



**Colegio de
Ingenieros Civiles
de México, A.C.**



**Academia
de Ingeniería
México**

**WORLD
ENERGY
COUNCIL**

**CAPÍTULO
MÉXICO**



SOCCIEDAD NUCLEAR MEXICANA

“Los retos de las Energías Limpias en el mediano y largo plazo”

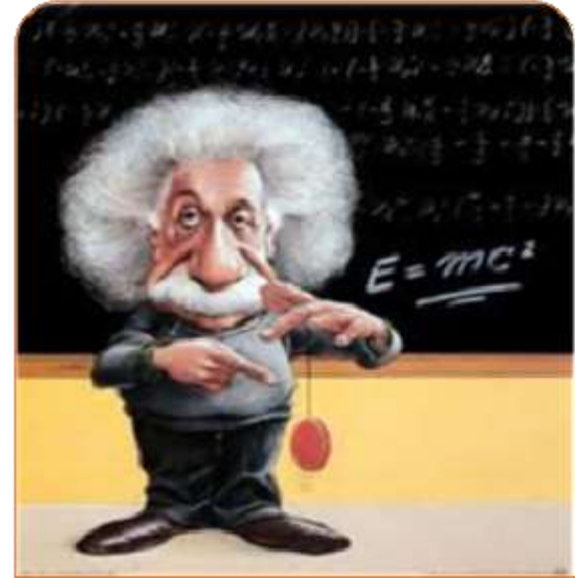
Energía Nuclear

Dr. Javier C. Palacios Hernández

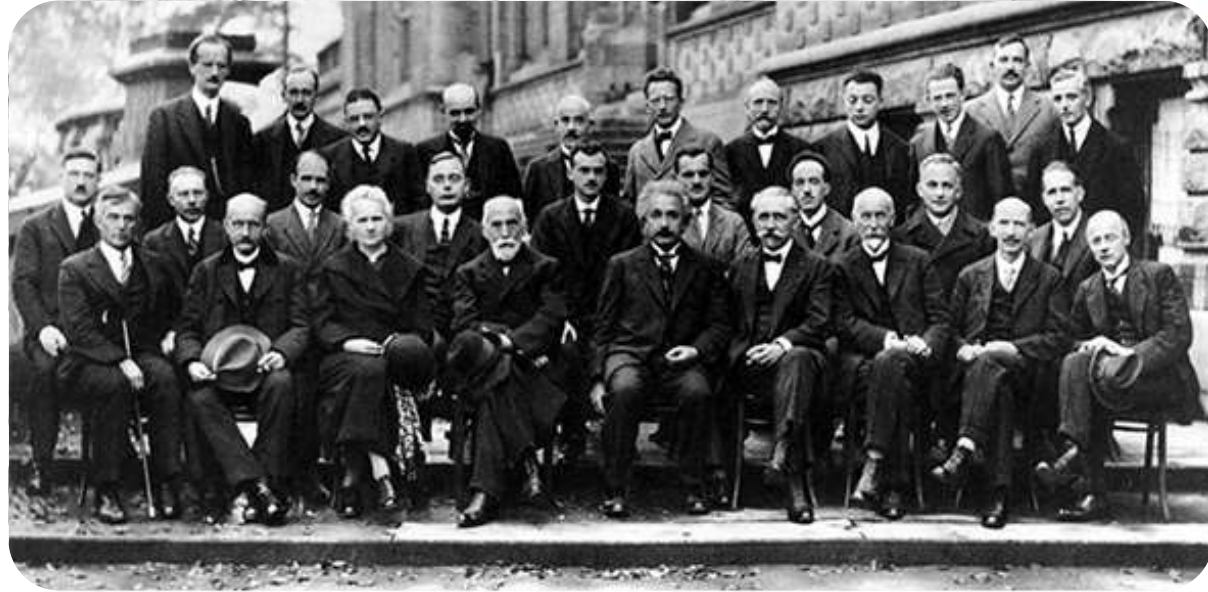
Septiembre 9, 2019

Contenido

1. Evolución de la Nucleoelectricidad
2. Situación de la Energía Nuclear en el Mundo
3. La Energía Nuclear en México
4. Aspectos ambientales de la Energía Nuclear
5. Después de TMI, Chernobyl y Fukushima
6. Percepción Pública
7. Retos en la Industria Nuclear



“Quien nunca ha cometido un error nunca ha intentado nada nuevo”
Albert Einstein



Evolución de la Nucleoelectricidad

“Si mi teoría de la relatividad es exacta, los alemanes dirán que soy alemán y los americanos que soy ciudadano del mundo. Pero si no, los americanos dirán que soy alemán, y los alemanes que soy judío”

Albert Einstein

Antecedentes de la Nucleoelectricidad



1938. Se descubre la fisión nuclear por Otto Hahn y Lise Meitner



1942. La primer reacción nuclear en cadena ocurre en Chicago como parte del proyecto Manhattan. Reactor CP-1



1951. El 20 de diciembre de 1951 **se genera electricidad por primer vez** a partir de un reactor nuclear en el **reactor EBR-I en Idaho, USA**. El primer experimento **energizó 4 focos**. El EBR-I produjo cerca de **100 kWe**, suficiente para energizar equipo en el reactor.



1953. El presidente Eisenhower propone el programa “Átomos para la paz”



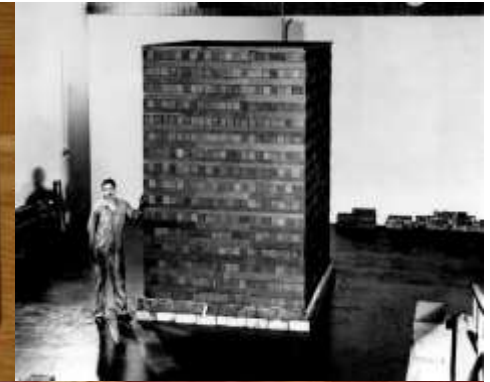
1954. El reactor APS-1 Obninsk cerca de Moscú, es el primero en ser conectado a la red eléctrica produciendo **5 MWe**, suficiente para proporcionar energía a 2,000 casas.

La Generación 0



La “Pila de Fermi” (CP1 = Chicago Pile 1)

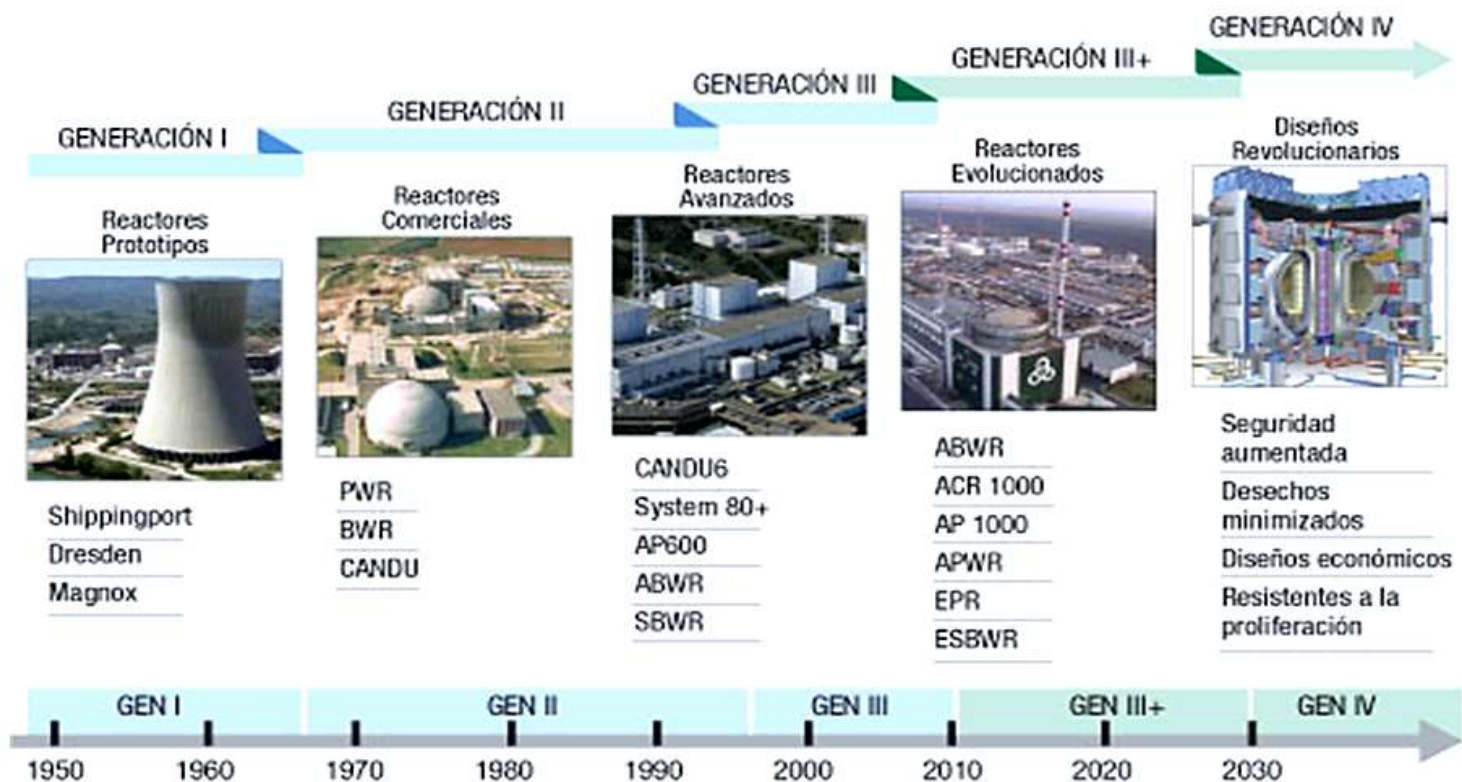
- Chicago 1942
- Bloques de Grafito apilados. Inició en Noviembre 15
- Primer reacción en cadena en Diciembre 2
- El combustible fue una mezcla de uranio metálico y de óxido de uranio



Reactor F-1 en el Instituto Kurchatov (Physics -1)

Inició operación el 25 de diciembre de 1946, con una potencia original de 10 watts.
En diciembre 25 de 1996, con una potencia de 24 kilowatts cumplió 50 años de operar

Evolución de los conceptos en los Reactores



La Generación I



El reactor de Obninsk cerca de Moscú (RBMK 5 MWe) fue el primero en ser conectado a una red eléctrica, hace 65 años a las 5:30 pm, del **26 de junio 1954**.

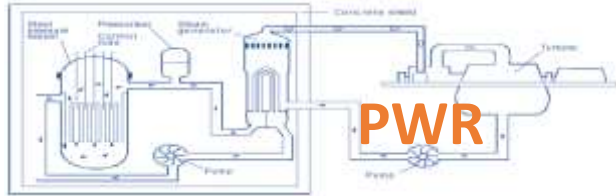
Proporcionó electricidad a 2,000 hogares. Un reactor actual proporciona electricidad a más de 400,000 casas. Operó hasta 1959.

El primer reactor Magnox (grafito-gas 50 Mwe), se construyó en Calder Hall, cerca de Sellafield, Inglaterra y fue inaugurado por la Reina el 1 de Octubre de **1956**.



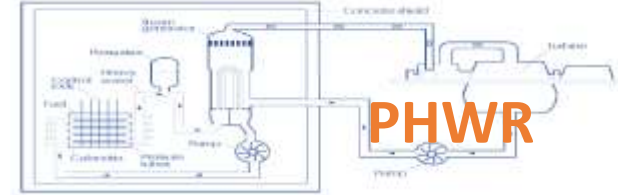
En **1957**, el primer Reactor tipo PWR de 60 MWe, diseñado por Westinghouse (originalmente para submarinos), es emplazado en la localidad de Shipping Port Pensilvania. Operó hasta 1982

La Generación II



PWR

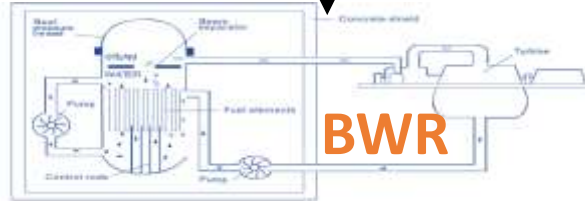
EUA, JAPON
71 REACTORES,
AGUA
UO2 ENRIQUECIDO



PHWR

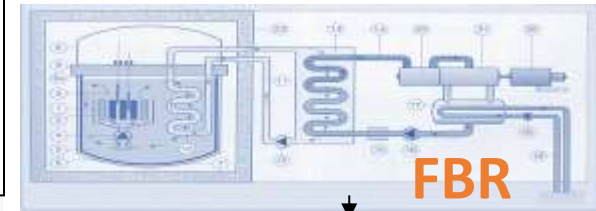
CANADA
49 REACTORES
MODERADOR AGUA PESADA
UO2 NATURAL

EUA, FRANCIA
299 REACTORES
AGUA
UO2 ENRIQUECIDO



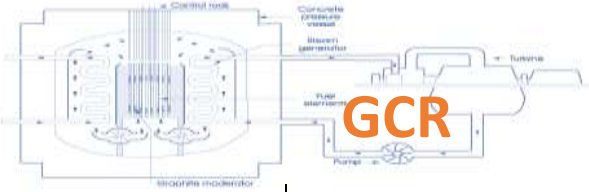
BWR

RUSIA, REINO UNIDO
13 REACTORES, 13 GWe
MODERADOR AGUA, REFLECTOR GRAFITO
UO2 ENRIQUECIDO



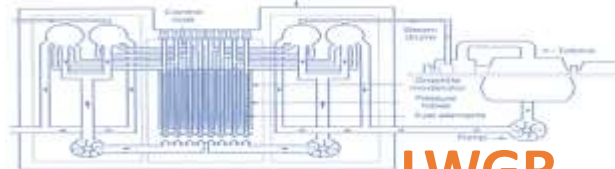
FBR

JAPON, RUSIA, INDIA
3 REACTORES,
SODIO LIQUIDO
UO2 Y PuO2

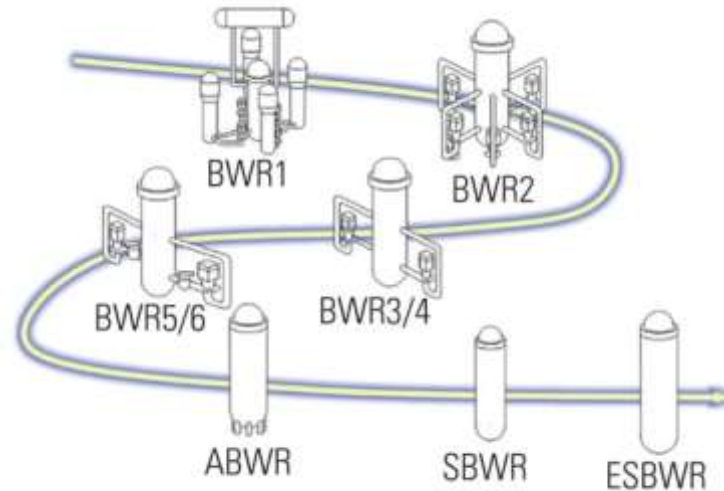


GCR

REINO UNIDO
14 REACTORES,
MODERADOR CO2, REFLECTOR GRAFITO
URANIO NATURAL, UO2 ENRIQUECIDO



LWGR

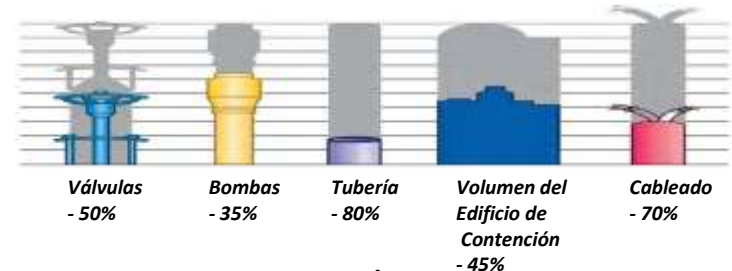


Reactores Generación III y Generación III+

Generación III y III+. Aspectos genéricos



- ✓ Diseño estandarizado por tipo de tecnología consiguiendo reducciones en:
 - ❖ Tiempo de licenciamiento
 - ❖ Tiempo de construcción
 - ❖ Costos de capital
- ✓ Diseñados para vidas útiles mayores (60 años) y mayores factores de disponibilidad
- ✓ Reducción de la cantidad de desechos generados
- ✓ Algunos diseños **incorporan sistemas pasivos de seguridad** utilizando fuerzas naturales tales como:
 - ❖ gravedad
 - ❖ convección
 - ❖ condensación
 - ❖ evaporación
- ✓ Menores frecuencias de daño al núcleo del reactor que sus predecesores



Advanced Boiling Water Reactor (ABWR)



- Cuatro unidades en operación en Japón (Kashiwazaki-Kariwa, Shika, Hamaoka),
- 2 unidades en construcción en Japón (Shimane y Ohma)
- 2 en pruebas de operación en Taiwan (Lungmen 1&2)
- 2 planeados enUK

1,400 MWe

Evolutionary Power Reactor (EPR)



HELSINKI (Reuters) - El inicio de la producción regular de energía en el reactor nuclear más grande de Finlandia, Olkiluoto 3, debió ser en **mayo de 2019**, pero volvió a posponerse



Flamanville

Las pruebas funcionales en caliente, que involucran la revisión del equipo en condiciones de temperatura y presión similares a aquellas en las que operará, comenzaron en **febrero de 2019**. **WNN**

1,600 MWe



PARIS (Reuters) El **29 de junio de 2018** a las 17:59 pm, Taishan 1, al sur de China, se convirtió en el primer reactor de agua a presión (EPR) europeo en el mundo, que se conectó con éxito a la red.

Advanced Presurized (AP1000)



- Primera Unidad **AP1000** comienza a generar energía
 - Uno de los reactores en Sanmen, China, fue conectado a la red, en julio de 2018.
- Convirtiéndose en el primer AP1000 del mundo en lograr la conexión a la red. Este acontecimiento se produjo apenas un día después de que Taishan 1, también en China, se conectara a la red el primer EPR.
- La unidad 1 de Haiyang se conectó a la red el 17 de agosto.
 - La unidad 2 de Sanmen fue conectada a la red, el 31 de octubre.

1,100 MWe

Fuente WNN

Reactor HPR 1000

Details

Reactor type	Pressurised water reactor (PWR)
Model	HPR1000
Owner	China National Nuclear Corporation
Operator	CNNC Fujian Fuqing Nuclear Power Company
Construction start	7 May 2015
Capacity net	1000 MWe
Capacity gross	1150 MWe



Fuqing power plant (Image: CNNC)

El Reactor HPR100 será la Unidad 5 de la Central de Fuqing en China

1,000 MWe

Advanced Presurized Reactor (APR 1400)



Central nuclear de Barakah

El primer arranque del reactor nuclear de los EAU se retrasó

27 de mayo de 2018 a las 2:21 pm | REUTERS

La puesta en marcha del primer reactor nuclear del mundo árabe, en los Emiratos Árabes Unidos, se ha retrasado y debería comenzar a funcionar entre fines de 2019 y principios de 2020.



Central Nuclear Shin Kori

El 15 de enero de 2016 se conectó a la red el primer reactor AP1400 (Shin Kori 3). EL 22 de abril de 2019 entró en operación el reactor AP1400 (1340 Mwe) SHIN-KORI-4 en Corea del Sur.

Fuente IAEA PRIS

Water-Water Energetic Reactor (VVER)

En construcción

Rusia

- Novovoronezh II 1-2
- Baltic 1-2
- Leningrad II 1-2

Bielorusia

- Bielorusia 1

First VVER-1200 reactor enters commercial operation

02 March 2017.

Unit 1 of the Novovoronezh II nuclear power plant. **Fuente WNN**

Comparison of VVER-1000/1200 reactors

Parameters	VVER-1000 (Generation III)	VVER-1200 (Generation III+)
Rated capacity (MW)	1,000	1,198 (+20%)
Service life of the reactor equipment	30 years	60 years (twice longer)
Staffing requirements/ MWe		Less by 30-40%

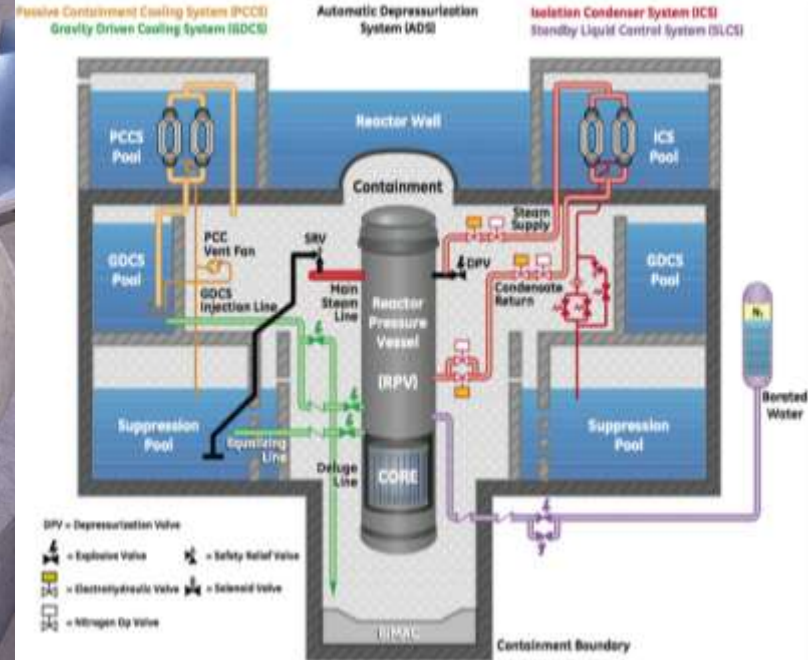


1,198 MWe

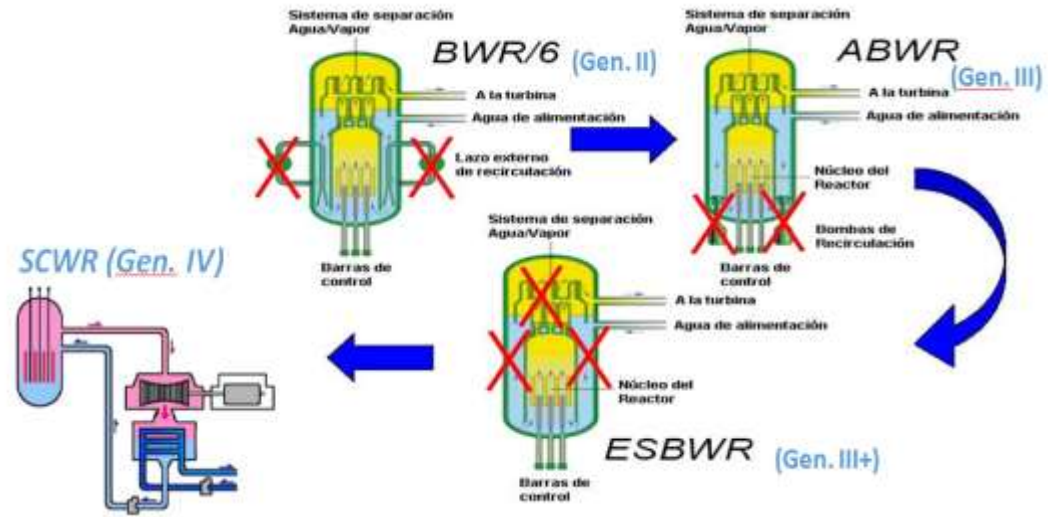
Evolutionary Simplified BWR (ESBWR)



- Reactor de 1380 MWe, desarrollado por General Electric,
- El reactor ESBWR es un diseño evolucionado del ABWR
- Vida útil de 60 años
- Factor de disponibilidad del 87%, menos de un apagado no planeado por año,
- Ciclos de 18 a 24 meses,
- Probabilidad de daño al núcleo reducida $< 10^6$ /año,
- Generación de desechos menor que la de los actuales BWRs,
- Tiempo de construcción de 48 meses
- 20 % de reducción en el costo de capital \$/KWh.

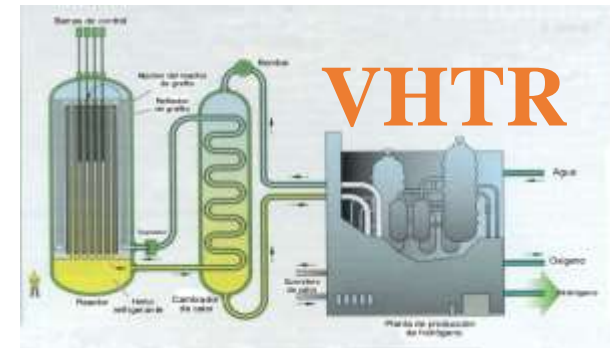
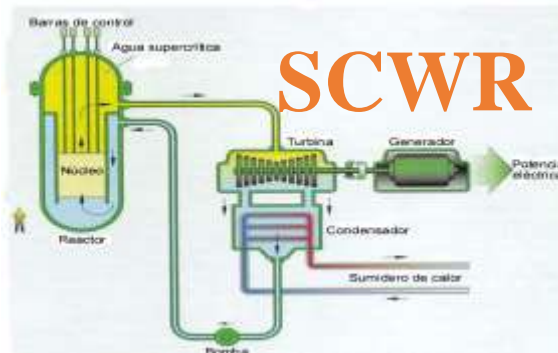
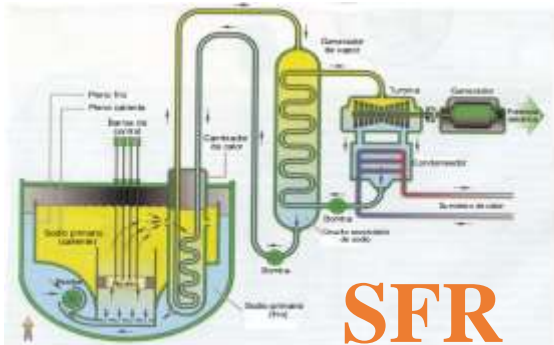
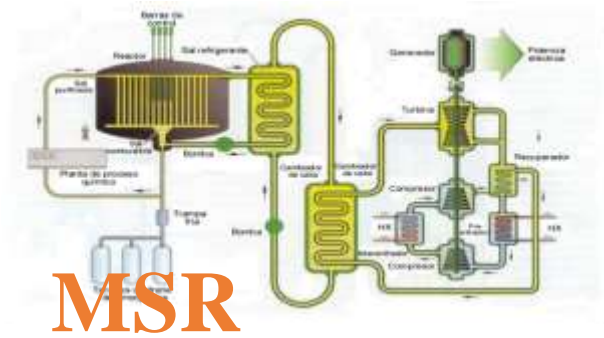
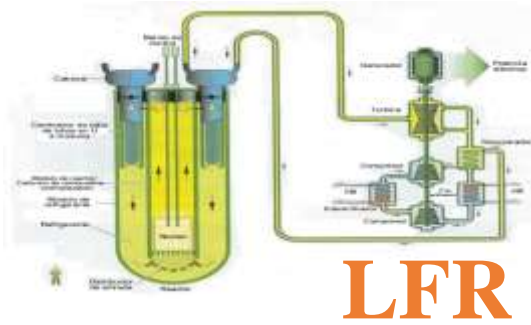
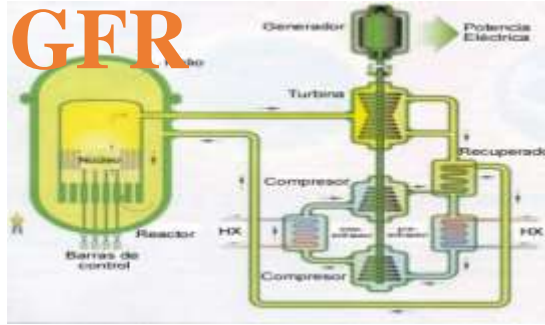


1,535 MWe




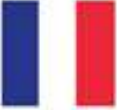








Reactores Generación IV

Diseños de Generación IV



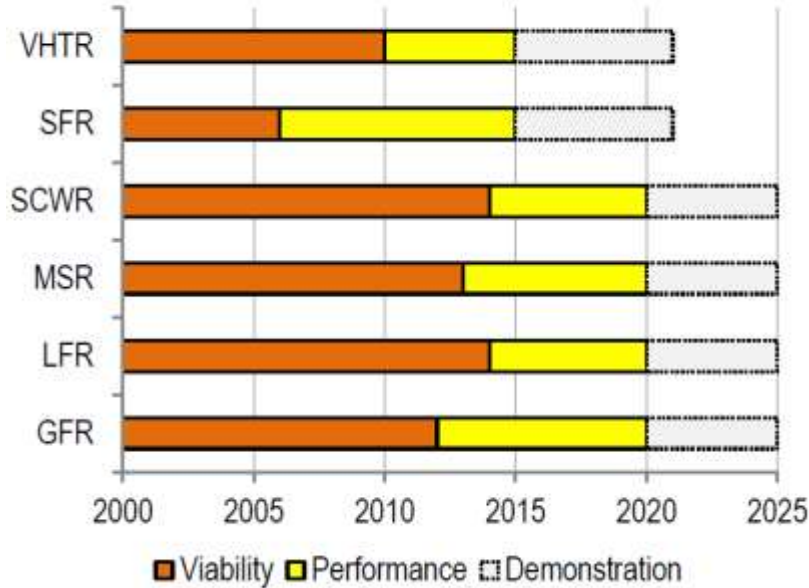
Países participantes en la Generación IV

System	CA	CN	EU	FR	JP	KR	RU	CH	US	ZA
SFR										
SFR		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
VHTR		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
SCWR	✓		✓		✓		✓			
GFR			✓	✓	✓			✓		
LFR			P		P		P			
MSR			P	P			P			

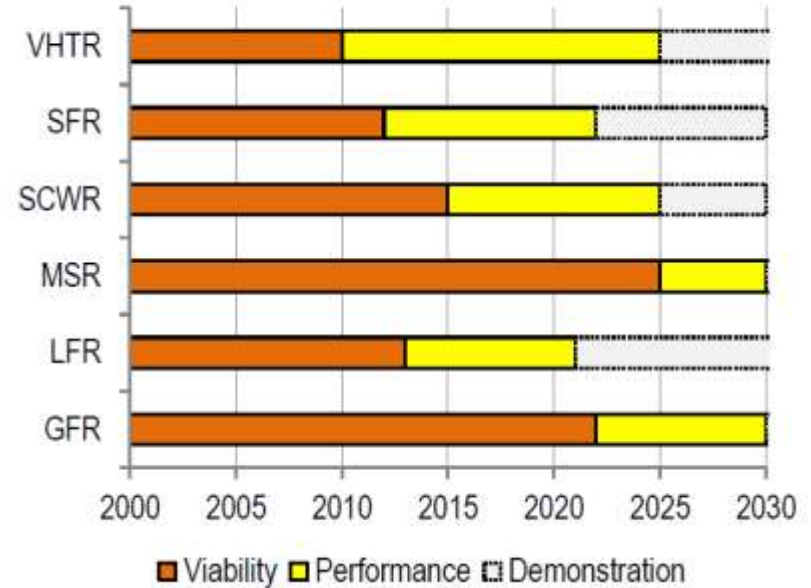
✓ = Signatory to the System Arrangement; P = signatory to the Memorandum of Understanding; Argentina, Brazil, and the United Kingdom are inactive.

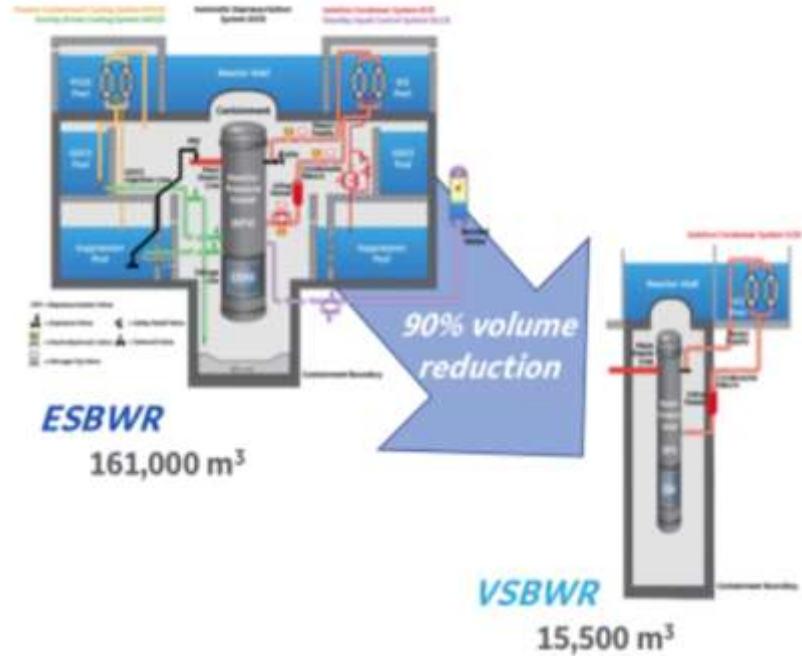
Planeación Generación IV

GIF roadmap 2002



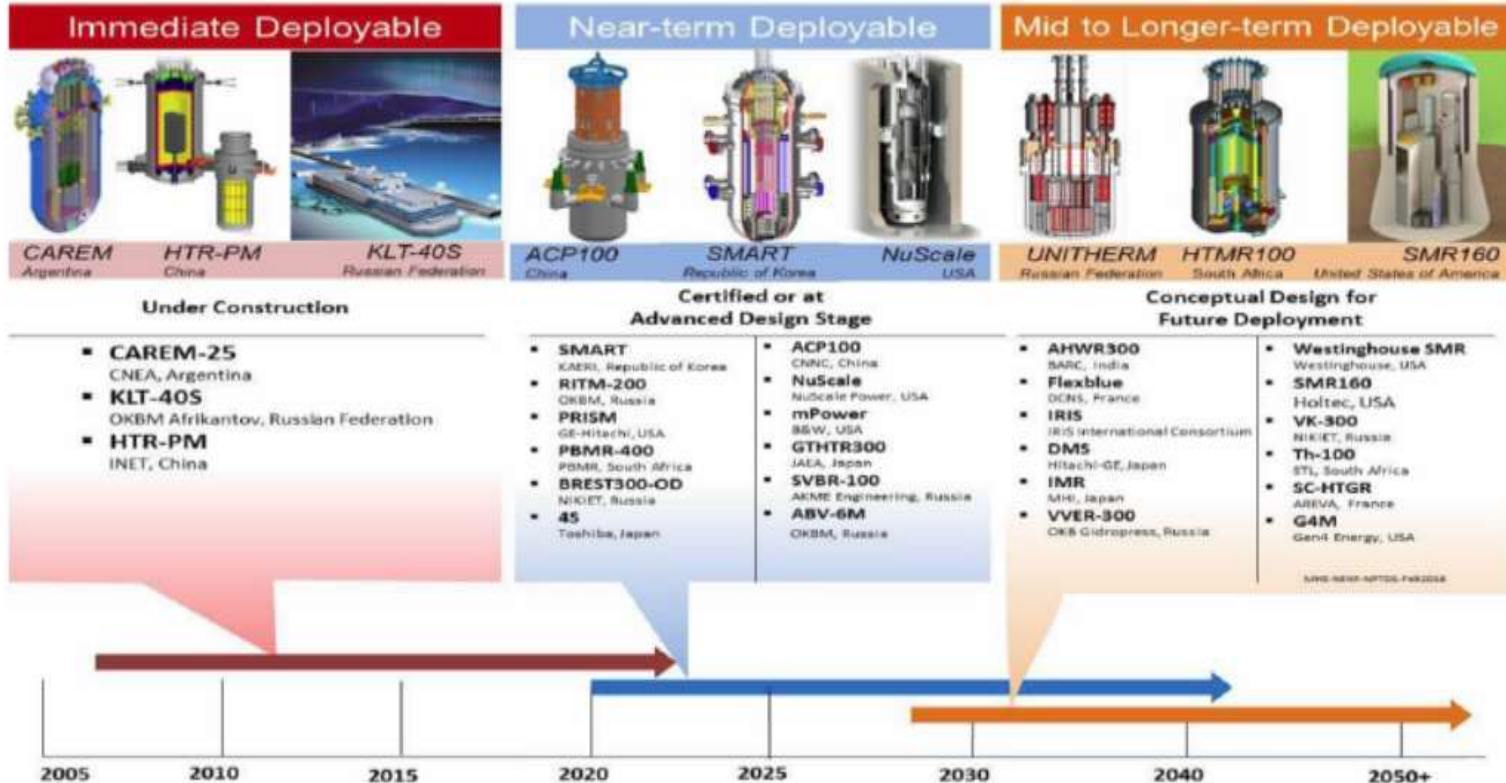
GIF roadmap 2013





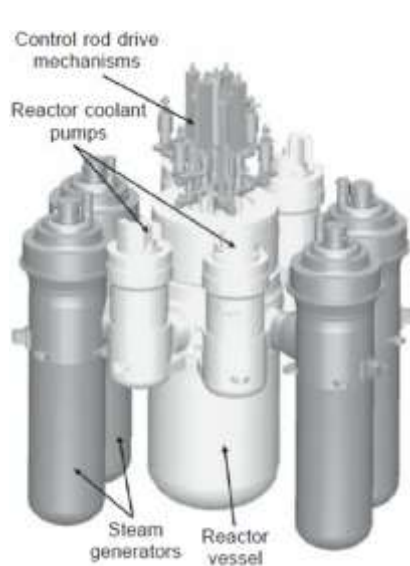
Reactores SMR

Línea de Desarrollo para los SMR's



KLT-40S

- Potencia Eléctrica **35 MWe**
- Tiempo de operación sin recarga **36 m**
- Vida de diseño de la Planta **40 años**
- RPVT(d/h) **02.4m/4.1m**



01:51 03.11.2018(actualizada a las 11:41 05.11.2018)

La corporación Rosatom puso en marcha con éxito el reactor de la primera central nuclear flotante rusa **Akademik Lomonosov**.

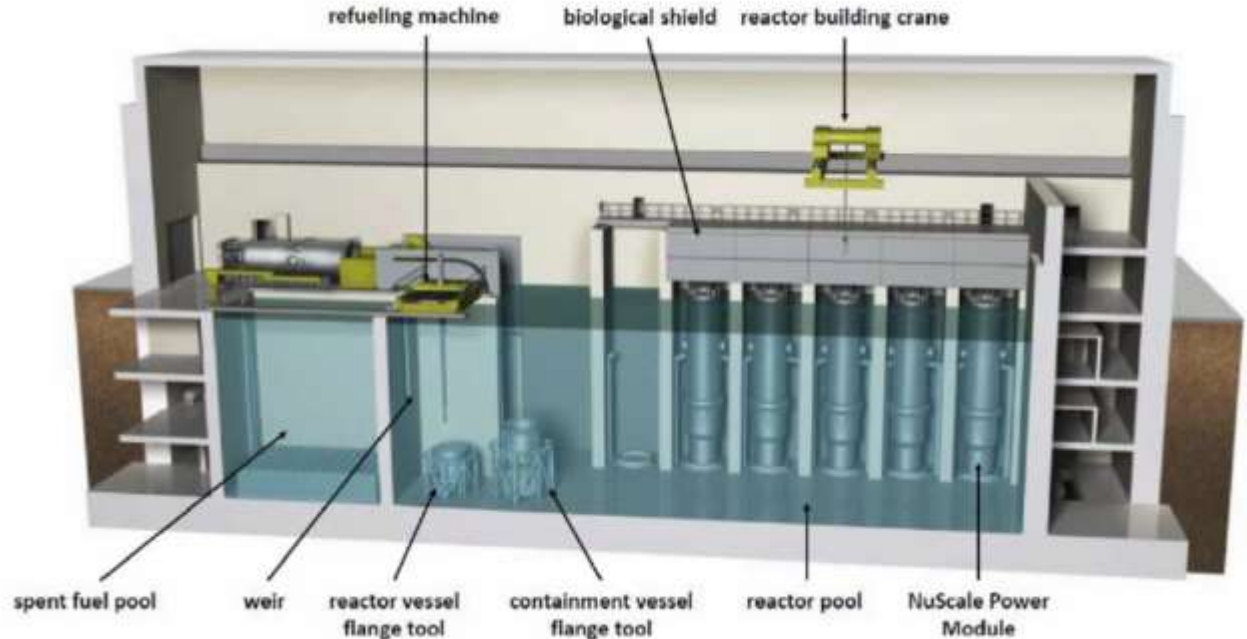
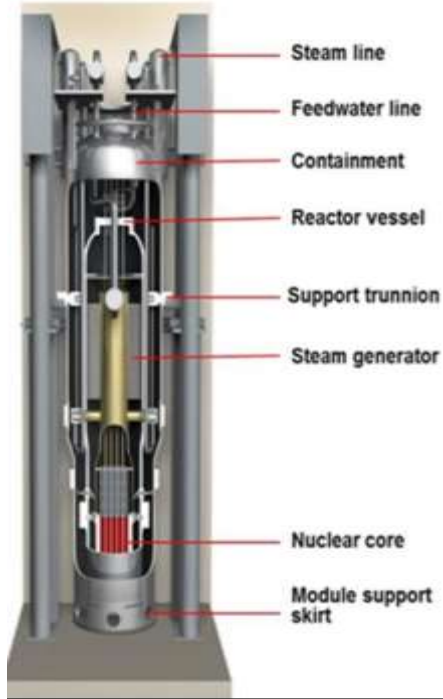
"La puesta en marcha del reactor en la parte de derecha de la central nuclear Akademik Lomonosov tuvo lugar el 2 de noviembre. La instalación del reactor alcanzó el nivel de potencia mínimo controlado a las 17:58 hora de Moscú", dijo el interlocutor de Rosatom.

El núcleo del reactor (d/h 1.2m/1.2) consiste de 121 elementos combustibles hexagonales

NuScale



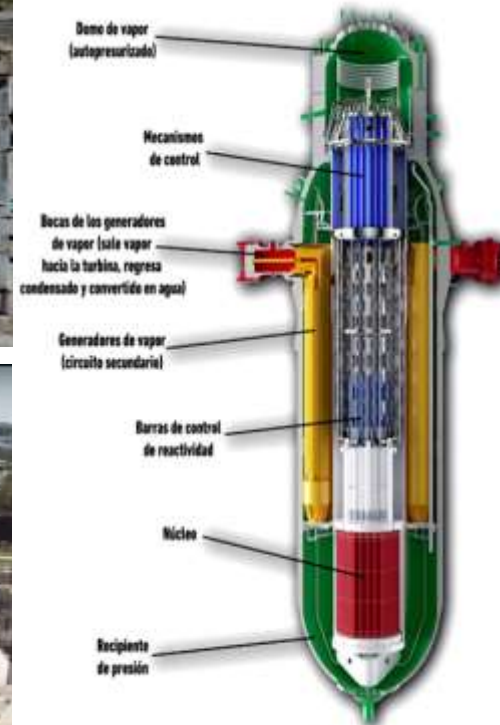
- Potencia Eléctrica **60 MWe**
- Tiempo de operación sin recarga **24 meses**
- Vida de diseño de la Planta **60 años**
- Combustible **17x17 estándar 2 m de longitud**



CAREM



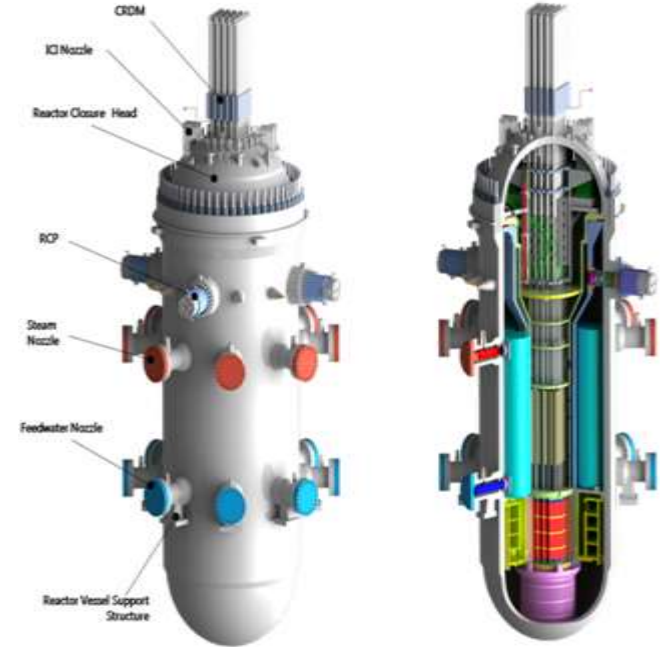
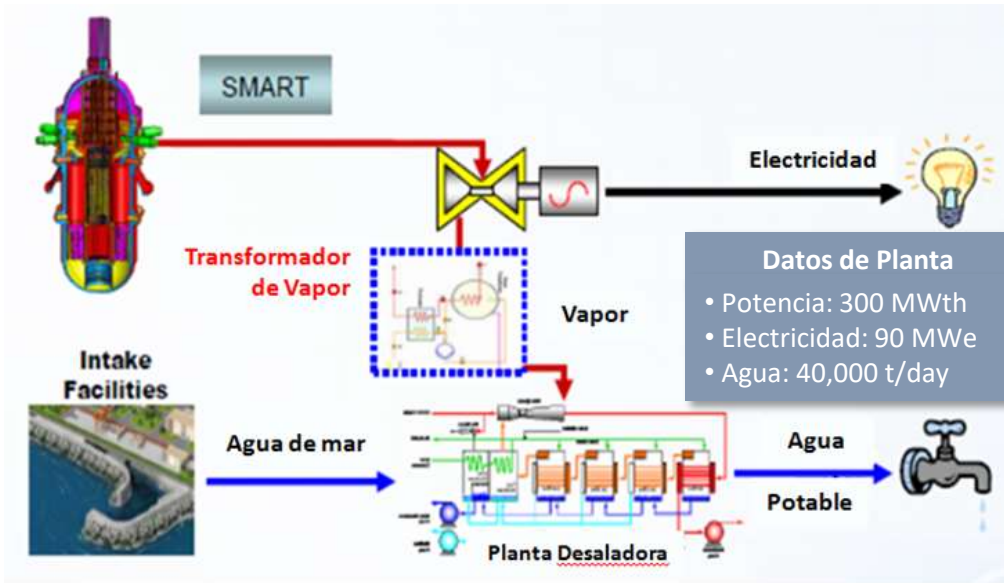
- Potencia Eléctrica **25 MWe**
- Tiempo de operación sin recarga **18-20 m**
- Vida de diseño de la Planta **30 años**
- 61 elementos combustibles (1,3m) en Configuración hexagonal
- Inición Construcción 2014
- **Fecha de terminación 2020**



SMART



- Potencia Eléctrica **100 MWe**
- Tiempo de operación sin recarga **36 meses**
- Vida de diseño de la Planta **60 años**
- Temperatura del Vapor a la salida **200 °C**



Diseñado para proporcionar electricidad y agua para una población de 100 mil habitantes

BWRX-300

BWRX300

The most economical SMR design available.*

The BWRX-300 is a ~300MWe water-cooled, natural circulation Small Modular Reactor (SMR) with passive safety systems. The BWRX-300 is based in large part on the U.S. NRC licensed, 1520 MWe ESBWR design. The BWRX-300 is designed to provide clean, fission based electricity generation that is competitively priced with the lifecycle costs of the typical natural gas combined-cycle plant.

The tenth evolution of the Boiling Water Reactor (BWR), the BWRX-300 represents the simplest, yet most innovative BWR design since GE began developing nuclear reactors in 1963. The result is a dramatic reduction in scale and complexity compared to large reactors, as well as other SMR designs. BWRX-300 is projected to have up to 80% less capital cost per MW when compared with other typical water-cooled SMR and large nuclear designs in the market. The BWRX-300 is designed for significant reductions in operating staff, maintenance cost, and security requirements.

The key BWRX-300 innovation is the elimination of large Loss-of-Coolant Accidents (LOCAs). This innovation enables simpler passive safety systems and a more compact reactor building compared to prior Light-Water Reactor (LWR) designs. A strong focus on design-to-cost has resulted in an innovative solution that limits plant volume, concrete & steel, while utilizing the ESBWR's design and licensing basis to the fullest extent. Traditional support system designs are simplified and scaled from the ESBWR.

The BWRX-300 utilizes natural circulation and passive cooling isolation condenser systems from the U.S. NRC-licensed ESBWR. Steam condensation and gravity allow the BWRX-300

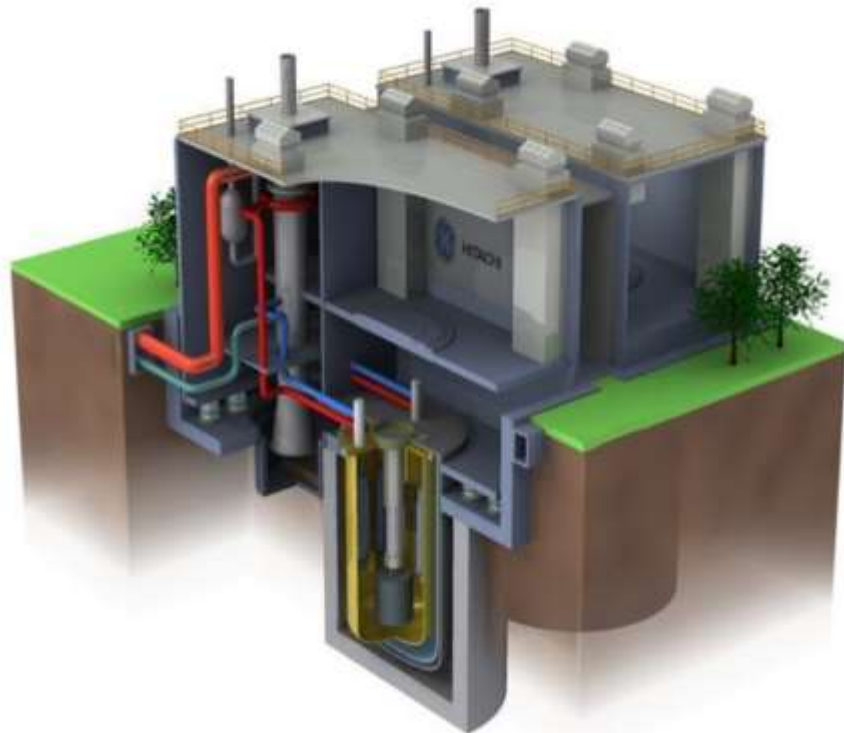
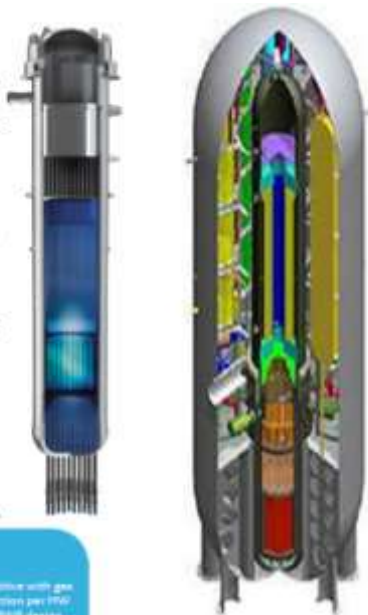
to passively cool itself for 7 days without power or operator action during abnormal events, including station blackout. Indefinite cooling is achieved by the simple action of water addition to the isolation condenser pools.

The reactor pressure vessel and other components can be manufactured in various countries. Components and piping are skid-mounted equipment and straight forward to install. The reactor building is modular and simple to construct. Turbine Building and Balance of Plant equipment is skid-mounted and utilizes "off-the-shelf" combined cycle equipment.

The BWRX-300 can be commercially deployed as early as 2030, utilizing modular and open-top construction techniques proven in Japan. The BWRX-300 power plant is approximately 10% of the size and complexity of a large nuclear project; thereby, substantially reducing project risk and total capital cost requirements.

Key advantages

- Skid-ship safety
- Designed to be cost-competitive with gas
- Up to 80% capital cost reduction per MW
- Scaled from the licensed ESBWR design
- No large LOCAs
- 7 days of passive standby cooling
- Utilizes common construction techniques
- Requires only limited on-site staff and security

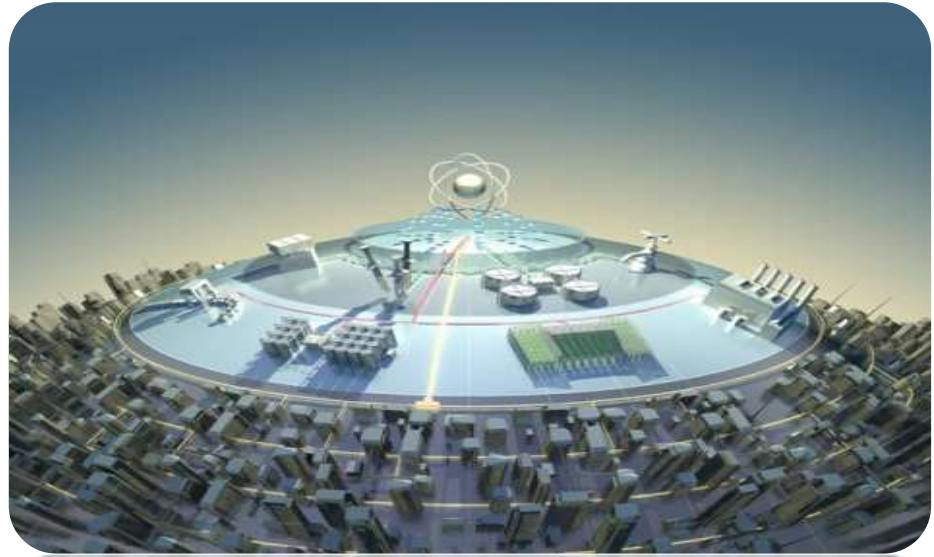


HITACHI

Patents pending

*Compared to currently offered water-cooled SMRs

Copyright 2018 GE Hitachi Nuclear Energy - America, LLC

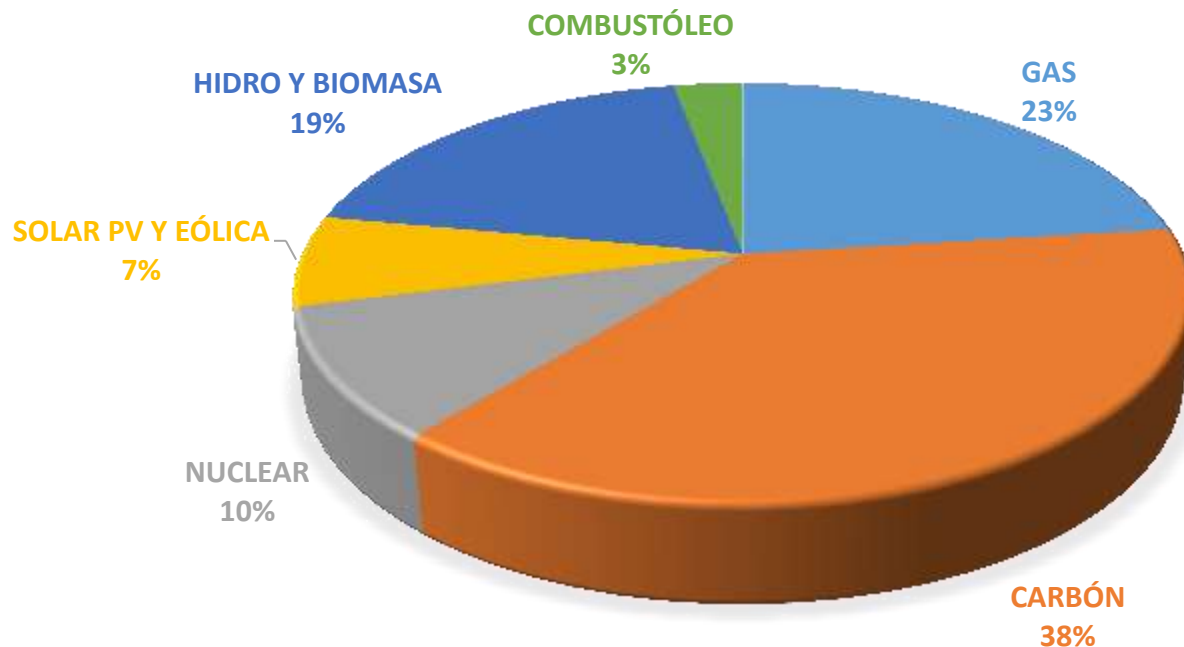


Situación Actual de la Energía Nuclear en el Mundo

“Haremos la electricidad tan barata que sólo los ricos quemarán velas”

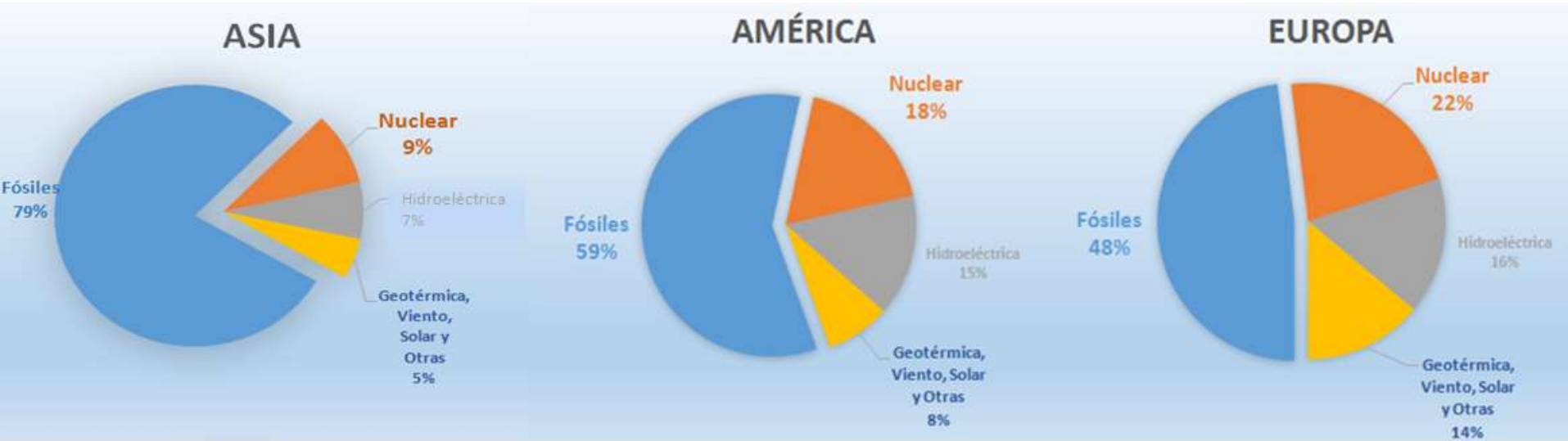
Thomas A. Edison

Mezcla de Generación Eléctrica en el Mundo (2018)



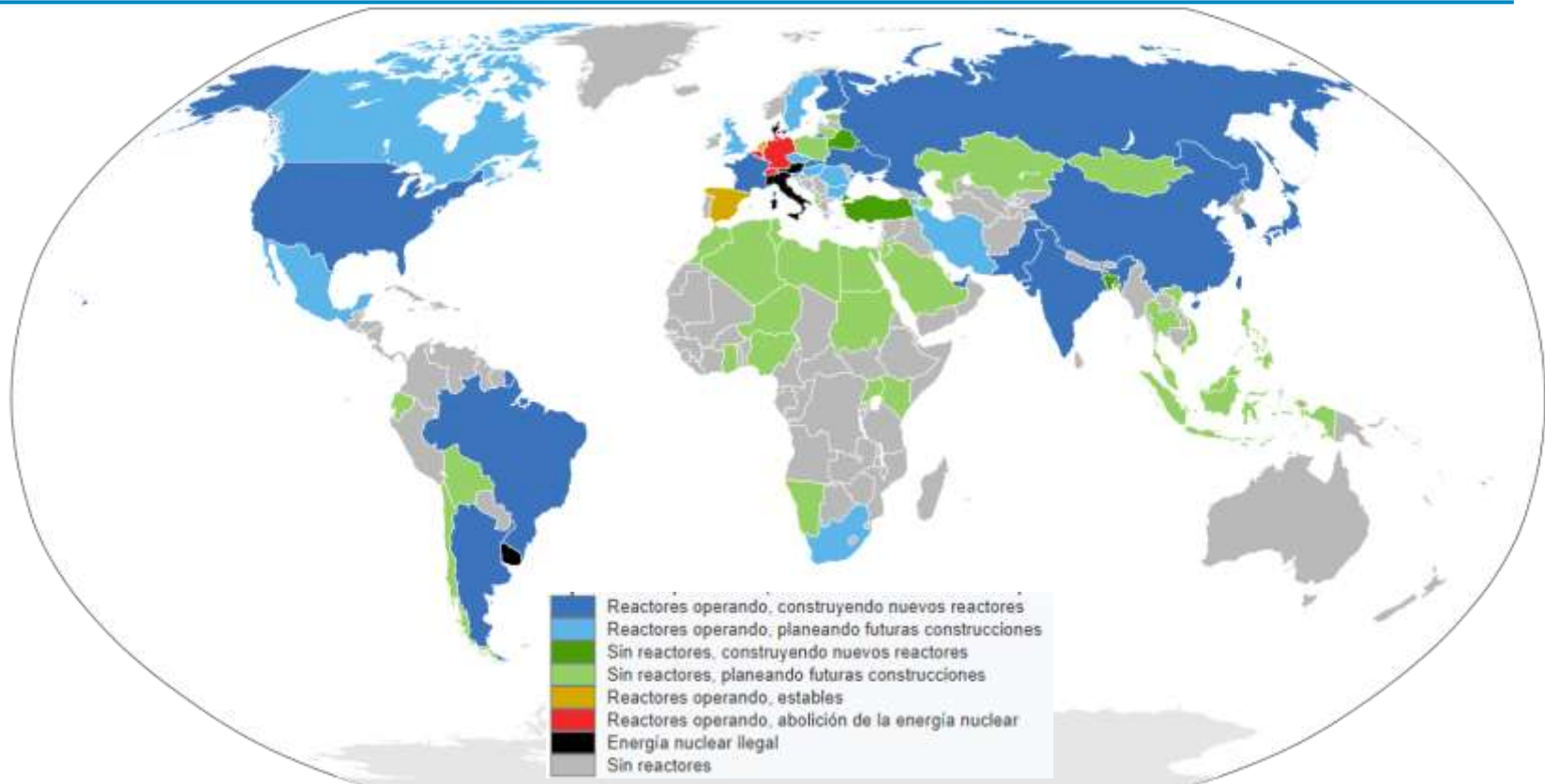
Si en la actualidad el mundo no utilizara energía nucleoelectrica, las emisiones, aumentarían aproximadamente en un 8% cada año.

Mezcla de Generación Eléctrica en la OECD 2017

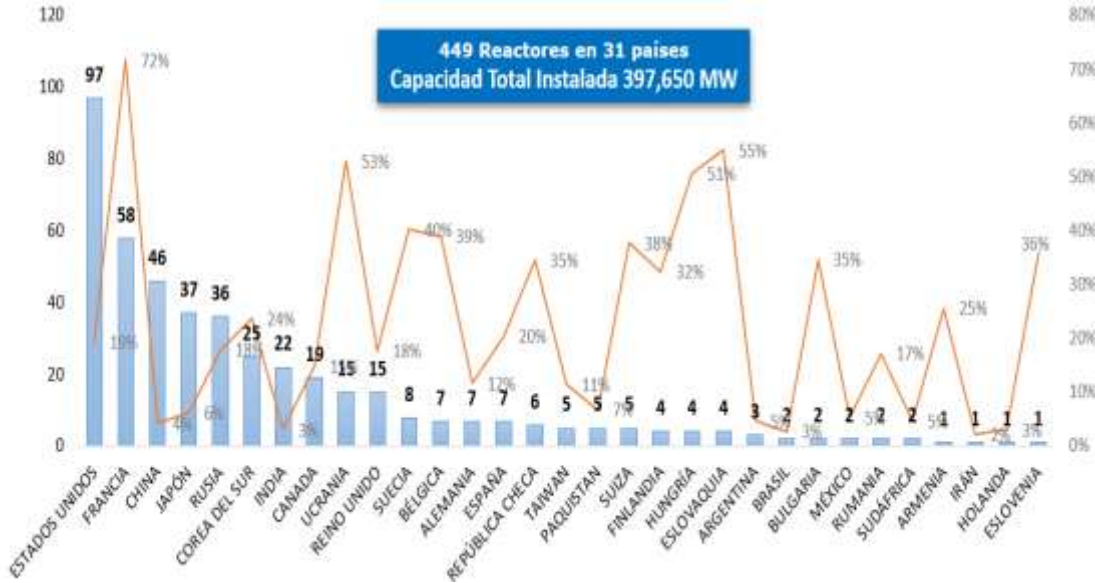


- En 2017, los "cinco grandes" países generadores de energía nuclear fueron: Estados Unidos, Francia, China, Rusia y Corea del Sur (Generaron el 70 % de toda la electricidad nuclear del mundo)
- Estados Unidos y Francia, representaron el 47.5 % de la producción nuclear mundial en 2017

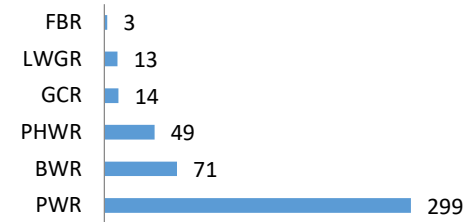
Países con Plantas Nucleares



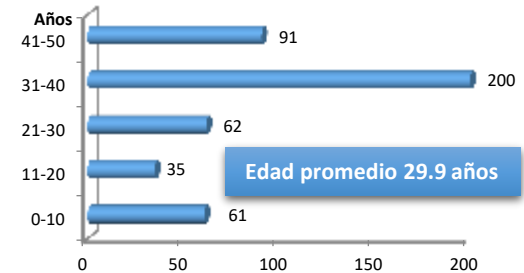
La Industria Nuclear a Nivel Mundial



Reactores en Operación según su tecnología



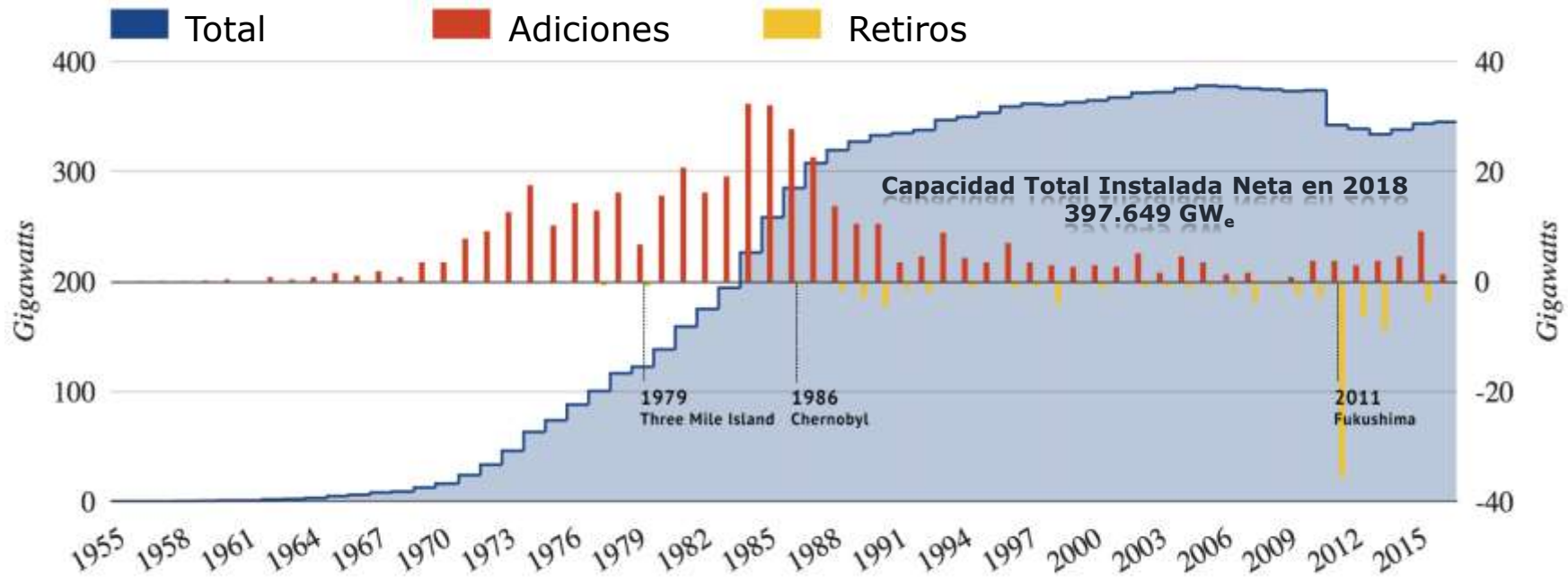
Reactores en Operación según su antigüedad



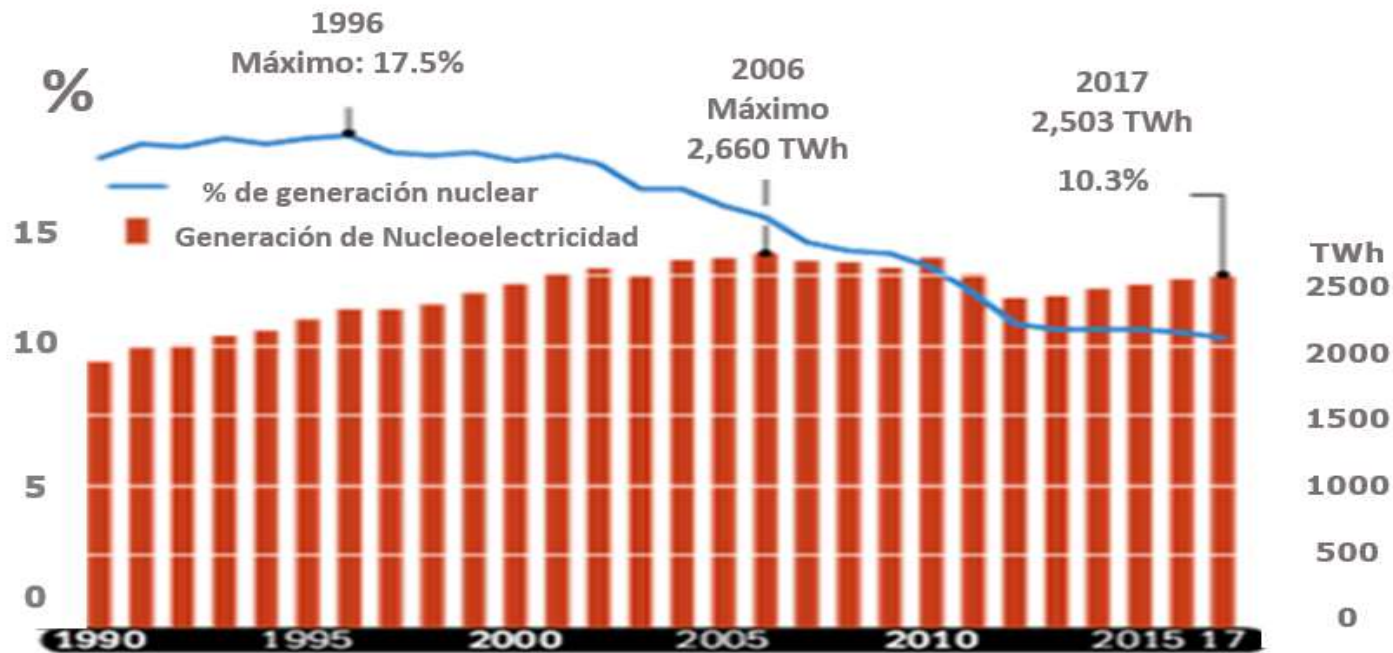
Del **2016 – 2018** iniciaron su operación un total de **23 reactores**: 15 en China, 1 en Corea, 1 en Estados Unidos, 1 en la India, 2 en Paquistán y 3 en Rusia 9 de los cuales iniciaron operación en 2018

En el **2019**, 2 reactores fueron conectados a la red, uno en Corea y otro en Rusia , el último el 1 de mayo

Evolución de la Capacidad de Generación de la Nucleoelectricidad

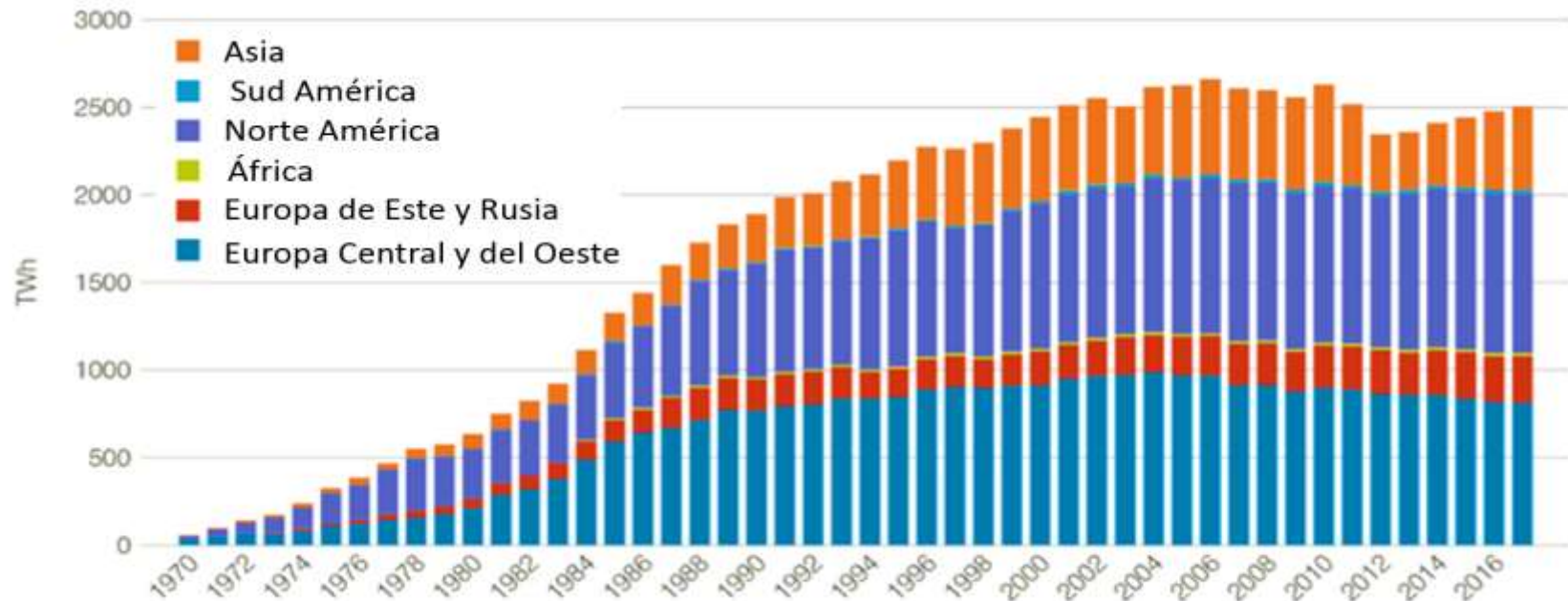


Evolución de la Generación de la Nucleoelectricidad 1990-2017



Electricidad Total Generada en 2018
2,562 TWh

Producción de Electricidad Nuclear por Región



**En Japón, después de Fukushima, 9 reactores han reiniciado operaciones:
2 en 2015, 1 en 2016, 2 en 2017 y 4 en 2018.**

Además, 20 de los 42 reactores operables en Japón, han solicitado las inspecciones necesarias para entrar en operación

Cifras del 2018



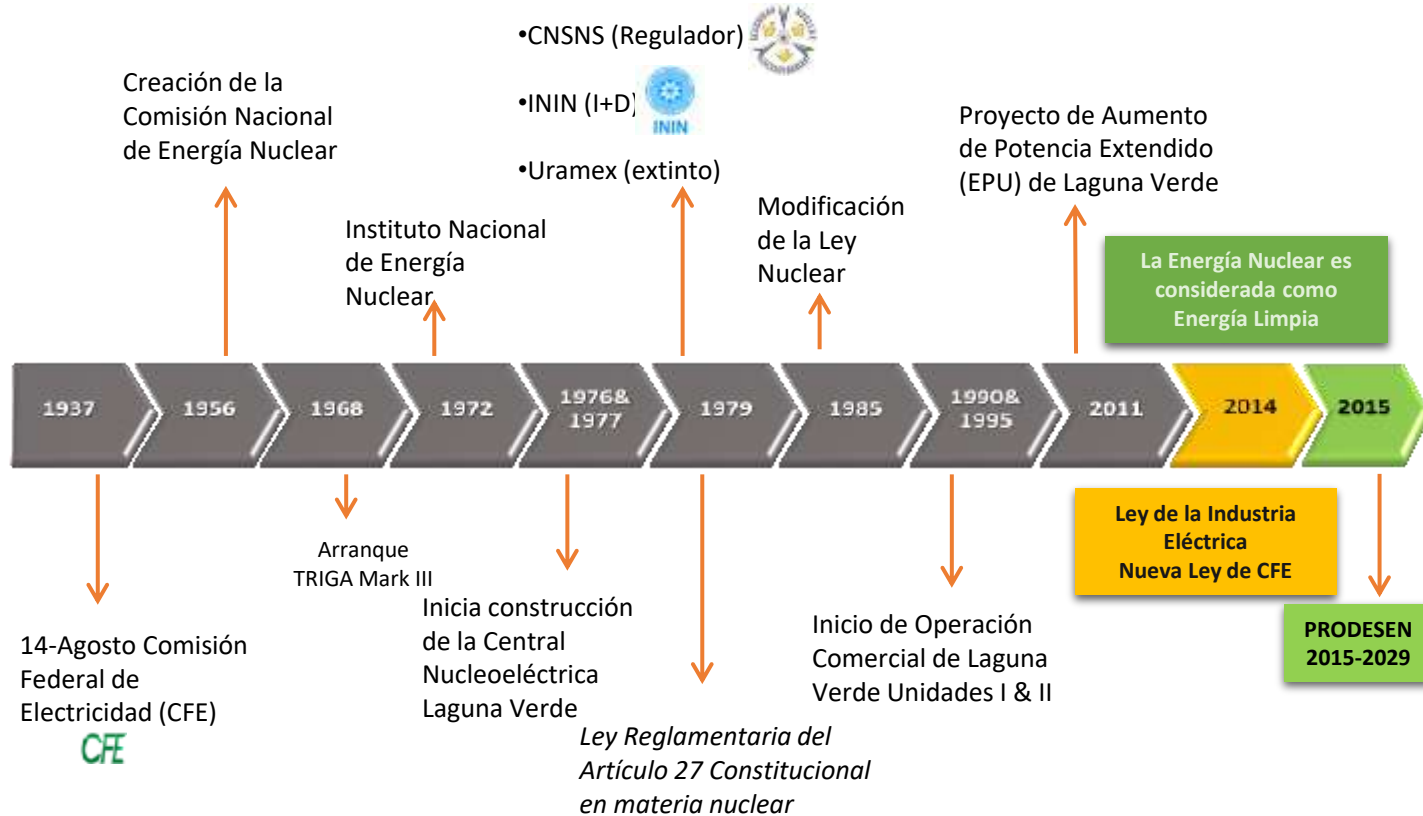
EL MUNDO EN 2018		OECD	No-OECD
Generación Nuclear (TWh)	2,562	1,912.0	650.0
% de matriz energética	4.9	9.3	2.3
% de matriz eléctrica	10.1	17.1	4.9
Capacidad Instalada (GW)	397	291.0	106.0
% de capacidad instalada de generación	5.6	9.6	2.7
Expansión media anual en los últimos 5 años (GW)	5.0	-1.6	6.6
Nuevos reactores en la red (últimos 5 años)	40.0		
Reactores retirados (últimos 5 años)	27.0		
5 países con más generación (TWh)	1,895.1		
% de generación total	71.0		
Estados Unidos (%)	31.8		
Francia (%)	15.5		
China (%)	11.0		
Rusia (%)	7.7		
Corea del Sur (%)	5.0		



Energía Nuclear en México

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

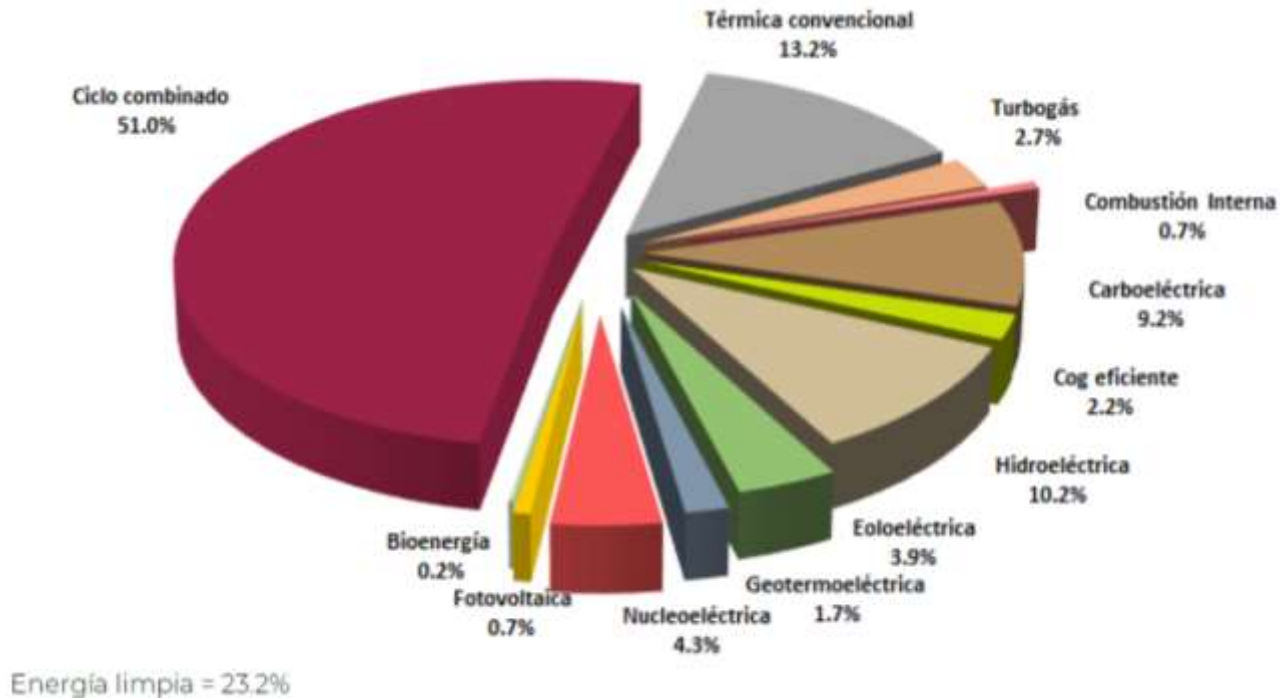
Desarrollo del Marco Institucional de la Energía Nuclear



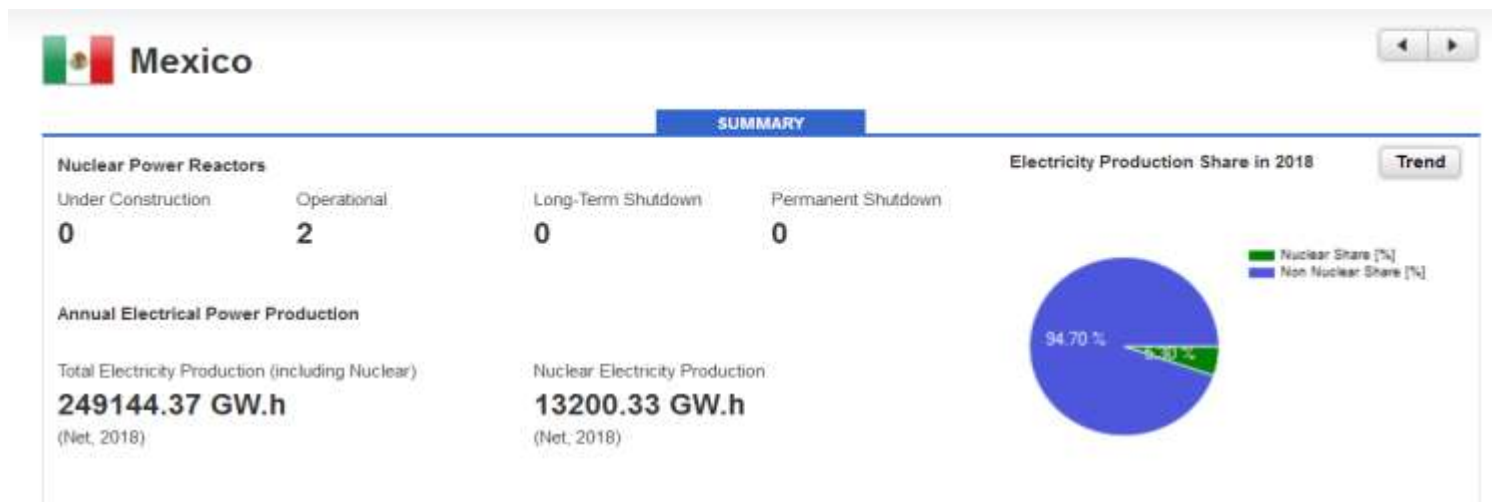
Marco Institucional para la Energía Nuclear



Energía producida durante 2018 por tecnología (317,278 GWh)



México Nuclear



REACTORS

Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power [MW]	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
LAGUNA VERDE-1	BWR	Operational	ALTO LUCERO	777	805	1989-04-13
LAGUNA VERDE-2	BWR	Operational	ALTO LUCERO	775	810	1994-11-11

Above data are from the PRIS database. Last update on 2019-06-13

Central Nucleoeléctrica Laguna Verde

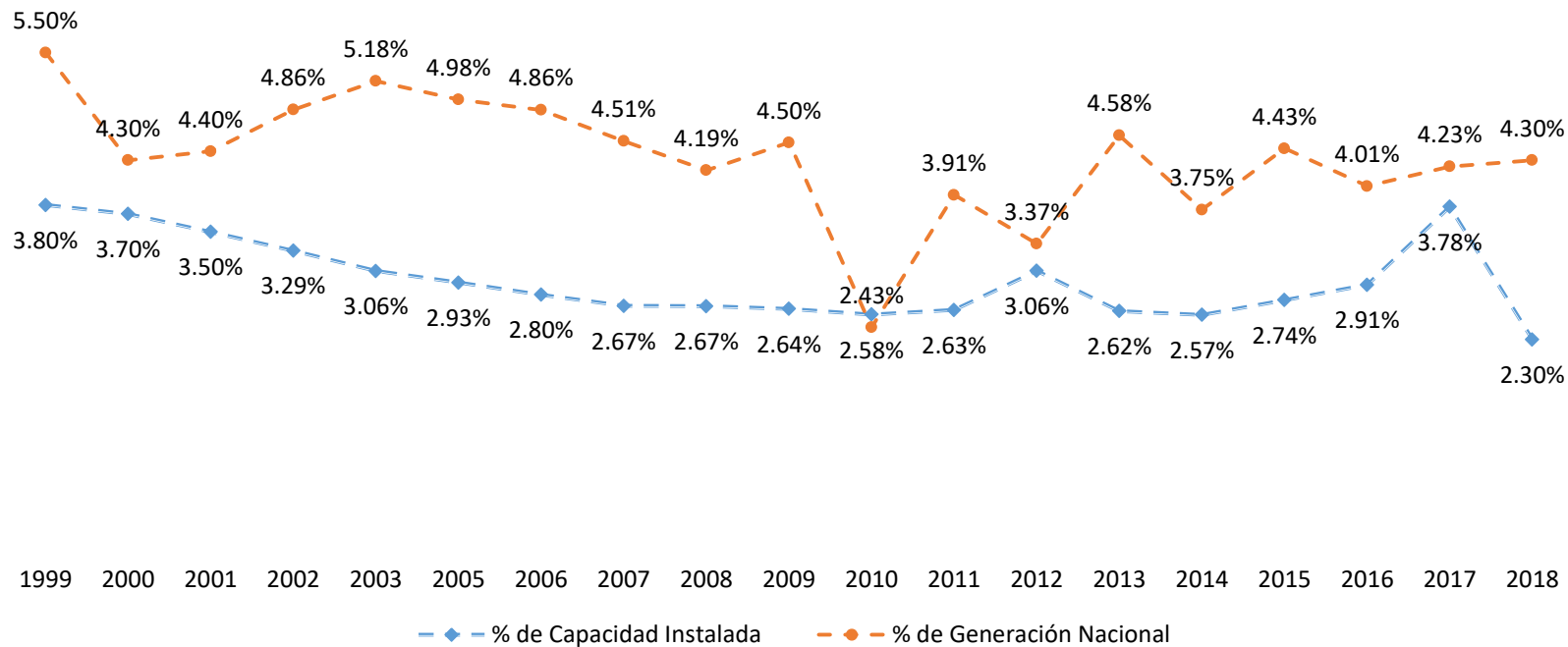


- **Dos Unidades idénticas**, cada una tiene un reactor tipo **BWR/5** de General Electric
- **Unidad 1** inició operación comercial en **1990**
- **Unidad 2** inició operación comercial en **1995**
- **444 ensamblajes combustibles**
- **50,625 m³ de concreto. 25,650 toneladas de metal.**

Capacidad

- **1931 MWth, 656 .54 MWe, Original**
- **2027 MWth, 689.18 MWe, 1999 ambas unidades**
- **2317 MWth, 805.7 MWe, 2015 ambas unidades**

Participación de Laguna Verde en el Sistema Eléctrico



Elaborado a partir de datos del SIE de SENER

Factor de Planta en el 2018: 96%

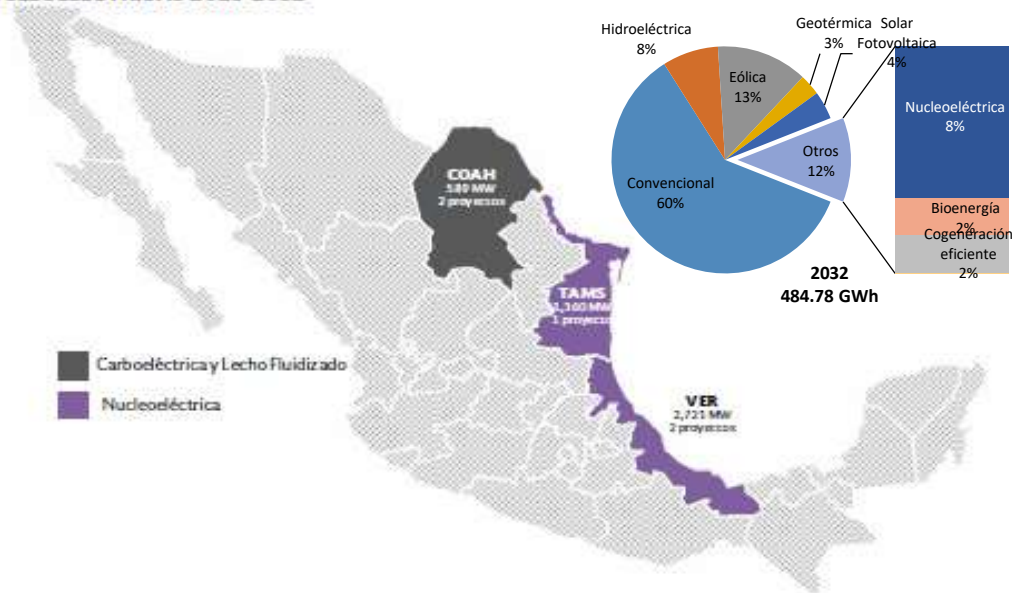
PRODESEN 2018-2032



PRODESEN
PROGRAMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL



MAPA 4.5.5. CAPACIDAD ADICIONAL EN CENTRALES CARBOELÉCTRICAS, LECHO FLUIDIZADO Y NUCLEOELÉCTRICAS 2018-2032



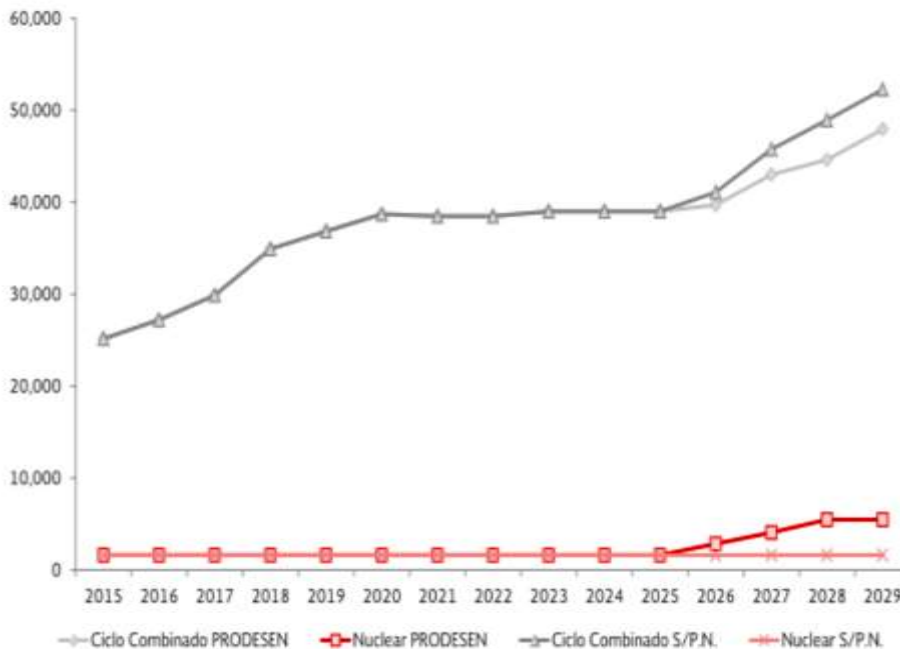
Los totales pueden no coincidir por redondeo. Fuente: Elaborado por la SENER.

Se programa adicionar 3 reactores nucleares 2029, 2030 y 2031

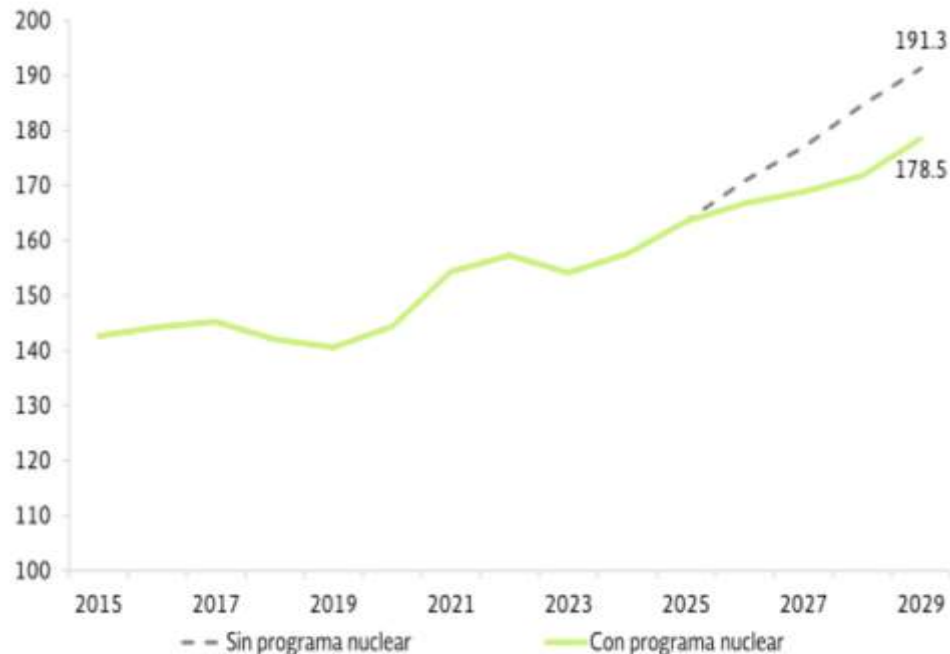
Evolución de la capacidad de generación y emisiones de CO2 para PRODESEN y sin Proyectos Nucleares



MW

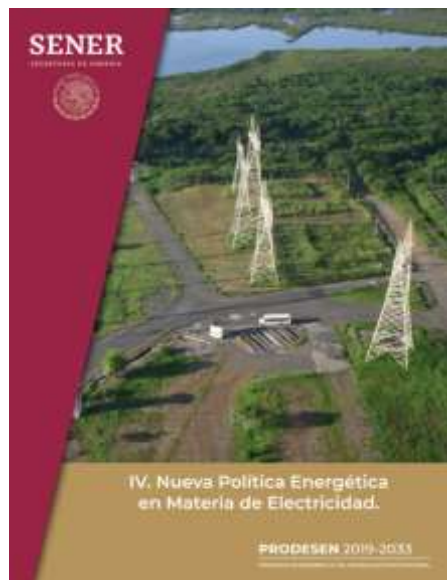
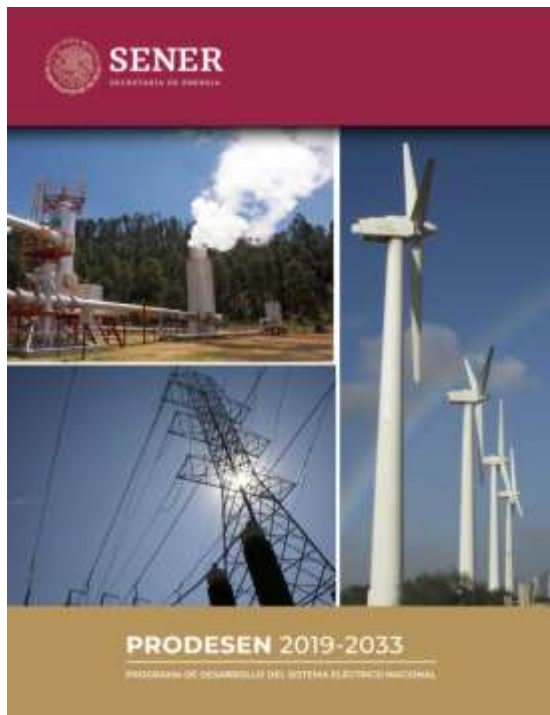


Millones de Toneladas de CO2



PRODESEN 2019-2033

Página 22

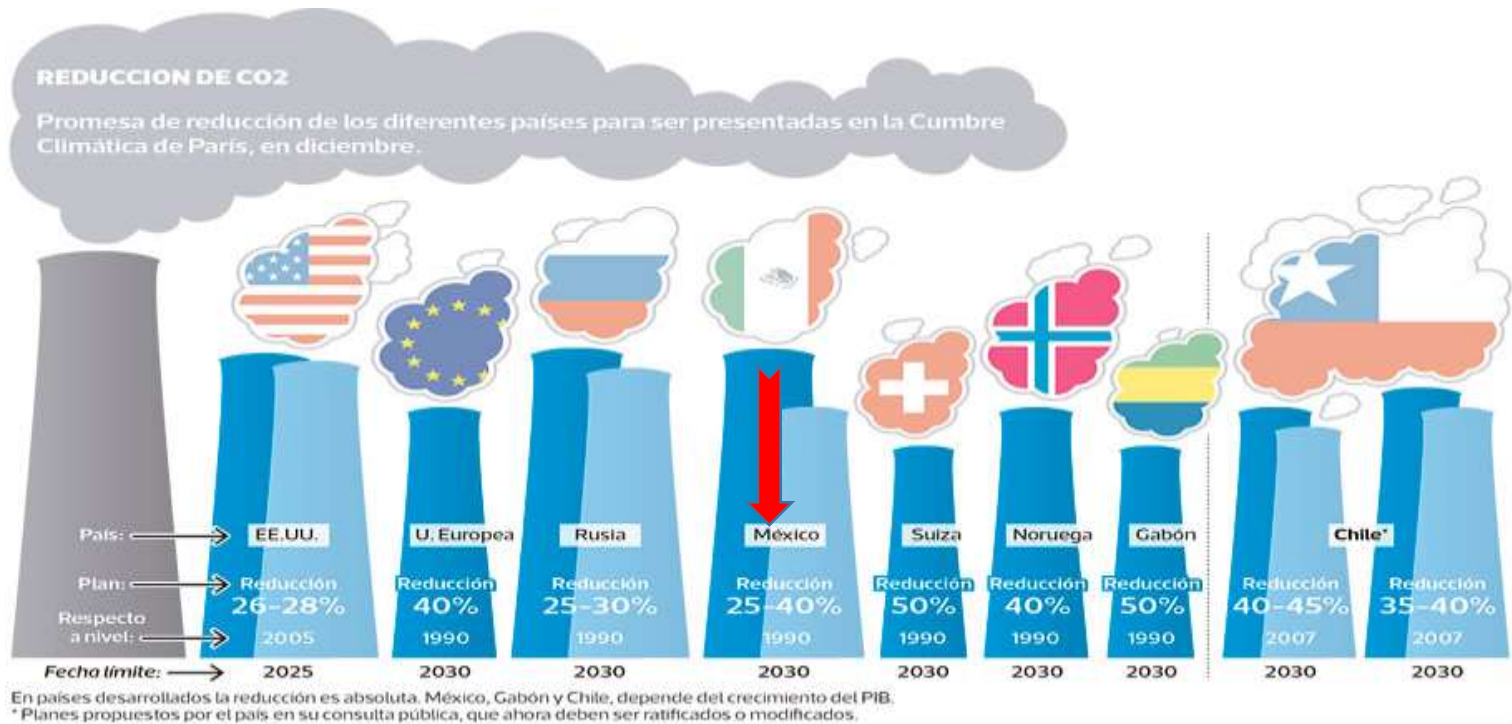


- Se debe continuar con el adecuado mantenimiento, funcionamiento y seguridad en la Planta Nuclear de Laguna Verde; es importante recuperar y fortalecer la experiencia mexicana en la generación nucleoelectrónica, mantener la alta cualificación del personal de la Planta, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias y del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; así como desarrollar tecnologías y aplicaciones en salud, medio ambiente, alimentación, entre otros; e incorporar investigadores y profesionales jóvenes. Se debe continuar realizando estudios sobre la evolución de la industria nuclear en el mundo y sobre las opciones posibles para la ampliación de nuestra capacidad nucleoelectrónica.

Se eliminan los 3 reactores nucleares programados para 2029, 2030 y 2031

Aparentemente se sustituyen por 1900 MW de Ciclo Combinado, 1500 MW de Energía Eólica y 600 de Solar Fotovoltaica

Compromisos de México en la COP-21



FUENTE: ONU

México requiere reducir en un 31% las emisiones de CO₂ provenientes de la generación de electricidad al 2030

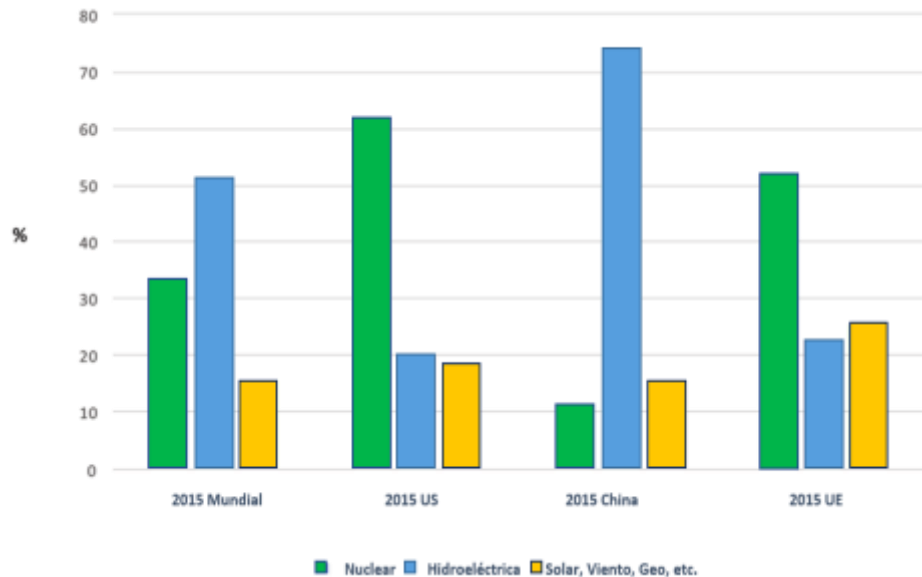


Aspectos Ambientales de la Energía Nuclear

- *"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."*

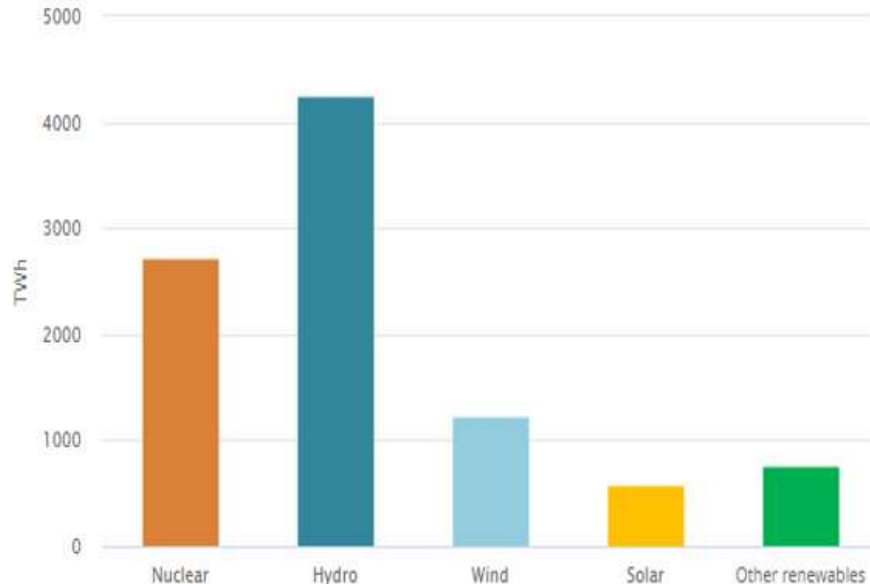
• **Anónimo**

Mezcla de Generación de Electricidad Mediante Fuentes Limpias



Fuente International Energy Agency 2017

Global low-carbon power generation by source, 2018



Fuente International Energy Agency 2019

La Energía Nuclear como Alternativa para Reducir Emisiones de CO₂ en el Mundo



Por cada 22 toneladas de uranio utilizado (26 t U₃O₈) se evitan cerca de 1 millón de toneladas de CO₂ provenientes del carbón.

- En los últimos 25 años el uso de energía nuclear ha evitado la emisión de 56 gigatoneladas de CO₂.

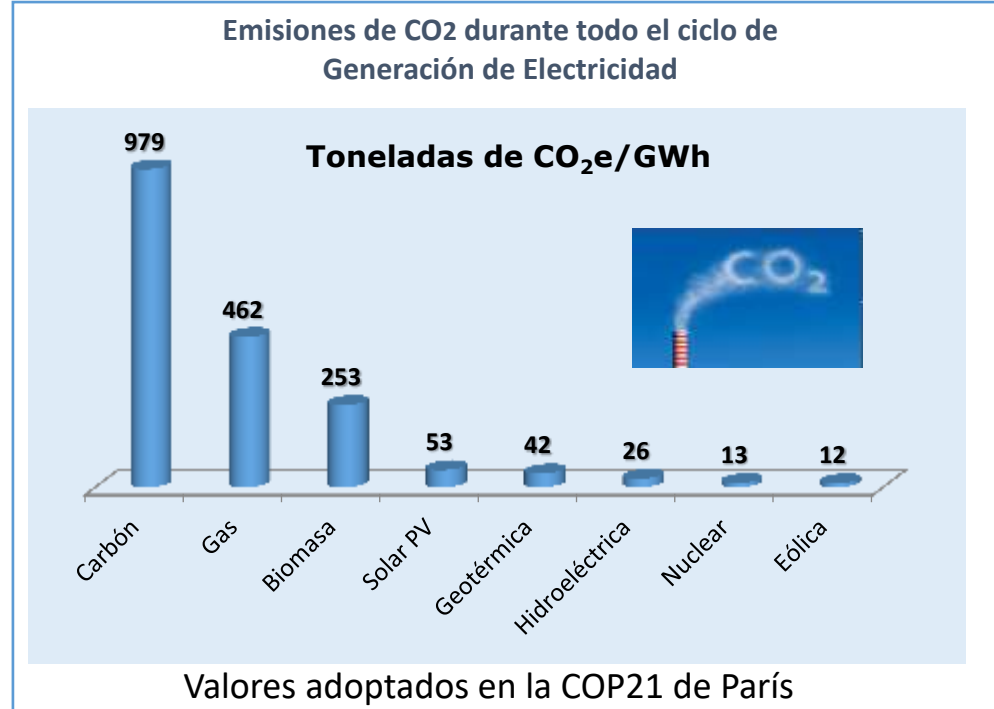
Emisiones globales de 2 años

- En los Estados Unidos, las centrales nucleares evitaron la emisión de 595 millones de toneladas métricas de CO₂ en el 2014.

Equivalente a las emisiones de todos los automóviles en Estados Unidos

- En Japón, después de Fukushima, las emisiones de CO₂ relacionadas con la generación de electricidad crecieron en un 31.7%.

Gas y Carbón en lugar de Nuclear



Fuente: Edenhofer, O, et al. *Annex III: "Technology-specific costs and performance parameters. Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change"*. Cambridge University Press, (2014)

Emisiones de CO₂ evitadas por Laguna Verde en 2016



Fuente	Toneladas de CO ₂ eq. por GWh generado	Emisiones evitadas Millones de ton de CO ₂
Carbón	948	9.764
Combustóleo	801	8.250
Gas Natural	439	4.521



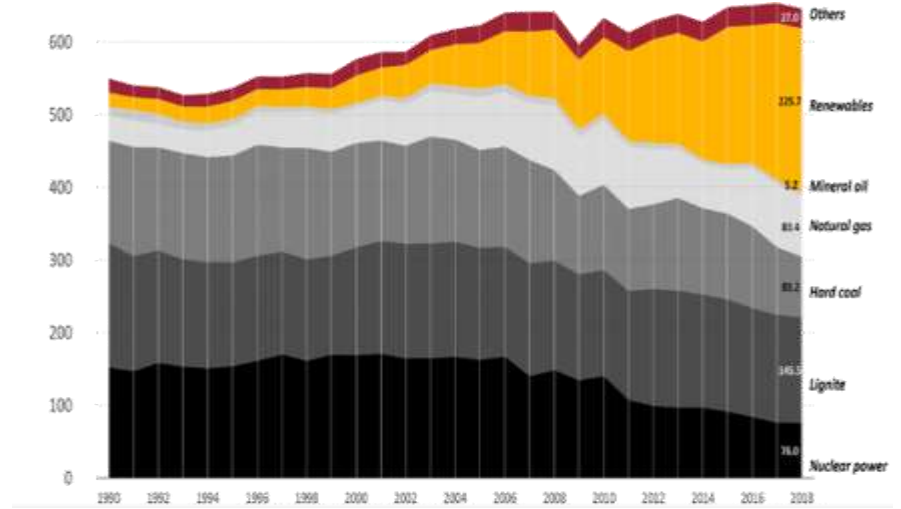
El Caso de Alemania

Capacidad Neta Instalada por tipo de fuente 2002-2018 (GW)



Data: Fraunhofer ISE 2018

Generación Eléctrica por tipo de Fuente 1990-2018 (TWh)



Data: AG Energiebilanzen 2019, 2019 datos preliminares

9 de sus 17 reactores se cerraron y ahora la energía nuclear solo produce el 11.7% de la electricidad, sus restantes 8 reactores se cerrarán entre 2020 y 2025, la opinión pública se opone a la opción nuclear.

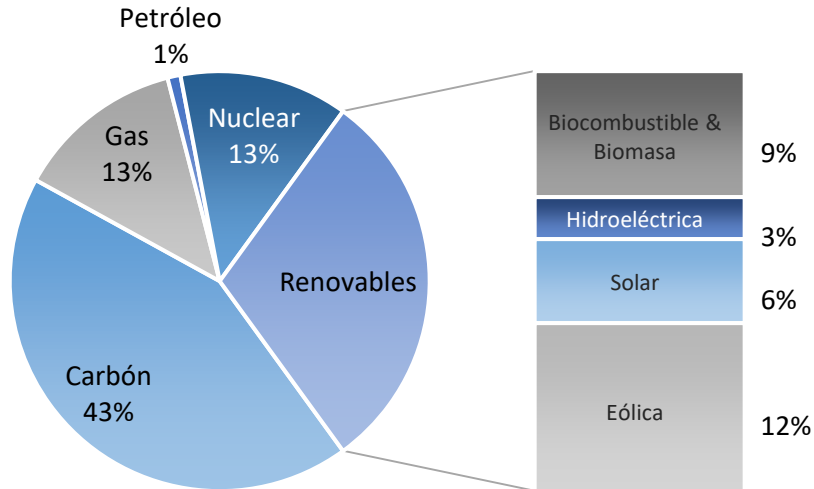
Casi la mitad de la electricidad de Alemania se genera a partir de combustibles fósiles.

Mezcla de Generación Eléctrica 2016 para Francia y Alemania



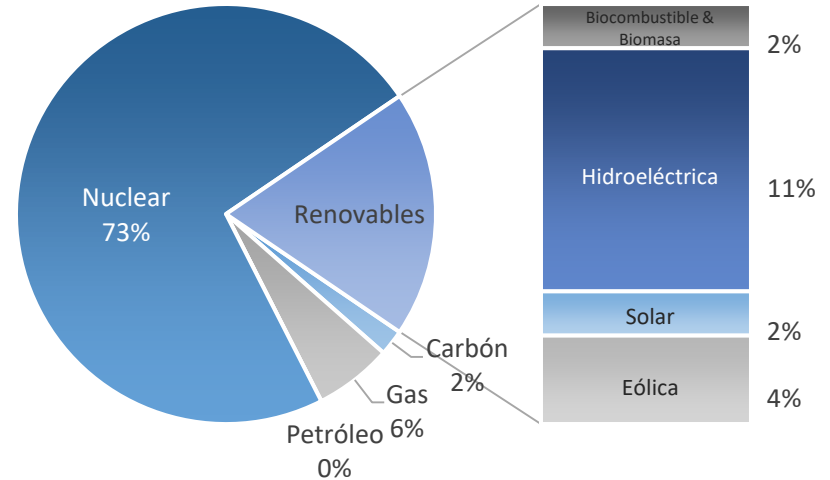
Alemania

31% Renovables (Promedio IEA: 24%)

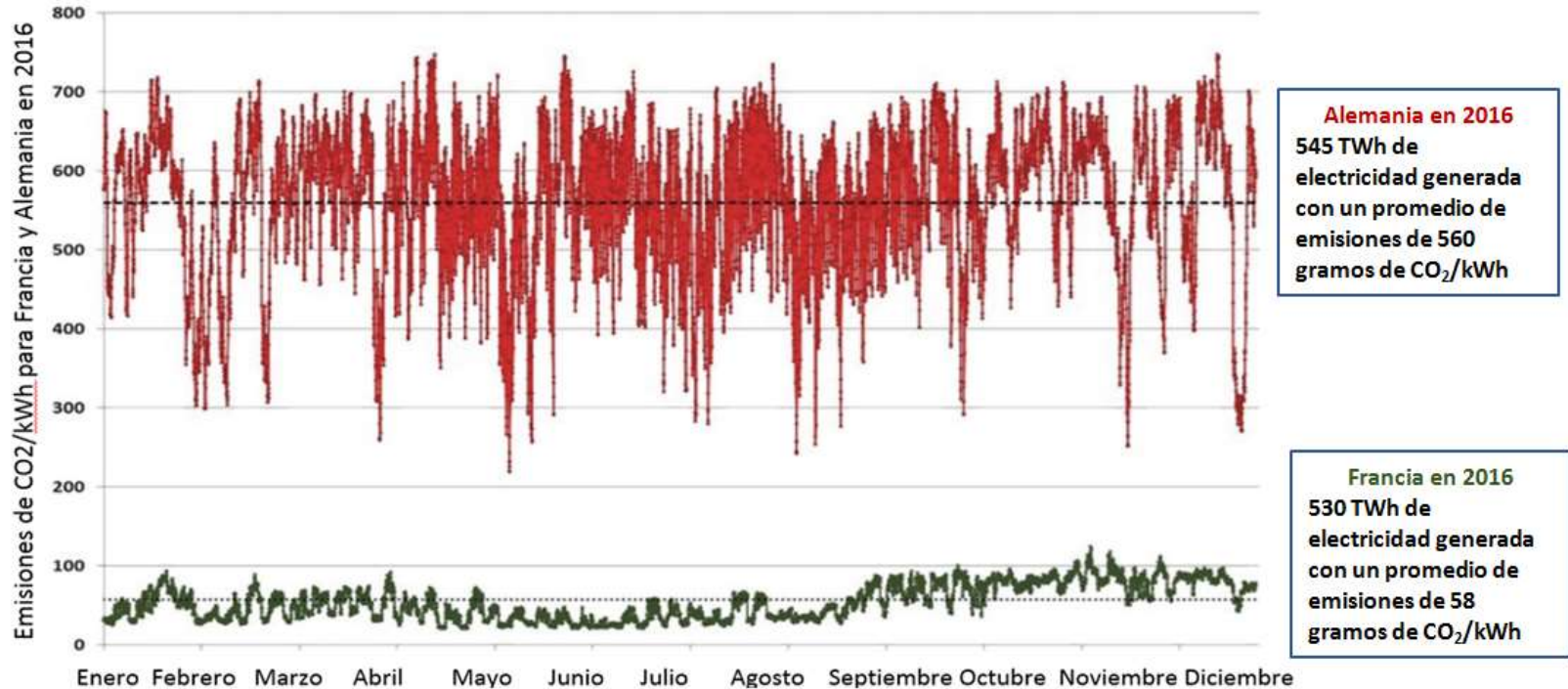


Francia

18% Renovables (Promedio IEA: 24%)



Emisiones de CO₂/kWh para Francia y Alemania en 2016

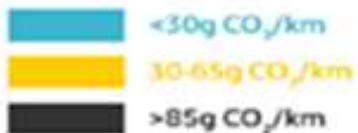


A pesar de haber generado más del 30% de la electricidad mediante energías renovables, las emisiones en Alemania fueron 10 veces más que las de Francia que solo generó el 18% mediante renovables

¿Qué tan ecológico es el vehículo eléctrico?

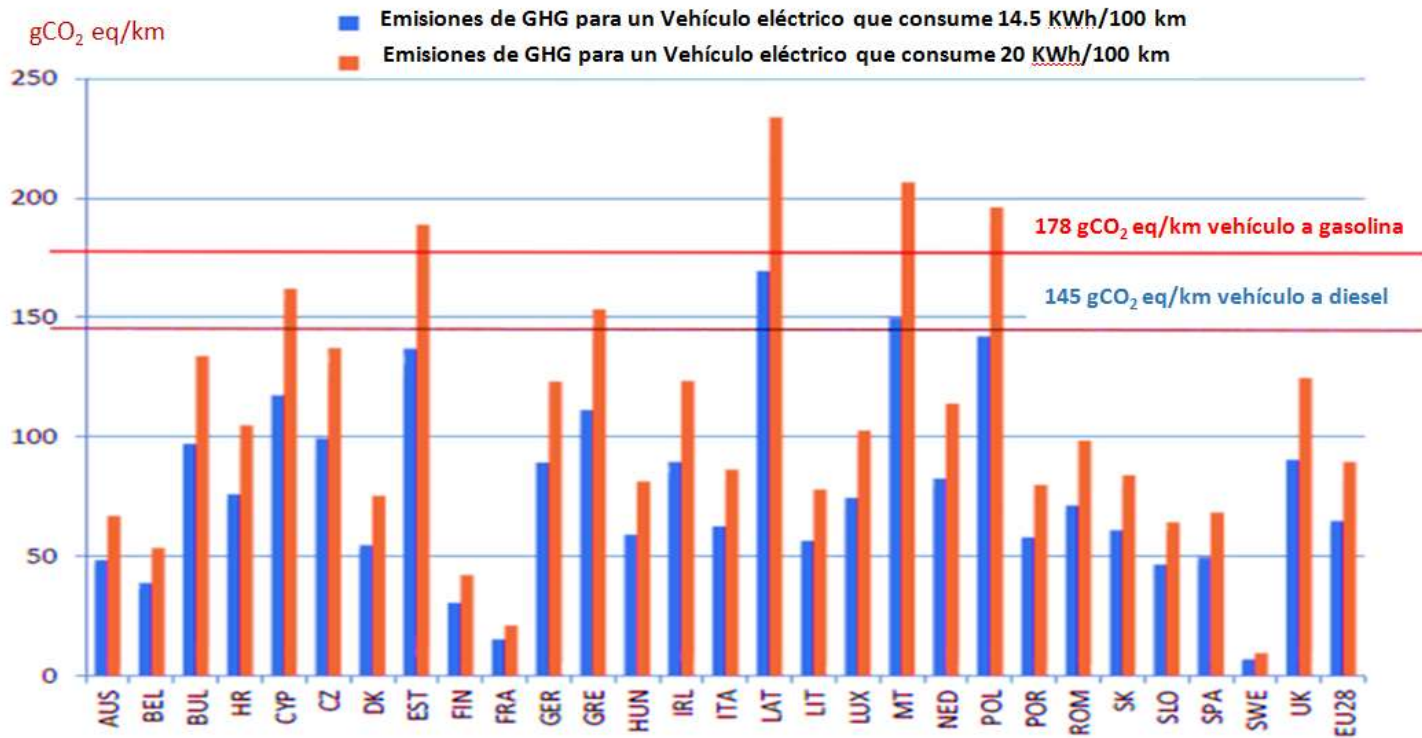


Emisiones por la carga
del vehículo eléctrico



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

Emisiones de GHG debidos al uso de vehículos eléctricos en Europa



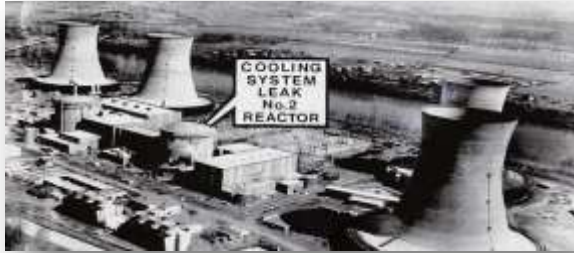


Después de TMI, Chernóbil y Fukushima

“Accidents happen. That's what everyone says. But in a quantum universe there are no such things as accidents, only possibilities and probabilities folded into existence by perception”

J. Michael Straczynski,

TMI, Chernobyl, Fukushima



Marzo de 1979.
Isla de las Tres Millas, EUA
Reactor PWR, 792 MWe
(agua ligera a presión)



Abril de 1986.
Chernobyl, antigua URSS
Reactor RBMK, 1000 MWe
(grafito-agua ligera)



Marzo de 2011
Fukushima, Japón
3 Reactores BWR, uno de 448 MWe y
dos de 760 MWe
(agua ligera en ebullición)



Después del Accidente



Planta	Unidad	Potencia (MWe)	Tipo	Inicio Operación	Apagado	Tiempo de Operación
Three Mile Island	1	819	PWR	9/74	(2034)	60 Años
	2	880	PWR	12/78	3/79	4 Meses
Chernobyl	1	950	RBMK	5/78	11/96	18 años
	2	950	RBMK	5/79	8/91	12 años
	3	950	RBMK	6/82	12/00	18 años
	4	950	RBMK	4/84	4/86	2 años
Fukushima	1	439	BWR	3/71	5/11	40 años
	2	760	BWR	7/74	5/11	37 años
	3	760	BWR	3/76	5/11	35 años
	4	760	BWR	10/78	5/11	33 años

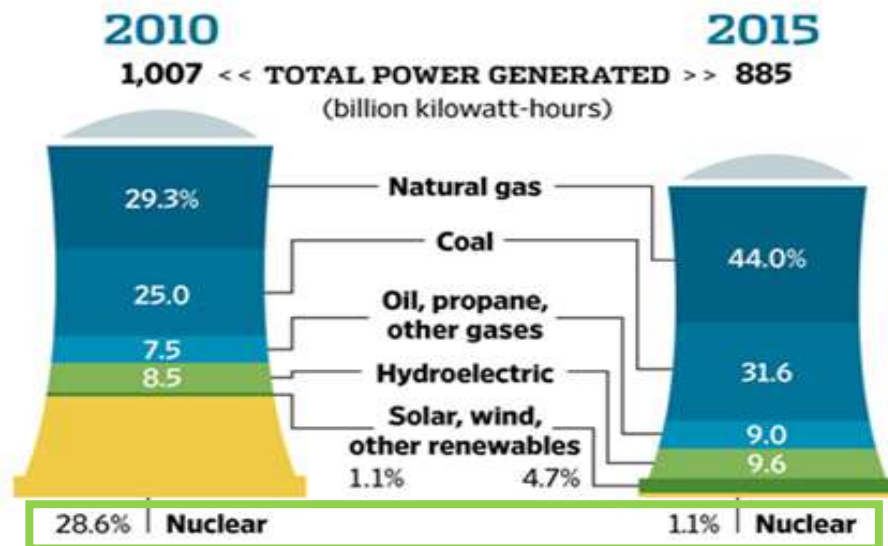
- En Japón 9 reactores han reiniciado operaciones, 2 en 2015, 1 en 2016, 2 en 2017 y 4 en 2018.
- Además, 20 de los 42 reactores operables en Japón, han solicitado las inspecciones de pre-arranque necesarias para entrar en operación

Fukushima Daiichi en 2017



Después de Fukushima

Generación de electricidad por tipo de fuente 2010 vs 2015
Antes y después del accidente de Fukushima



Source: Federation of Electric Power Companies of Japan THE WALL STREET JOURNAL.

De los 53 reactores que se encontraban en operación en 2011, quedan actualmente 42 reactores operables y potencialmente capaces de reiniciar su operación.

9 reactores están ya en operación comercial en 2018

Percepción Pública Sobre Energía Nuclear



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

Percepción Pública

Encuesta tras encuesta, las personas dicen que los mayores peligros que enfrentan son, en este orden:

Ataques terroristas, Accidentes aéreos y Accidentes nucleares.

Esto a pesar del hecho de que **en estos tres combinados, han muerto menos personas en el último medio siglo, que en los accidentes de tráfico que puede haber en un año determinado.**





¿Qué tan Segura es la Energía Nuclear?

Fuente	Tasa de mortalidad (fatalidades/PW-hr)	Porcentaje de generación de electricidad
Carbón	170,000	42%
Petróleo	36,000	8%
Gas natural	4,000	20%
Biocombustible/biomasa	24,000	<1%
Solar	440	<1%
Eólica	150	~ 1%
Hidráulica	1400	15%
Nuclear	90	13%

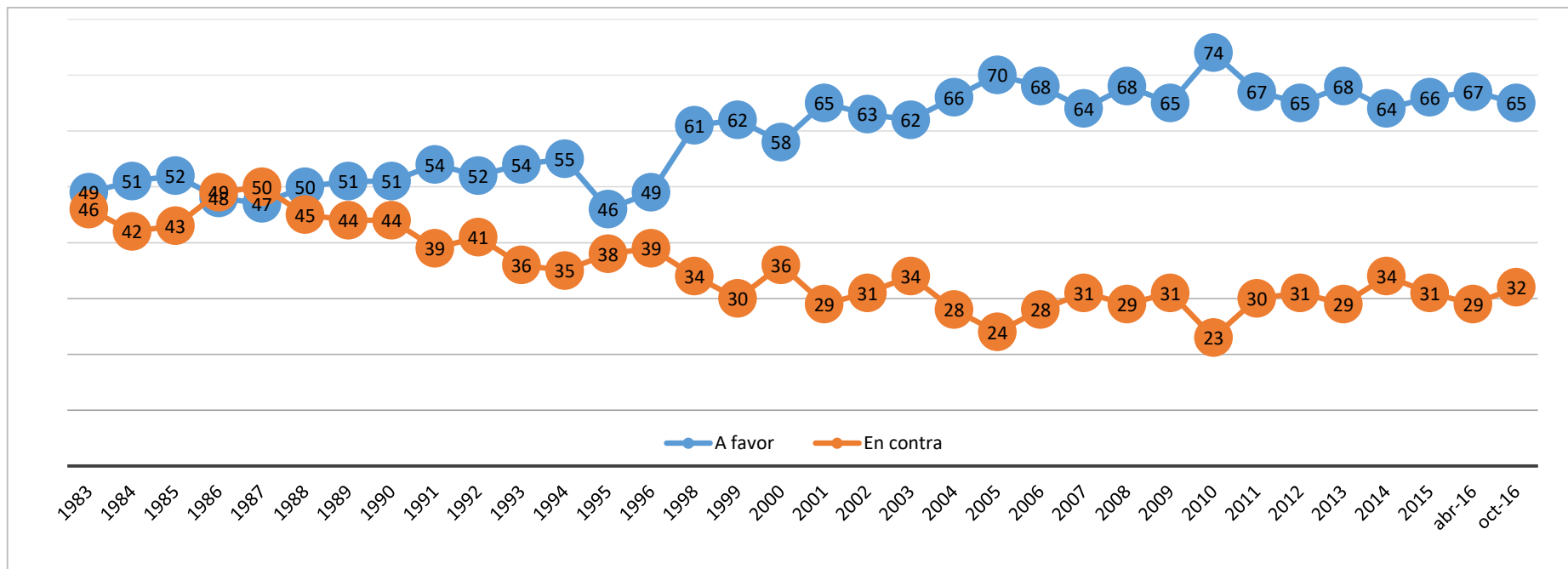
Los números son una combinación de fatalidades directas y estimados epidemiológicos.

Opinión pública en USA sobre el uso de la energía nuclear

Encuesta Anual NEI (Bisconti Inc.) 2016

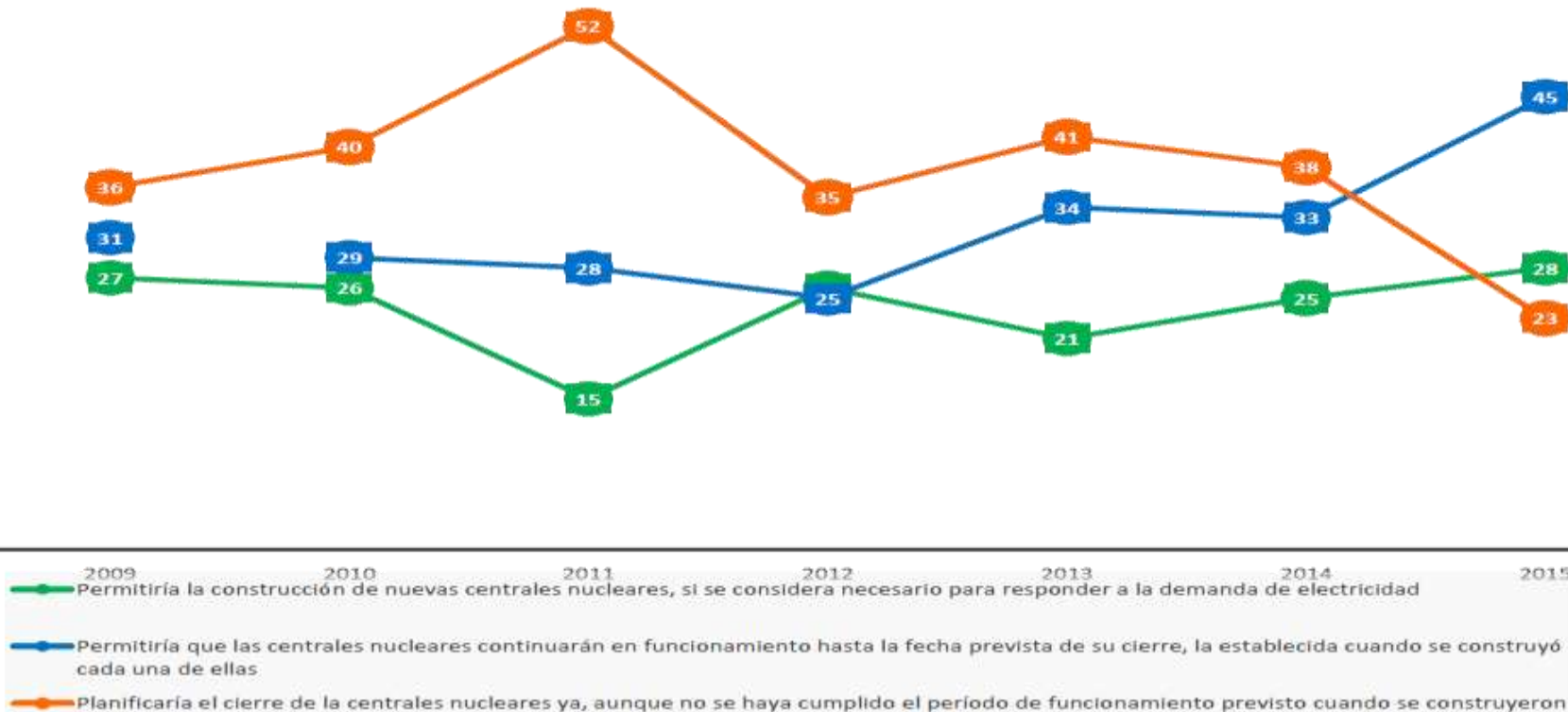


“Esta usted muy a favor, algo a favor, algo en contra o muy en contra del uso de energía nuclear para generar electricidad en los Estados Unidos?”

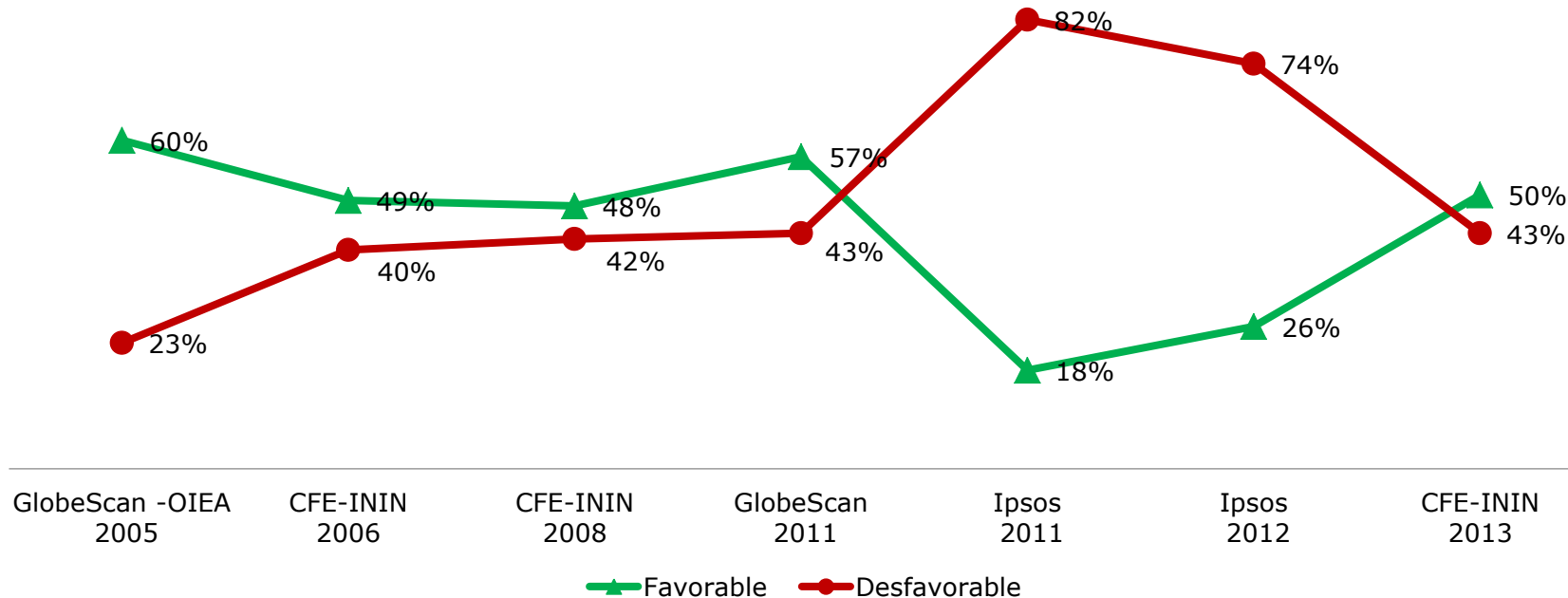


Elaborada con datos de: "NEI Fall 2016 National Public Opinion Tracking Survey Memo". Bisconti Research Inc. Octubre 2016

Opinión pública sobre el uso de la energía nuclear como una de las formas de generar electricidad en España



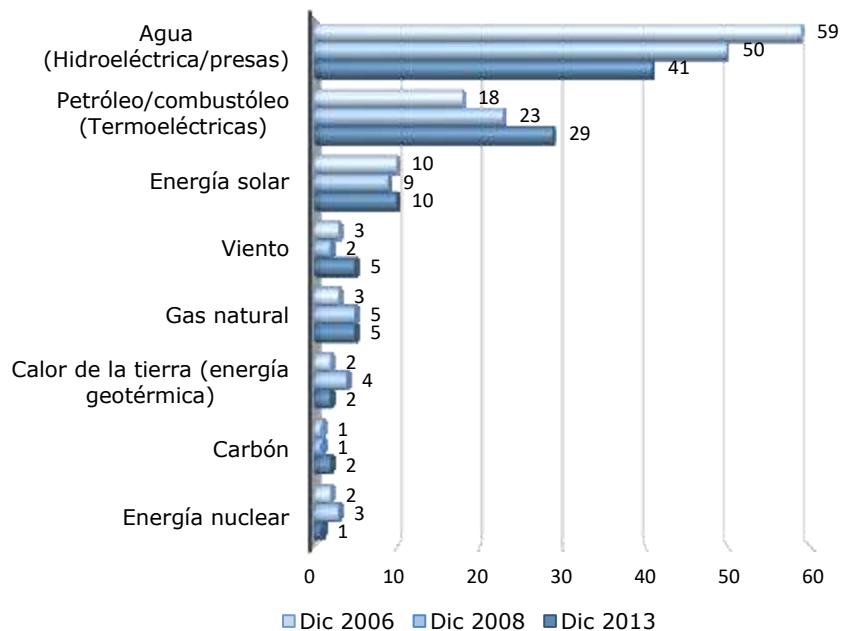
Evolución del apoyo al uso de reactores para generar electricidad en México



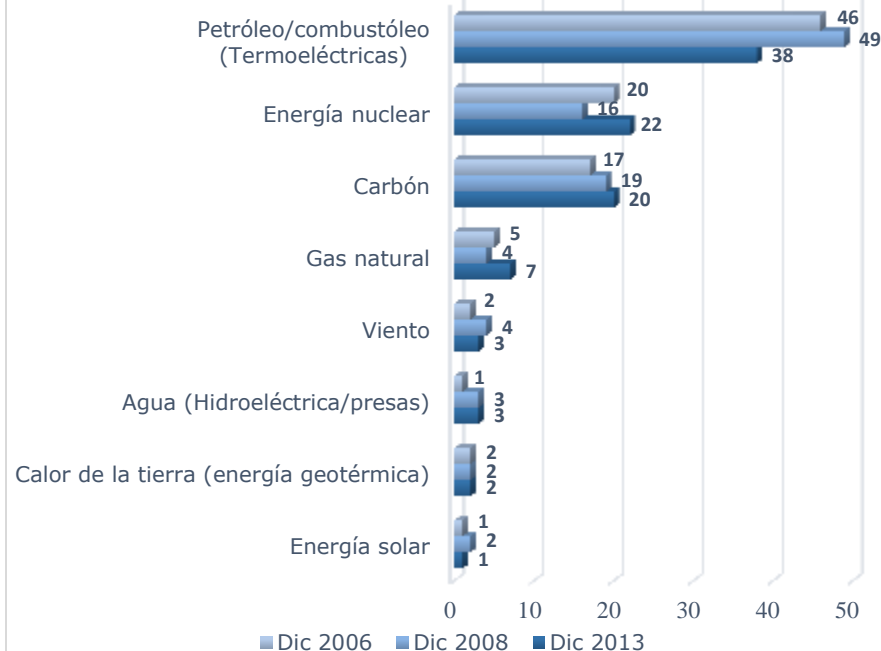
Percepción pública sobre la energía nuclear como alternativa para disminuir emisiones de CO₂ en México



Cuál cree usted que es la principal fuente de energía eléctrica en nuestro país?



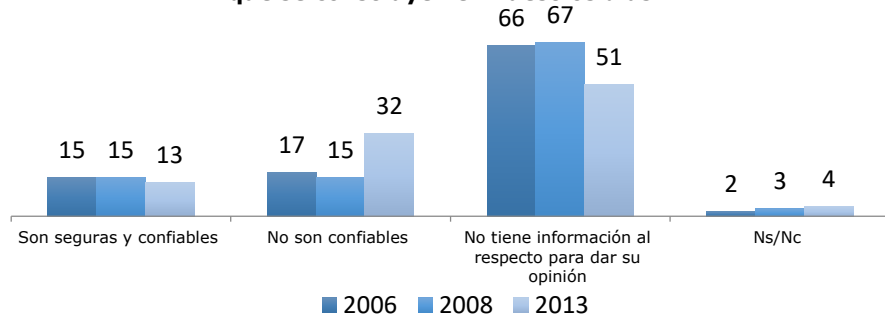
Y de las mismas fuentes de energía eléctrica, ¿cuál cree usted que es la que genera más contaminación?



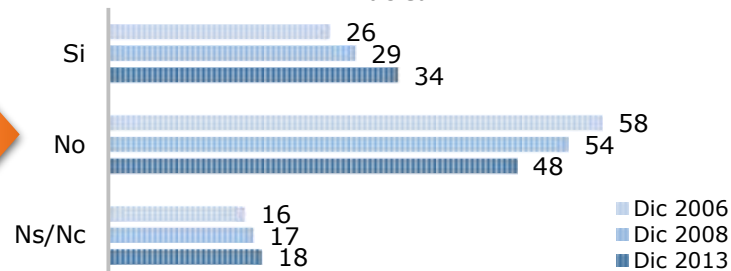
Grado de conocimiento sobre la existencia de plantas nucleares en México



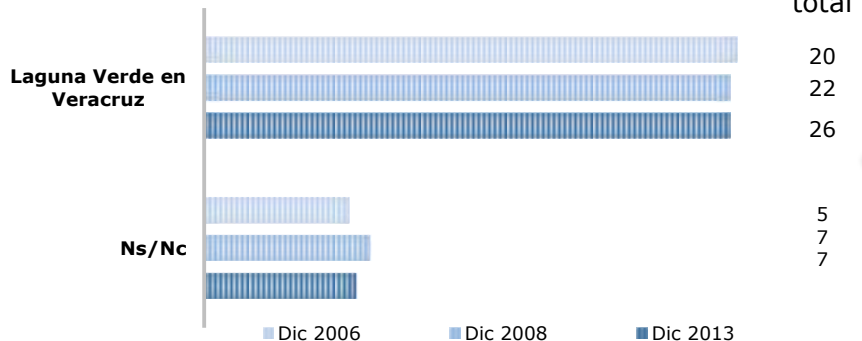
¿Qué tan confiables cree usted que son las plantas nucleares que se construyen en nuestros días?



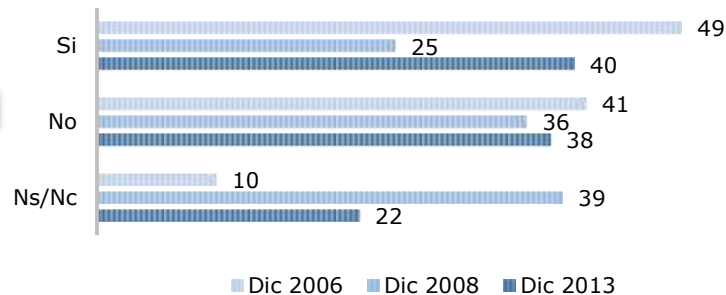
¿Sabe usted si México cuenta con plantas de energía nuclear?



¿Cuáles Son?



Y dígame de las plantas de energía nuclear que existen en México, ¿son seguras o no?



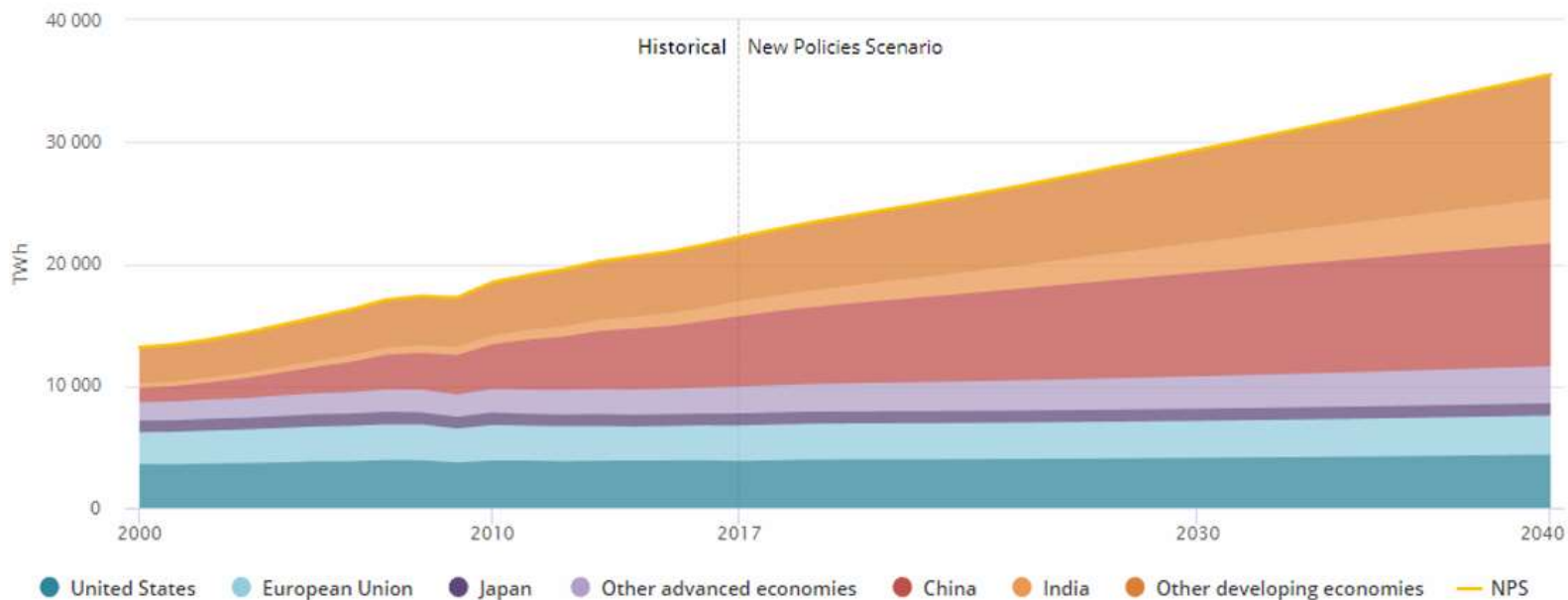


Retos para la Industria Nuclear

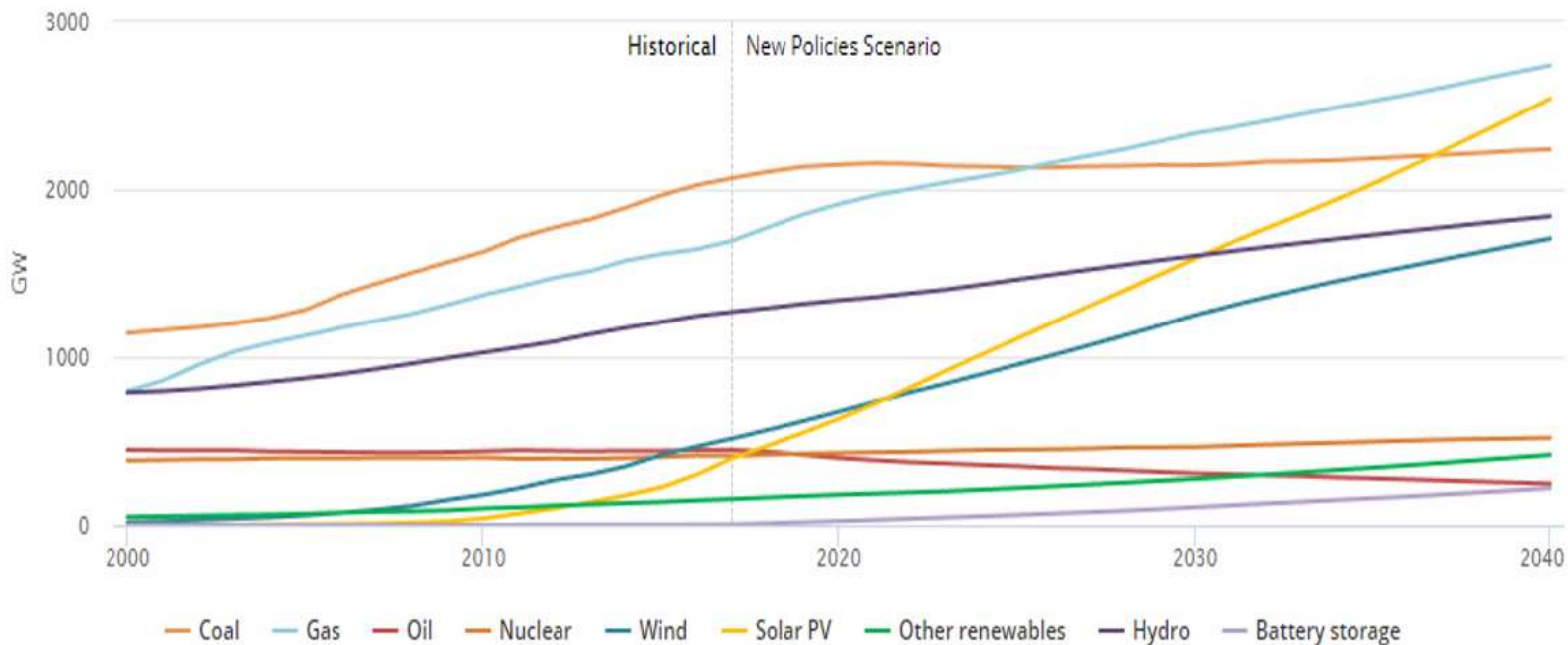
"I have not failed. I've just found 10,000 ways that won't work"

Thomas A. Edison

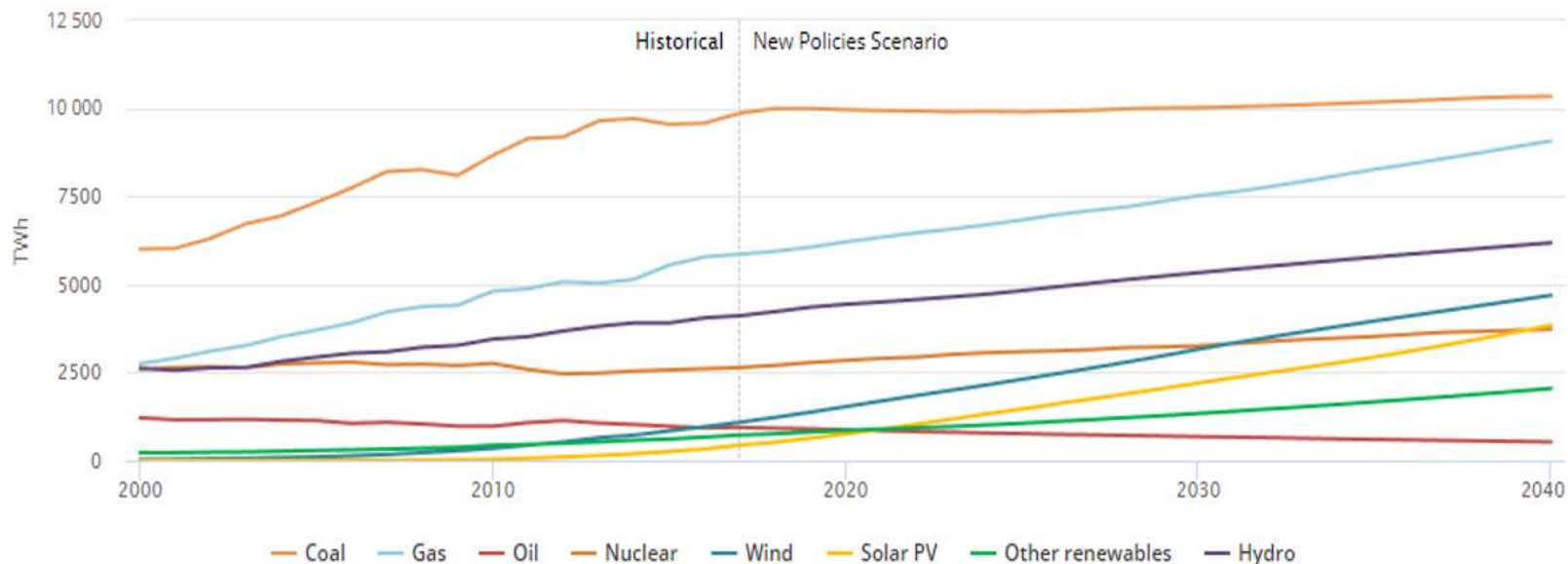
Demanda de Electricidad por región (Escenario de planeación WEO 2018)



Capacidad instalada por tipo de tecnología (Escenario de planeación WEO 2018)



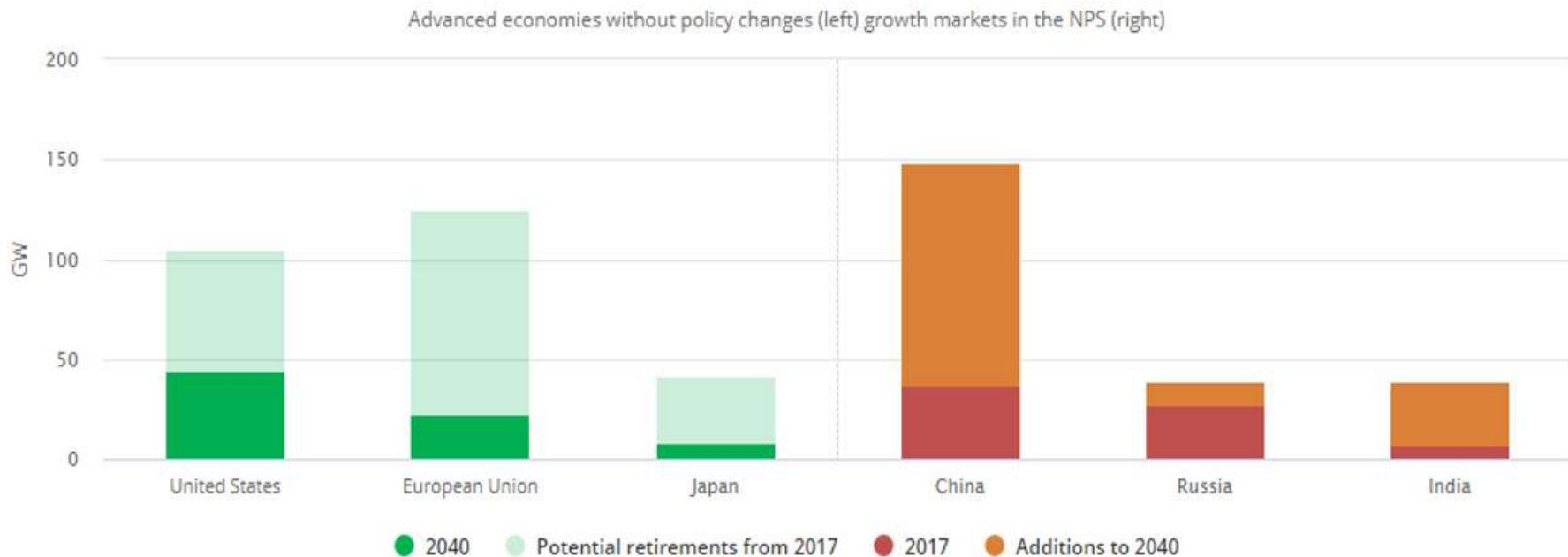
Generación de Electricidad por tipo de tecnología (Escenario de planeación WEO 2018)



En el escenario “New Policies Scenario”, la generación nuclear se incrementa en 1121 TWh (43%) entre 2016 y 2040, lo que requiere un incremento en la capacidad de cerca de 100 GW, o el 25%.

Energía Nuclear

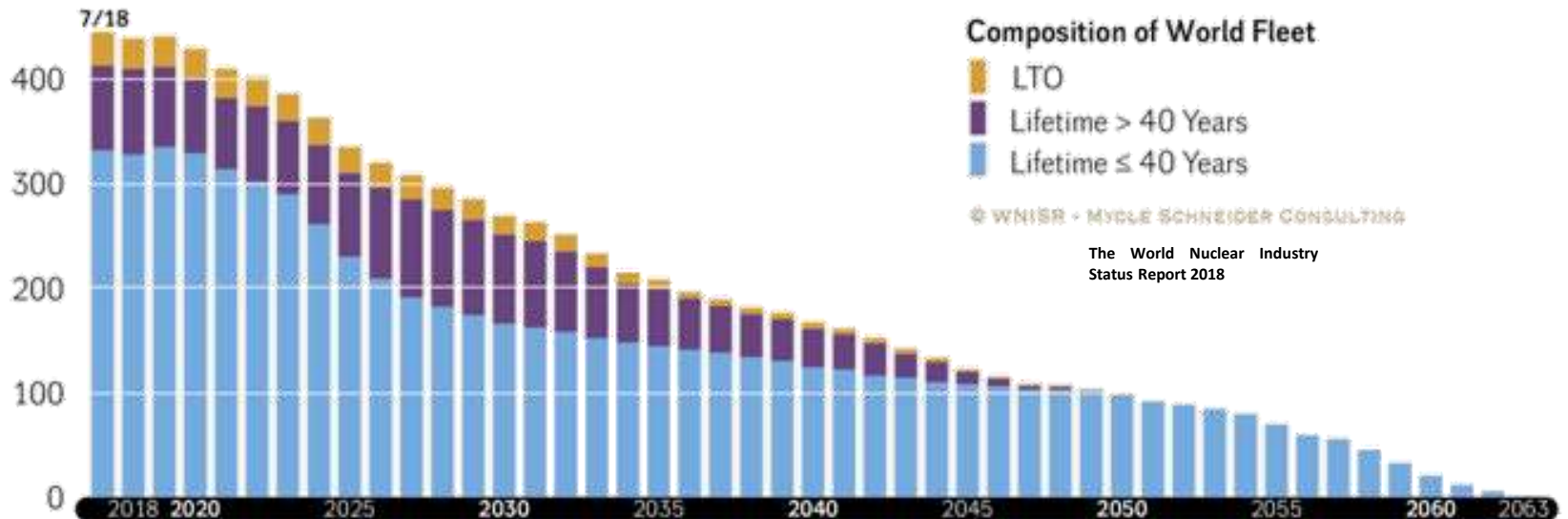
(Escenario de planeación WEO 2018)



Proyección de retiros al 2063

Número de Reactores en Operación en el Mundo

Total de unidades de jul-2018 a 2063



En la siguiente década, hasta 2030 se deberán conectar a la red, adicionalmente, 190 reactores nuevos (168.5 GW), para mantener el status quo, aproximadamente 3.5 veces la tasa alcanzada en la última década (55 unidades entre 2008 y mediados de 2018).



Periodos de Crecimiento de la Energía Nuclear

El primer período “crecimiento rápido” entre 1954 y 1974

- Se tuvo una velocidad promedio de crecimiento de cerca de 7 reactores por año hasta 1965, llegando a 37 reactores por año en 1970 y hasta 1973-1974.

EL segundo período de finales de 1980s a la mitad de los 2000s

- Período de muy bajo desarrollo, adiciones en promedio de únicamente 2-3 reactores por año.
- Costo de capital alto para los reactores y un muy bajo precio del petróleo y del gas resultaron en una mayor desaceleración
- Dos grandes accidentes nucleares Three Mile Island (USA, 1979) y Chernobyl (Ucrania, 1986).

EL tercer período del la mitad de los 2000s hasta el inicio del 2011

- Una vez más se registró un crecimiento acelerado llamado “**NUCLEAR RENAISSANCE**”.
- En términos geográficos, el crecimiento no fue en países de la OCDE, sino que principalmente se registro en economías emergentes (principalmente China).
- Consideraciones ambientales, económicas y políticas, así como un rápido incremento en la demanda debido al crecimiento de la población fueron los principales contribuyentes a este crecimiento.
- Accidente de Fukushima (2011)

En la primera mitad de la década de 1980, 218 reactores fueron construidos a un promedio de uno cada 17 días. Éstos incluyeron 47 en Estados Unidos, 42 en Francia y 18 en Japón



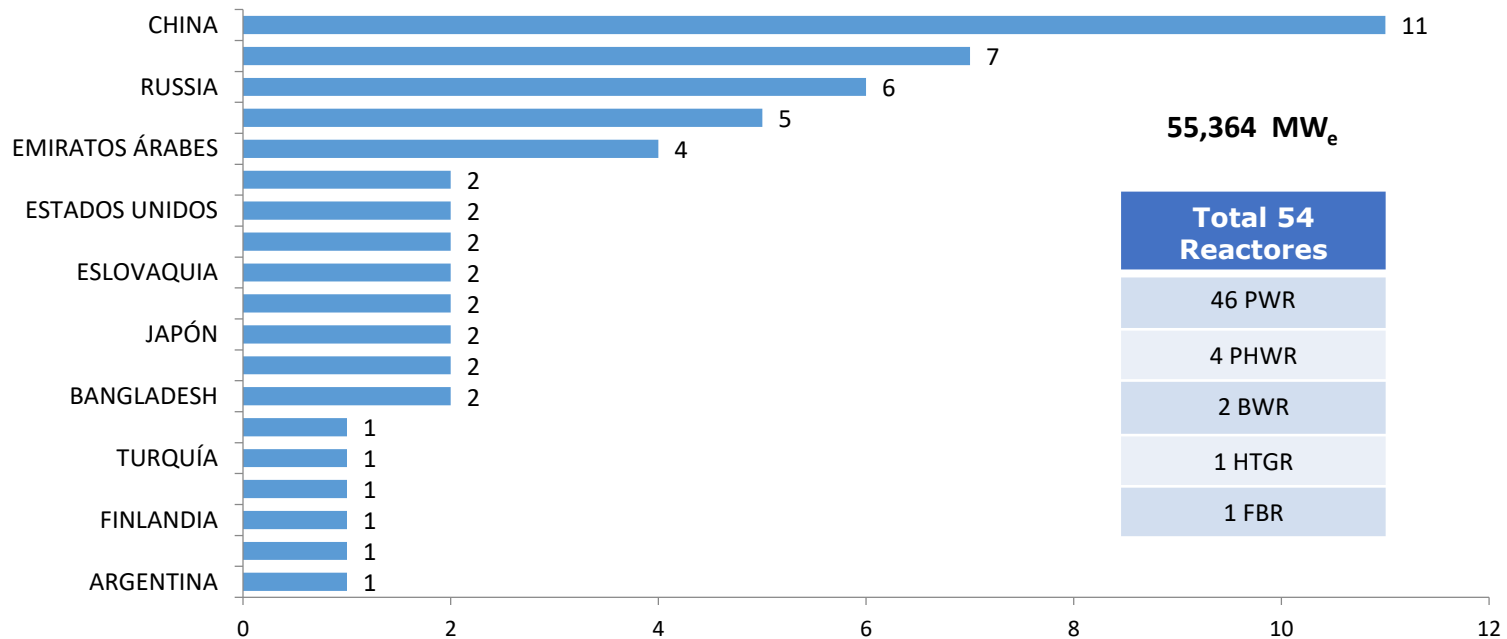
Principales Retos para la Industria Nuclear

1. Construcción de nuevas centrales nucleares
2. Extensión de licencia de operación de centrales activas
3. Costos de Generación
4. Requerimientos de Materiales de Construcción
5. Desmantelamiento de centrales nucleares
6. Central Nuclear Laguna Verde
7. Percepción Pública

En los últimos años en Estados Unidos y Europa la construcción de nuevas centrales no ha cumplido con los tiempos y costos originalmente estimados.

Reactores en Construcción

Del 2016 al 2019 se inició la construcción de 13 reactores



Ucrania, país donde ocurrió el accidente de “Chernobyl”, y Bielorrusia, país muy cercano, están construyendo 2 reactores nucleares cada uno.

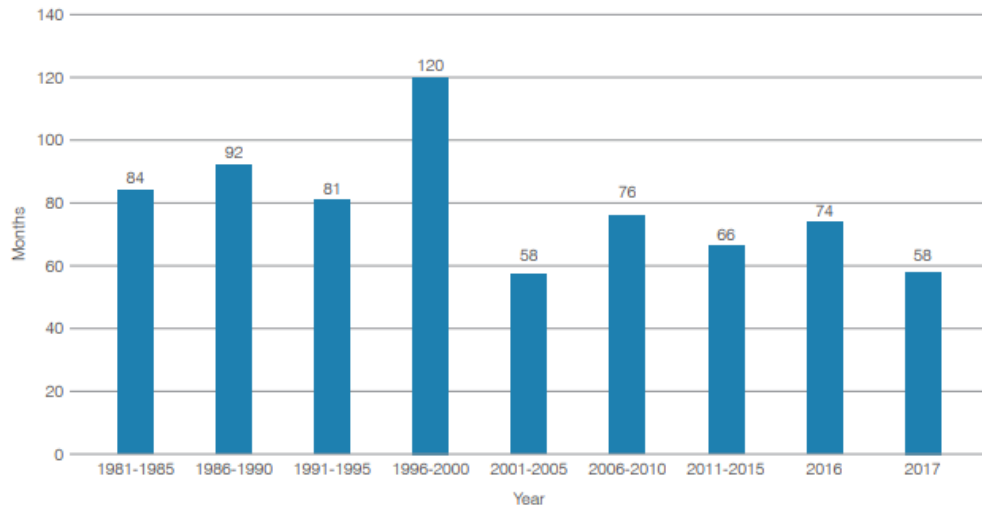
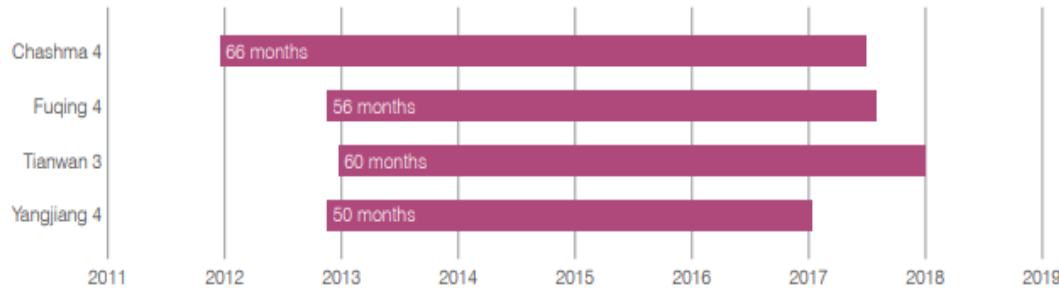
En el 2018 iniciaron su construcción 5 reactores, uno en Rusia, uno en Turquía, uno en Bangladesh, uno en Corea y uno en el Reino Unido. el último inició su construcción el 15 de abril de 2019 en Rusia



Países que “Inician” Programas Nucleares

País	Plan Actual
UAE	4 x 1400 MWe APR1400 - 2018
Bielorusia	2 x 1200 MWe VVER - 2018
Turquía	8 x 1200 MWe VVER - 2025
Bangladesh	2 x 1000 MWe VVER 2018 + interés en SMR
Polonia	4 X 1500 MWe LWRs - 2024
Vietnam	8 x 1000 MWe PWRs - 2025
Malasia	2 x 1000 MWe LWRs + interés en SMR
Arabia Saudita	Large LWRs + interés en SMR
Jordán	2 x 1000 - 1100 MWe PWR + interés en SMR
Indonesia	2 x 1000 LWRs, + interés en SMRs
Nigeria	No decidido

Tiempo promedio de construcción de Reactores



4 de las unidades completadas en 2017, 3 en China y 1 en Paquistán, registraron un promedio de construcción de tan sólo 4.9 años

Actualizaciones a la Capacidad de Generación Nuclear en el Mundo



Aumento de Potencia

- **Suiza, España, Finlandia, Bélgica y Suecia han incrementado la potencia** de algunos o todos sus reactores en operación
- En los **Estados Unidos** la Comisión Reguladora Nuclear (NRC), ha aprobado **más de 140 “aumentos de potencia”**
- **México incrementó en un 20% la potencia de sus 2 reactores BWR** en el 2014

Extensión de Licencia de Operación

- En los **Estados Unidos** **más de 85 reactores han obtenido la renovación de su licencia de operación por 20 años extras** a los 40 años de diseño
- El gobierno **Ruso está extendiendo las vidas de operación para la mayoría de sus reactores en 15 años y hasta 30 años** en algunos casos
- En el caso de México, la **Central Laguna Verde solicitó, en el año 2015, una extensión de su licencia de operación a partir del año 2020**

Nuevos Reactores

- En el periodo **1996 a 2016 se retiraron 75 reactores, en tanto que 85 entraron en operación.**
- Algunos estudios estiman que **al menos 60 de los reactores que operan hoy en el mundo cerrarán para 2030.**
- El escenario base planteado en el “Nuclear Fuel Report 2015” de la “World Nuclear Association” (WNA), estima que **para el 2035 cerrarán 132 reactores, pero 280 entrarán en línea.**

El primer Reactor Nuclear inició operación comercial en la década de 1950, al día de hoy se tienen más de 16,970 años-reactor de experiencia.

Además, 56 países operan un total de 284 reactores de investigación y 220 barcos y submarinos nucleares.

Reactores en Estados Unidos con licencias de operación renovadas



License Renewals Granted for Operating Nuclear Power Reactors



Licensed to Operate (98)

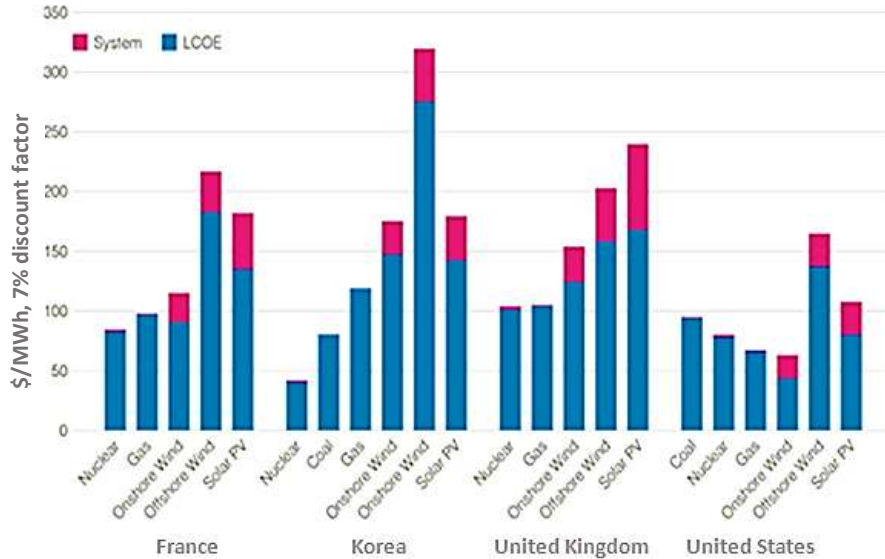
▲ Original License (11) ▲ License Renewal Granted (87)

Note: The NRC has issued a total of 91 license renewals; four of these units have permanently shut down. Data are as of September 2018. For the most recent information, go to the Dataset Index Web page at <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/datasets/>.

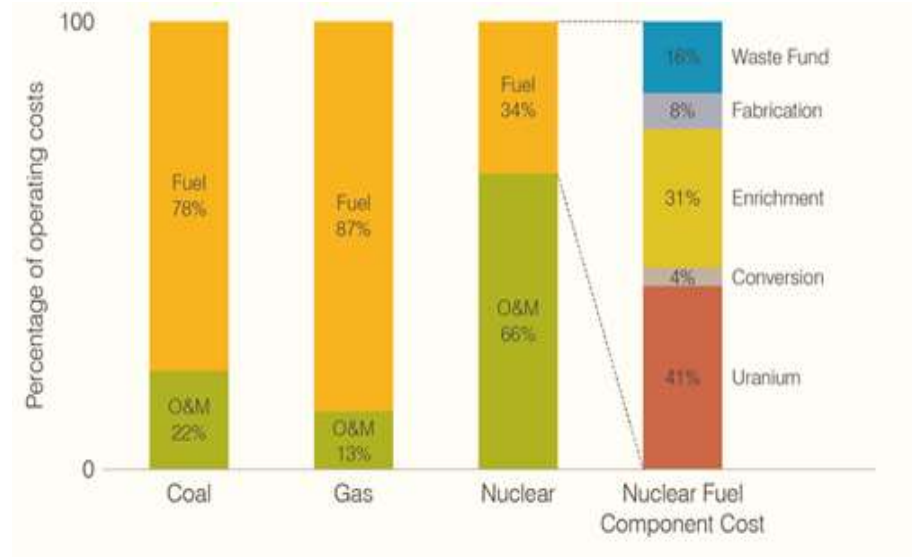


Fuente: NRC

Costos por Tecnología de Generación

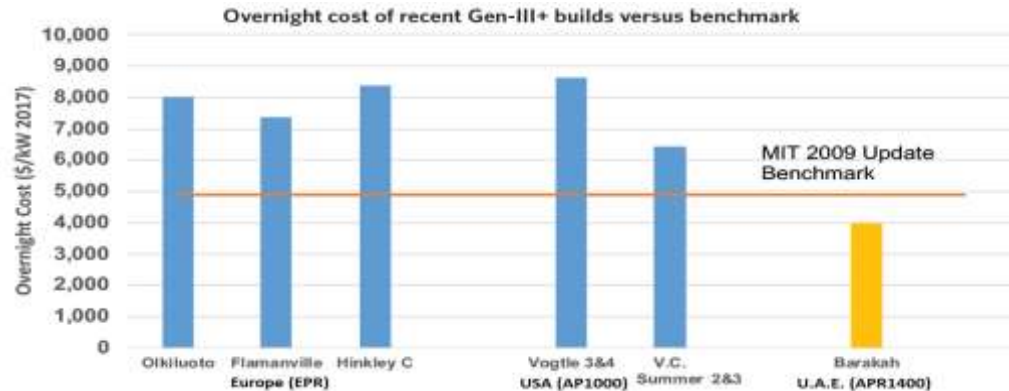


Fuente: Projected costs of generating electricity 2015 Edition, OECD-NEA.

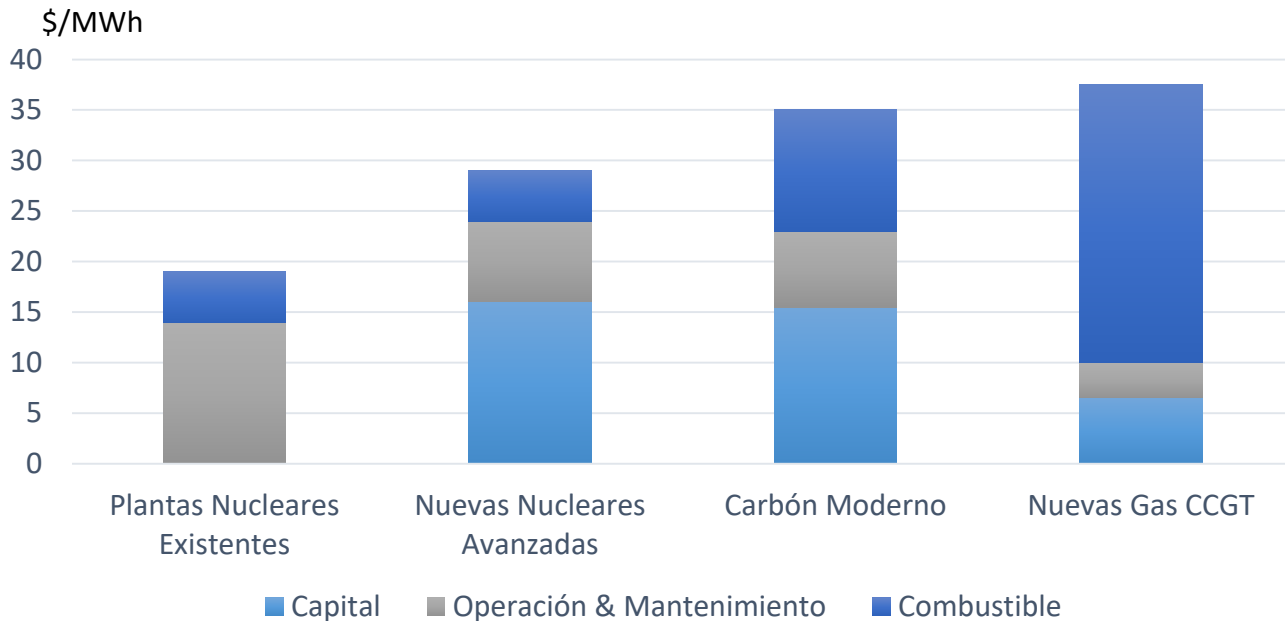


Source: Nuclear Energy Institute

“Overnight Cost” de diferentes tecnologías de reactores



El Reto para los Reactores Avanzados Enfriados por Agua es Alcanzar Bajos Costos de Inversión



La Nuclear tiene una economía estable, pero altos costos iniciales

El ejemplo muestra el resultado de un proveedor involucrado en diferentes mercados.

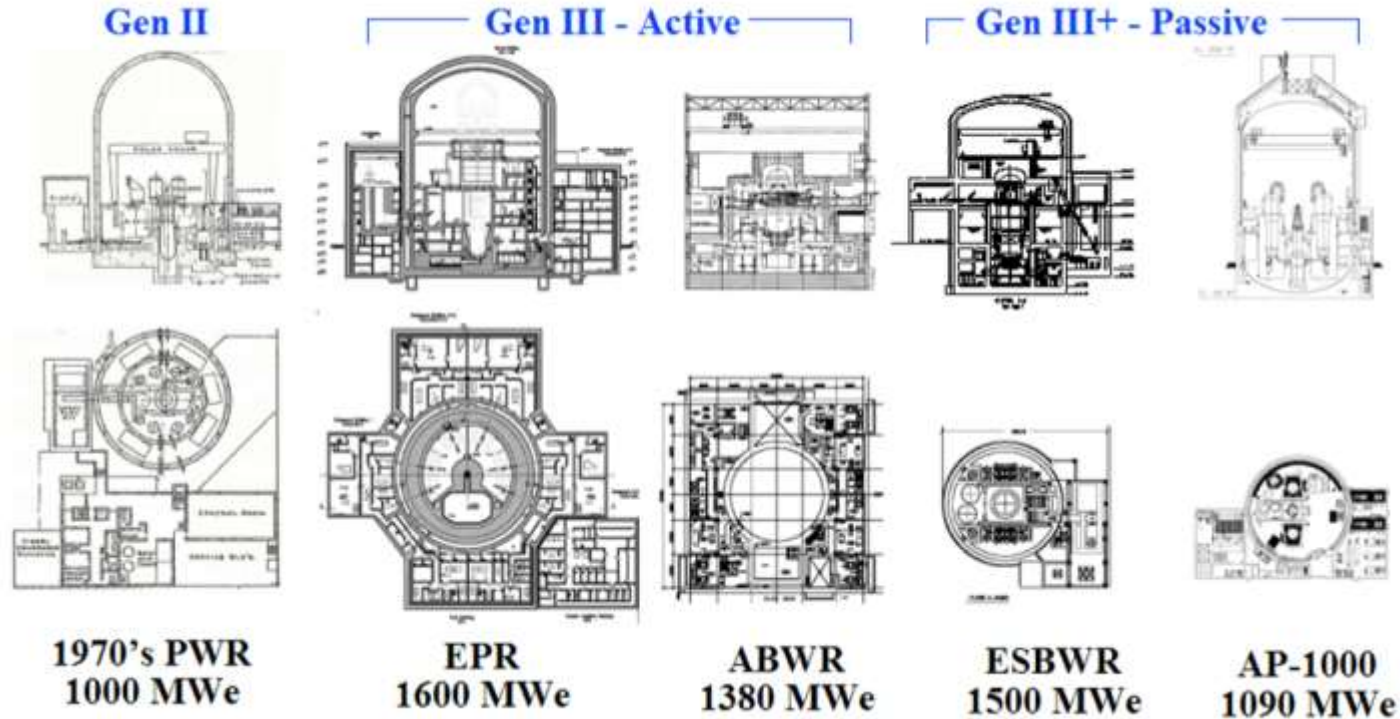
Retos: Costos

- La energía nuclear internaliza todas sus externalidades
- La energía nuclear no es compensada por sus bajas emisiones de GEI.
- Subsidios a renovables pero no para Energía Nuclear.
- Yacimientos de petróleo y gas shale, mantiene atractivas estas fuentes.
- Regulación excesiva vuelve costosa a la industria nuclear.

Alternativas de Soluciones:

- ✓ Uso de tecnologías con sistemas pasivos.
- ✓ Implementación de estrategias de construcción efectivas.
- ✓ Modularización en construcción de centrales y componentes.

Comparación a escala de diferentes tecnologías de reactores nucleares



Requerimientos de Concreto y Acero por tipo de fuente

Tipo de Central	Concreto (m ³)/MW	Acero (MT)/MW
Nuclear (90%) 1970's	90	40
Eólica (6.5 m/s)	870	460
Carbón	160	98
Ciclo Combinado	27	3.3

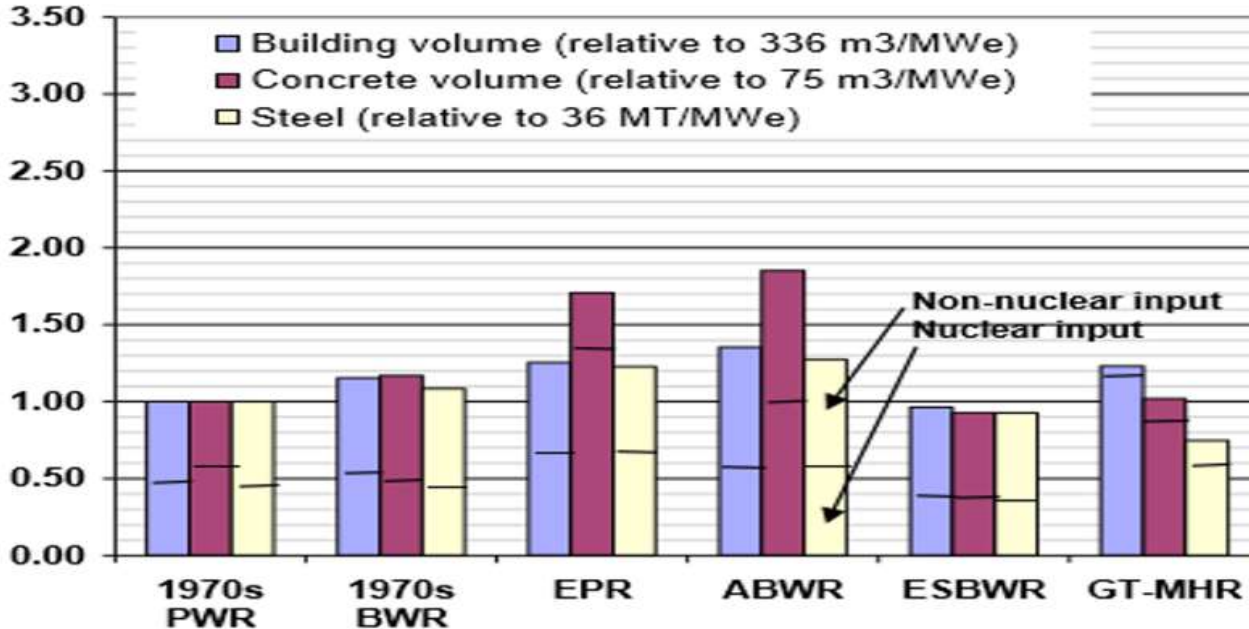
Fuente: Per F. Peterson, Haihua Zhao, and Robert Petroski. Metal And Concrete Inputs For Several Nuclear Power Plants. University of California, Berkeley. Report UCBTH-05-001. 2005



Fuente: The unpublished notebooks of J. M. Korhonen. Graphic of the Week: The hidden "fuels" of renewable energy.2013

Las centrales nucleoelectricas requieren relativamente pocas cantidades de acero y concreto en comparación con otras tecnologías de generación fósiles y no fósiles

Requerimientos de Concreto y Acero por tipo de Reactor

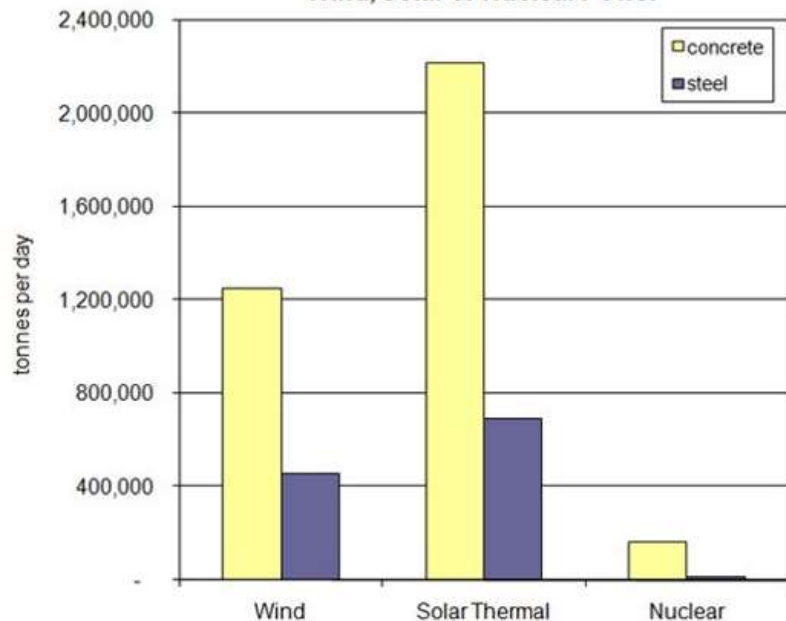


- Las plantas de generación III, como el **EPR y ABWR**, usan aproximadamente 25% más acero y 70% más concreto, que los reactores construidos en los años 70.
- En contraste, los reactores de generación III+ (reactores de seguridad pasiva), como el ESBWR y el AP-1000, tienen reducciones sustanciales de insumos de acero y concreto, el **ESBWR utilizaría 73% del acero y el 50% del concreto necesario para construir un reactor ABWR**.

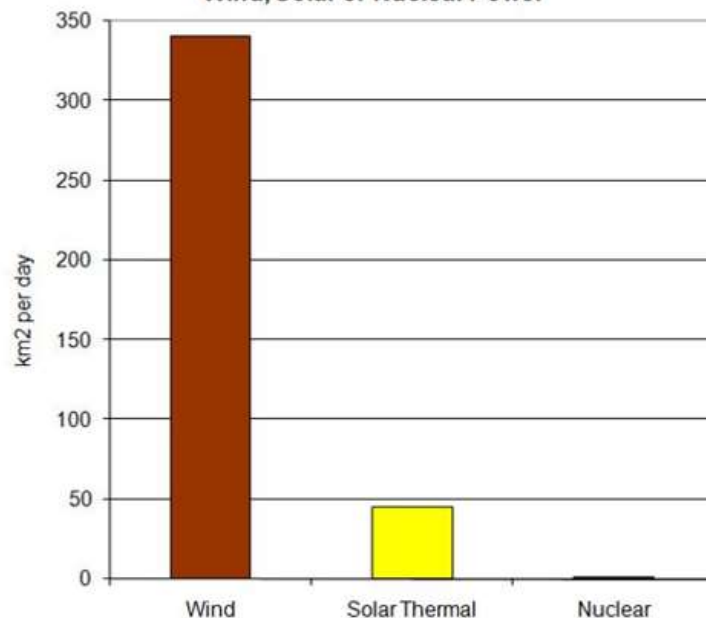
Proyección de requerimientos de acero y concreto para generar la electricidad programada al 2050



Steel and Concrete required per day, to 2050, to meet the world's demand for electricity with Wind, Solar or Nuclear Power



Land Area required per day, to 2050, to meet the world's demand for electricity with Wind, Solar or Nuclear Power



El mundo en 2050 exigirá 700 EJ de energía térmica, o aproximadamente 300 EJ de energía eléctrica. Esto requerirá 10.000 GWe (10 TWe) de capacidad de generación, lo que supone un aumento de 5 veces en la capacidad de generación de electricidad, o 680 MWe, cada día, durante los próximos 30 años (2020 a 2050).



Desmantelamiento

- Se han retirado de operación 115 reactores comerciales, 48 experimentales o de demostración, 250 de investigación.
- Alrededor de 17 han sido totalmente desmantelados (a finales de 2016).
- La **mayor parte de la central no es radiactiva** o lo es en niveles bajos.
- La mayor parte del **metal puede ser reciclado**.
- Existen técnicas y equipo **probado y disponible** para un desmantelamiento seguro de instalaciones nucleares.
- **La industria nuclear considera el costo de desmantelamiento** desde su puesta en operación y se incluye en el costo de producción.
- Los costos de **desmantelamiento** son altos, pero son solo una **pequeña fracción del costo total de producción**.

Fuente: World Nuclear Association

Desmantelamiento



- Licencia de cierre permanente.
- Retiro de combustible en el reactor.
- Reporte de actividades de desmantelamiento.
- Licencia de desmantelamiento.

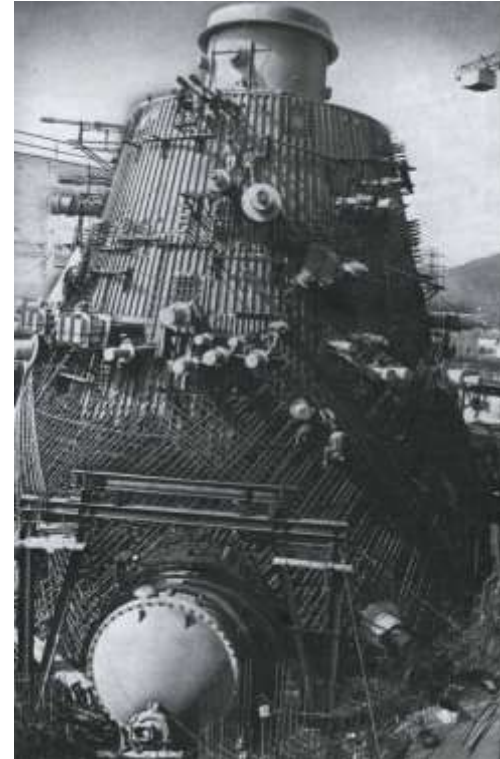
- Retiro de componentes principales (vasija, bombas, válvulas, tuberías, etc)
- Desmantelamiento de edificios y estructuras.

- Reacondicionamiento del sitio.
- Reporte de terminación de licencia.

Central Laguna Verde

Retos

- Renovación de licencia
- Gestión del envejecimiento de las estructuras, sistemas y componentes
- Modernización de Equipos
- Administración del Combustible Nuclear
- El manejo integral de los desechos radiactivos
- Renovación de la Instrumentación
- Desmantelamiento



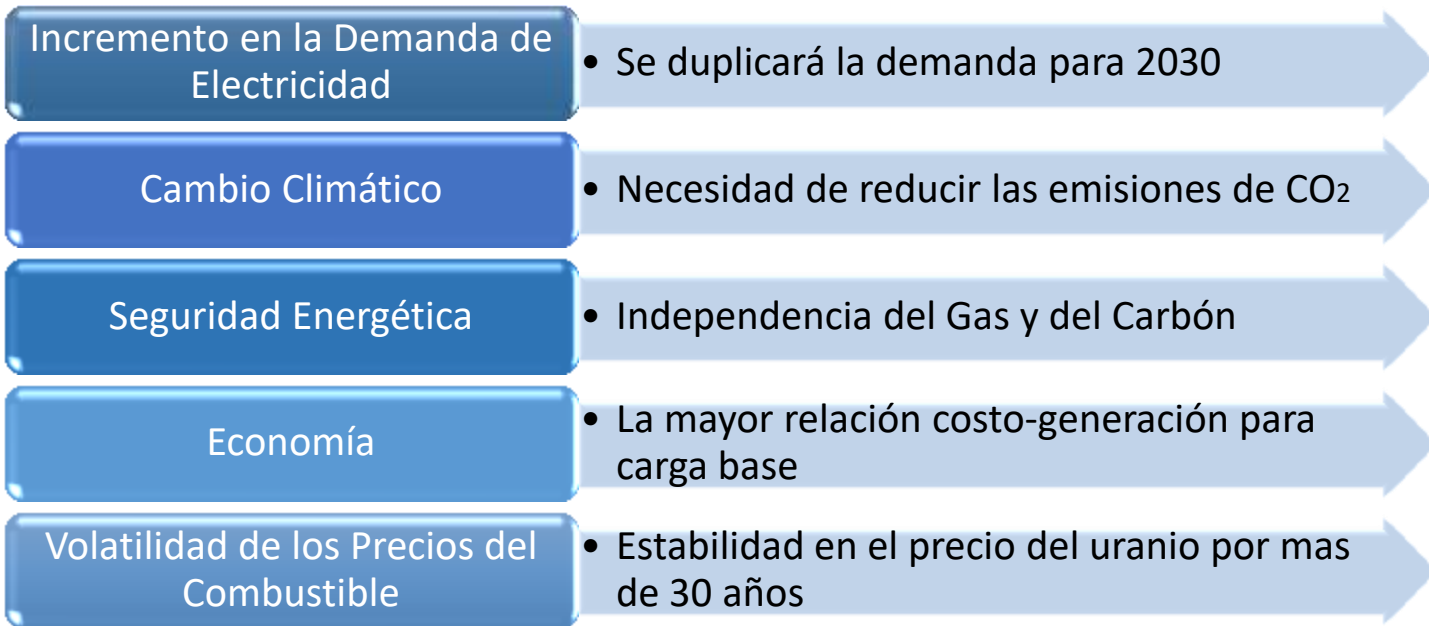
Construcción de contención primaria CLV

Percepción Pública

- Predomina la idea de que la fuente principal de electricidad es la *hidroeléctrica*.
- El concepto arraigado de la *abundancia de los recursos naturales en el país*: sol, viento, y agua, refuerza la preferencia desinformada por las fuentes de energía solar, eólica, geotérmica, que se perciben abundantes, “gratuitas” y “no contaminantes”
- Persiste débil el posicionamiento de la **Energía Nuclear** en la población.
- Predomina la falta de información y persisten, atenuados, los mitos alrededor de los riesgos de utilizar la Energía Nuclear.
- No se conocen los beneficios ambientales de la nucleoelectricidad
- Se desconocen las aplicaciones no energéticas

Persiste la ausencia de asociación de la EN como generadora de electricidad.

Factores a Considerar para el Futuro de la Energía Nuclear en el Mundo



Según la WNA la generación total por medios nucleares se ha seguido incrementando hasta alcanzar una generación anual de aproximadamente 2,562 TWh en 2018



La Energía Nuclear ...

- ...al igual que las energías renovables, es una energía limpia y sustentable, que evita contaminar el aire que respiramos
- ...es una parte importante de la solución a la amenaza del cambio climático, para permitir la descarbonización de los sectores transporte, industria y calor
- ...es un socio complementario a las energías renovables
- ...es capaz de generar 24/7, pero también puede funcionar con flexibilidad si se requiere
- ...aumenta la seguridad de abastecimiento en un mundo incierto
- ...está entre las opciones más competitivas en costo de energía
- ...genera empleos de alta tecnología y apoya la actividad económica en las comunidades cercanas

El compromiso del Mundo de reducir en 2° el calentamiento global al 2050, no será fácil de cumplir si la energía nuclear no juega un papel importante dentro del portafolio de generación eléctrica.

Reflexión



Si la energía nuclear puede o no jugar un papel importante en el futuro para contrarrestar el cambio climático, dependerá mucho de las percepciones sociales

La comunidad nuclear en México, tiene el reto de transmitir adecuadamente, a la sociedad mexicana, las ventajas y desventajas que tiene el uso de la energía nuclear para generar electricidad

Muchas Gracias por su Atención



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





**Colegio de
Ingenieros Civiles
de México, A.C.**



**Academia
de Ingeniería
México**

**WORLD
ENERGY
COUNCIL**

**CAPÍTULO
MÉXICO**



SOCCIEDAD NUCLEAR MEXICANA

“Los retos de las Energías Limpias en el mediano y largo plazo”

Energía Nuclear

Dr. Javier C. Palacios Hernández

Septiembre 9, 2019