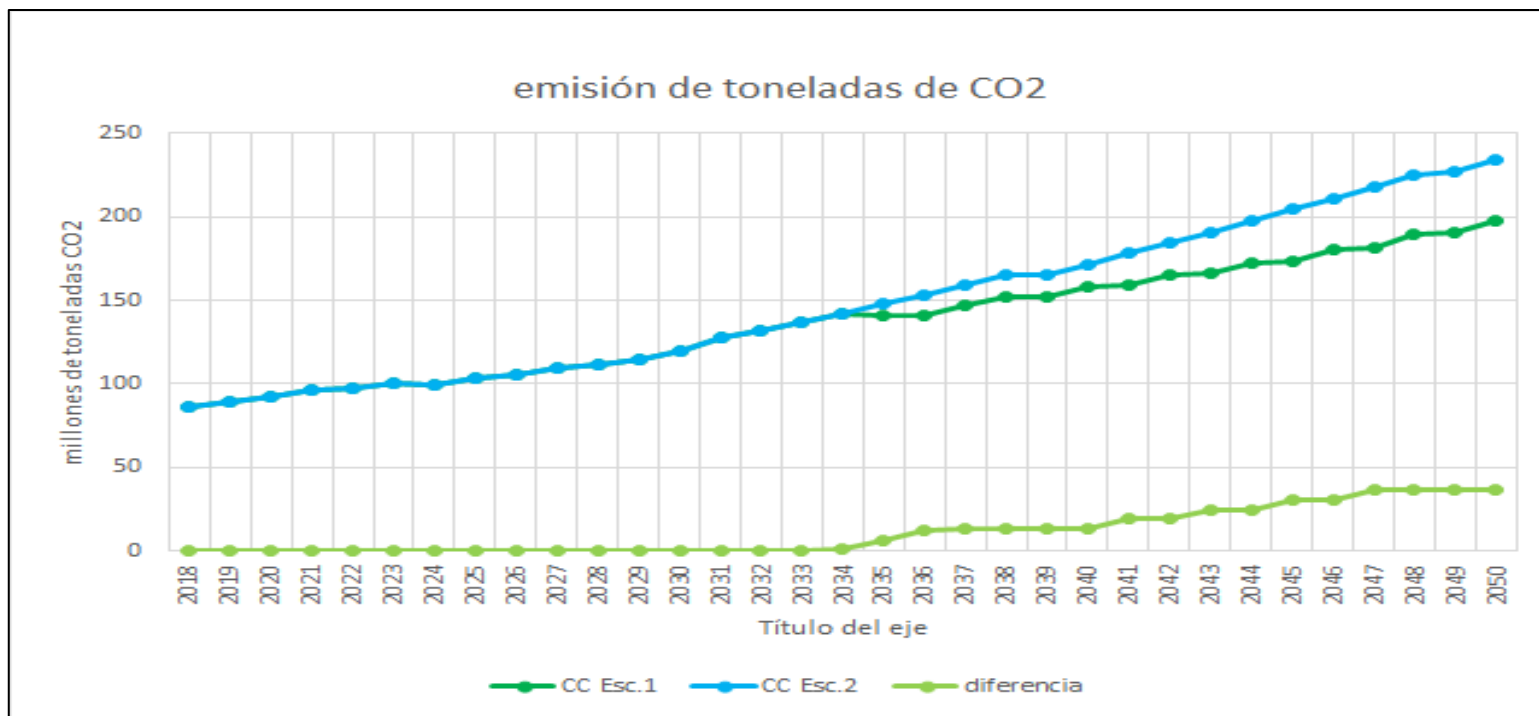


En 2050, se alcanzarían 126,000 GWh de energía nuclear.

Estudios CFE-ININ



En 2050, se alcanzará una participación de 15% de la generación total.



En 2050, se reduciría la generación de los ciclos combinados en el orden de 120,000 GWh, disminuyendo la importación de gas natural y mejorando la seguridad energética del Sector.

PRODESEN 2021-2035

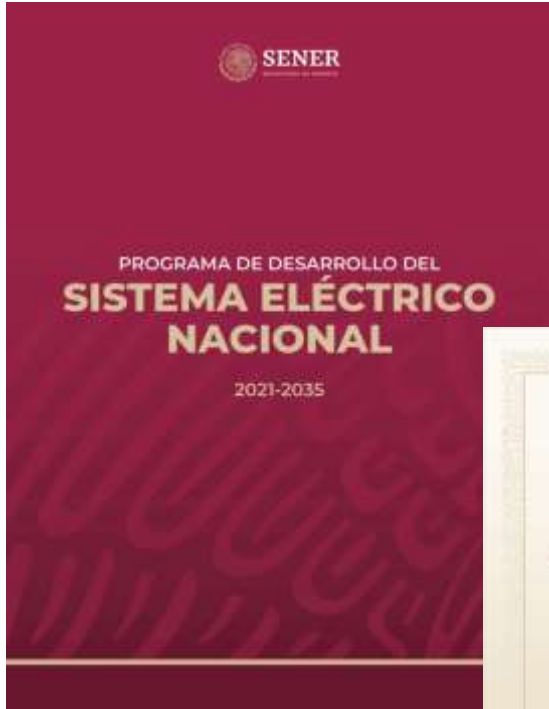
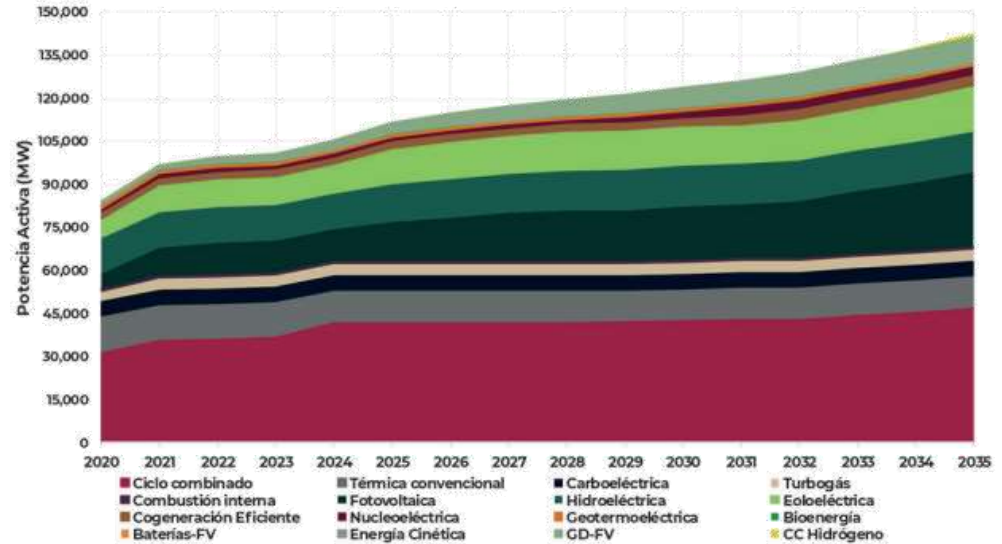


FIGURA 5.6 EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD (MW) PIIRCE 2020-2035



Fuente: SENER

Se propone adicionar 1600 MW de Capacidad Nuclear al 2035

PAMRNT 2021-2035

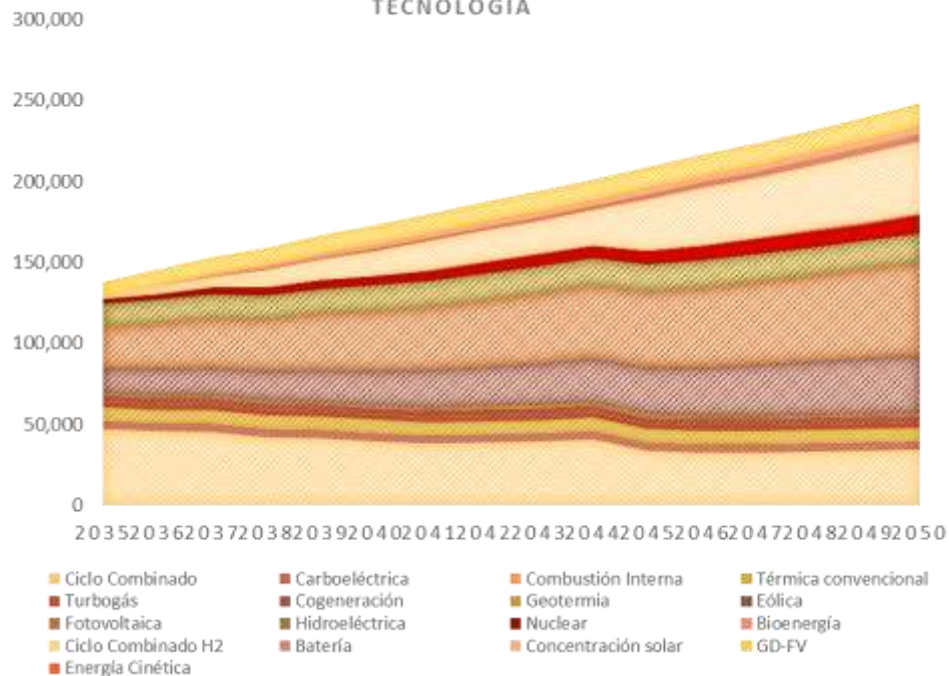


Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista

**PAMRNT
2021 - 2035**

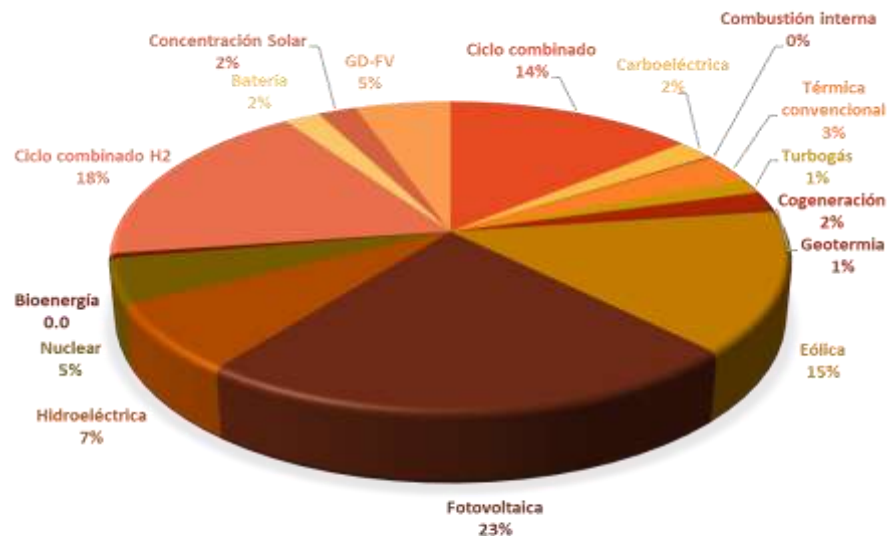
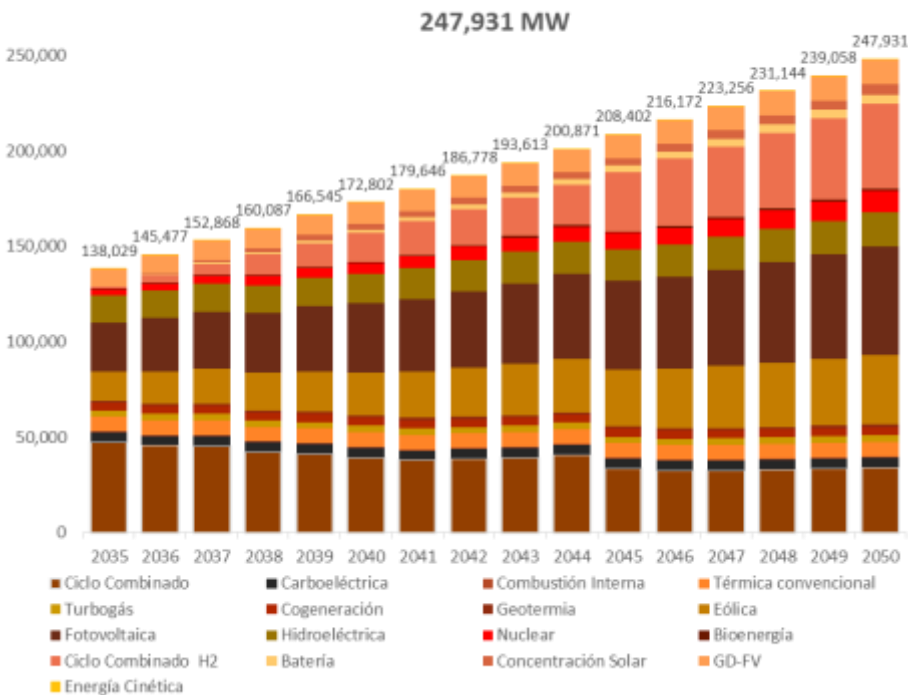


CAPACIDAD NETA INSTALADA (MW) 2035 A 2050 POR TECNOLOGÍA





Capacidad neta instalada Escenario PAMRNT 2035-2050

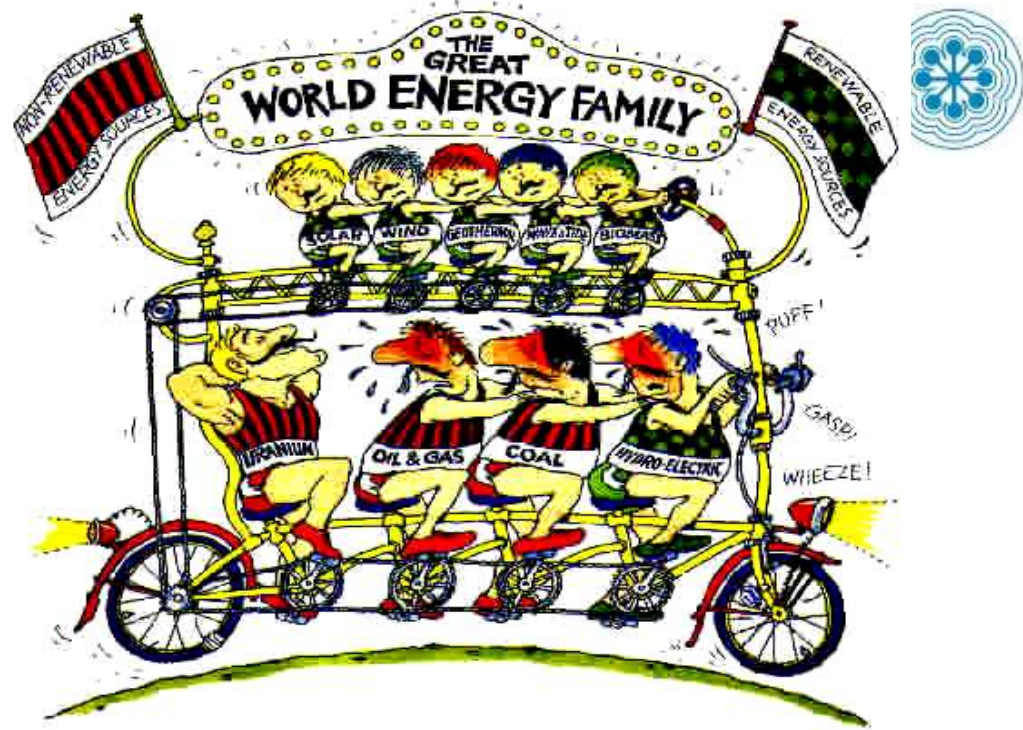


Nuclear al 2050
Capacidad Instalada: 11,509 MW Generación estimada: 90.7 TWh



Consideraciones Finales

“ There are things known and there are things unknown, and in between are the doors of perception”
Aldous Huxley



Consideraciones Finales

*"Nothing in life is to be feared, it is only to be understood.
Now is the time to understand more, so that we may fear less".*
-Marie Curie



La Energía Nuclear ...

- ... es una energía limpia y sustentable, que evita contaminar el aire que respiramos
- ... es un socio complementario a las energías renovables
- ... es capaz de generar 24/7, pero también puede funcionar con flexibilidad si se requiere
- ... es primordial en la descarbonización de los sectores transporte, industria y calor
- ... proporciona isótopos y apoyo para la medicina, industria y agricultura
- ... **debería ser considerada como parte estratégica en la Transición Energética**
- ... **es un candidato ideal para incrementar su capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional**
- ... **tiene capacidades de cogeneración (producir hidrógeno verde, desalar agua de mar, producir calor de proceso para industrias y hogares), que deberían ser aprovechados**

El compromiso de reducir las emisiones no será fácil de cumplir si la energía nuclear no juega un papel importante dentro del portafolio de generación eléctrica.

Consideraciones Finales



- Resaltan dos ventajas de las nuevas tecnologías de reactores
 - Una, es la posibilidad de instalar reactores modulares pequeños de hasta 300 MW, lo que abriría la posibilidad de hacer un reemplazo acelerado de muchas centrales que hoy queman carbón
 - Las propiedades de cogeneración (producir hidrógeno verde, desalar agua de mar, producir calor de proceso para industrias y hogares) que estos reactores tienen,
- Habría que enfatizar que, desde el punto de vista técnico, económico, científico y ambiental es un error no estar considerando a la energía nuclear como parte de las matrices energéticas de muchos países;
- Podemos concluir que, existen los elementos disponibles para que la clase política se decida a cambiar esta situación, en particular considerando las nuevas tecnologías disponibles

Muchas Gracias por su Atención



*"Not everything that can be counted counts,
and
Not everything that counts can be counted"*
Albert Einstein

