



Energía Nuclear y Desalinización

M.C. Vicente Xolocostli Munguía | xvicente@hotmail.com

M.I. Florencia Renteria del Toro | florenciaren@gmail.com

Contacto: remecin.edu@gmail.com

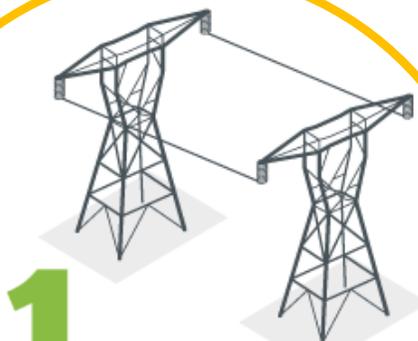
19 de Julio 2022

Ciudad Obregón, Sonora, México

Contenido

01	Energía Nuclear y Nucleoelectricidad
02	Proceso de Desalinización y Técnicas
03	Cogeneración Nuclear
04	Perspectiva: despliegue de tecnología
05	Conclusión

10 PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR



1

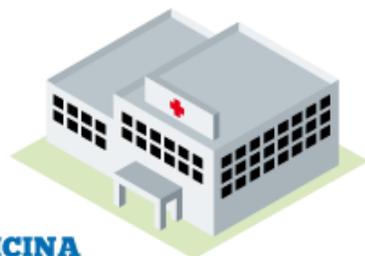
ELECTRICIDAD

En México, más del 5% de la **electricidad** consumida anualmente se produce en las **centrales nucleares**.

2

MEDICINA

Las técnicas de **diagnóstico y tratamiento** de la medicina nuclear son fiables y precisas: radiofármacos, gammagrafía, radioterapia, esterilización...



3

HIDROLOGÍA

Los **isótopos** se utilizan para seguir los movimientos del **ciclo del agua** e investigar las **fuentes subterráneas** y su posible contaminación.



4

AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN

Control de **plagas de insectos**, mejora de las **variedades de cultivo**, conservación de alimentos...



5

MINERÍA

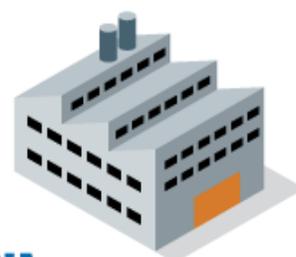
A través de **sondas nucleares** se puede determinar la **composición** de las capas de la corteza terrestre.



6

INDUSTRIA

Los isótopos y radiaciones se usan para el **desarrollo y mejora de los procesos industriales**, el control de calidad y la **automatización**.



7

ARTE

Las técnicas nucleares permiten comprobar la **autenticidad y antigüedad** de las obras de arte, así como llevar a cabo su **restauración**.



8

MEDIO AMBIENTE

Técnicas como el Análisis por Activación Neutrónica permiten la **detección** y el **análisis** de diversos **contaminantes**.



9

DESALINIZACIÓN

Los reactores modulares (**small reactors**) además de generar electricidad: **generan calor para plantas de desalinización de agua de mar**.



10

COSMOLOGÍA

El estudio de la **radiactividad de los meteoritos** permite confirmar la antigüedad del universo.



Reactores en operación en el mundo



440

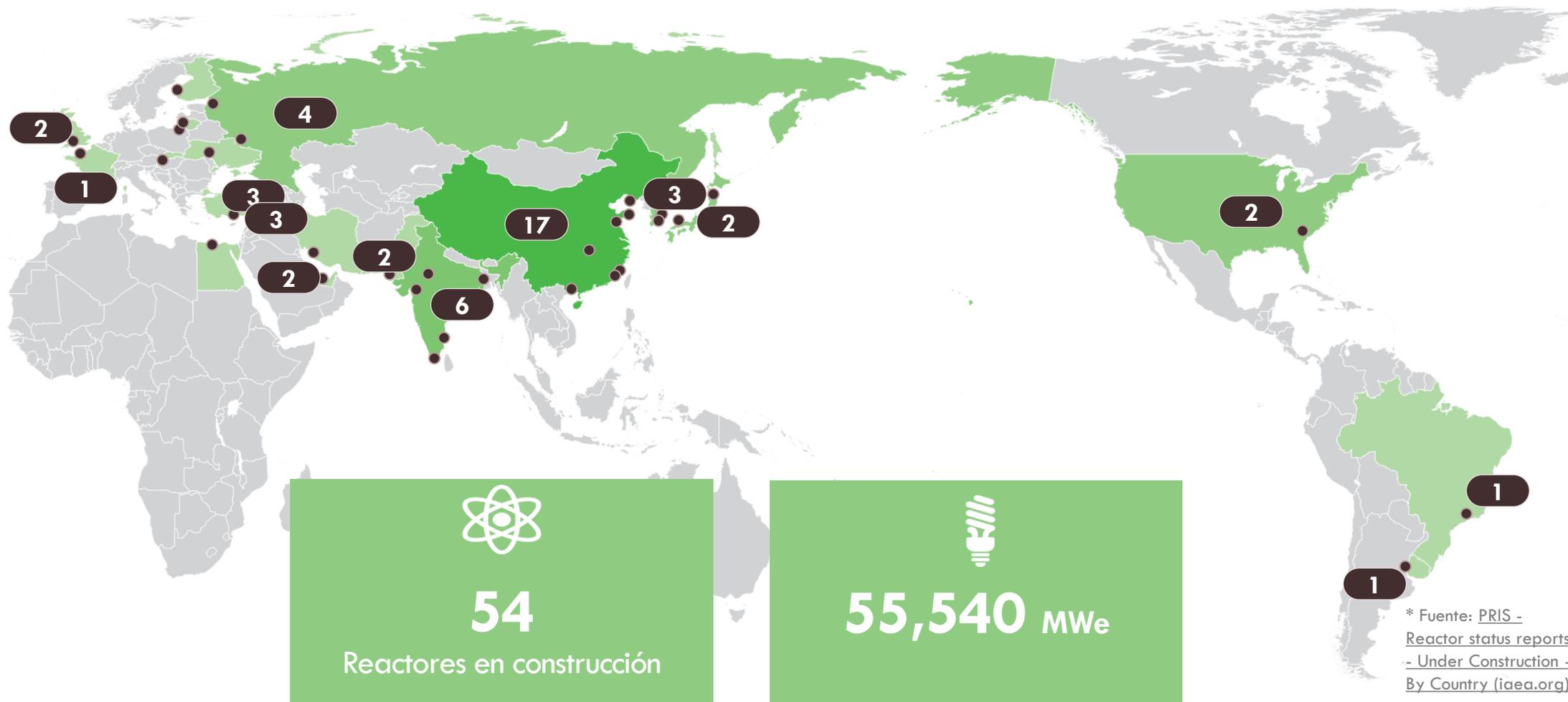
Reactores en operación



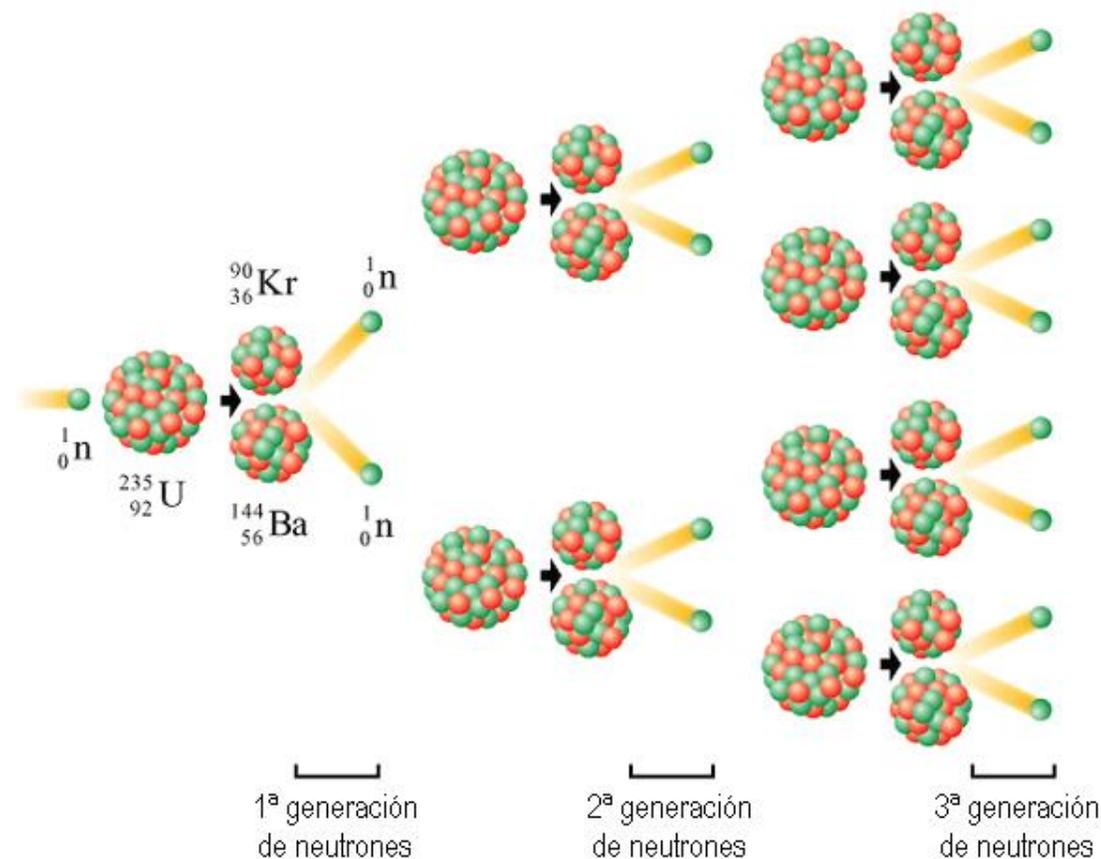
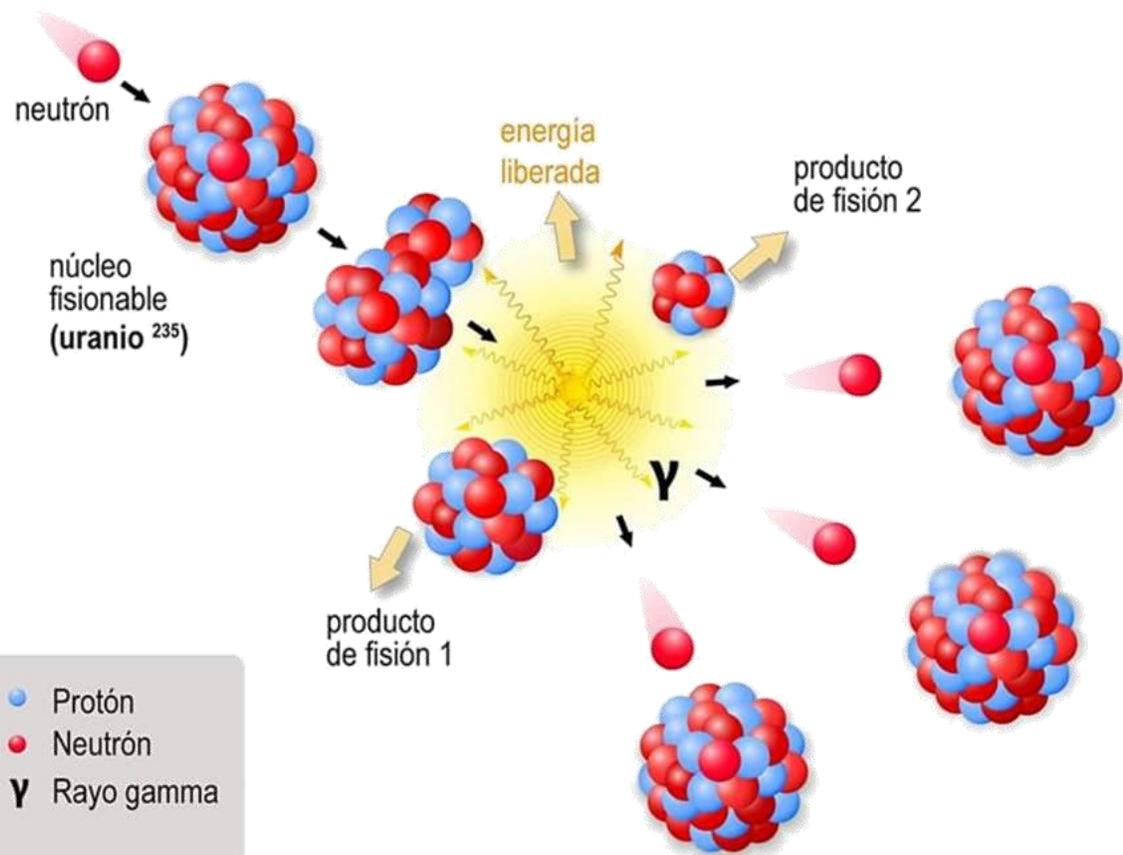
394,298MWe

* Fuente: [PRIS - Reactor status reports](#)
- Operational & Long-Term Shutdown
- By Country
([iaea.org](#))

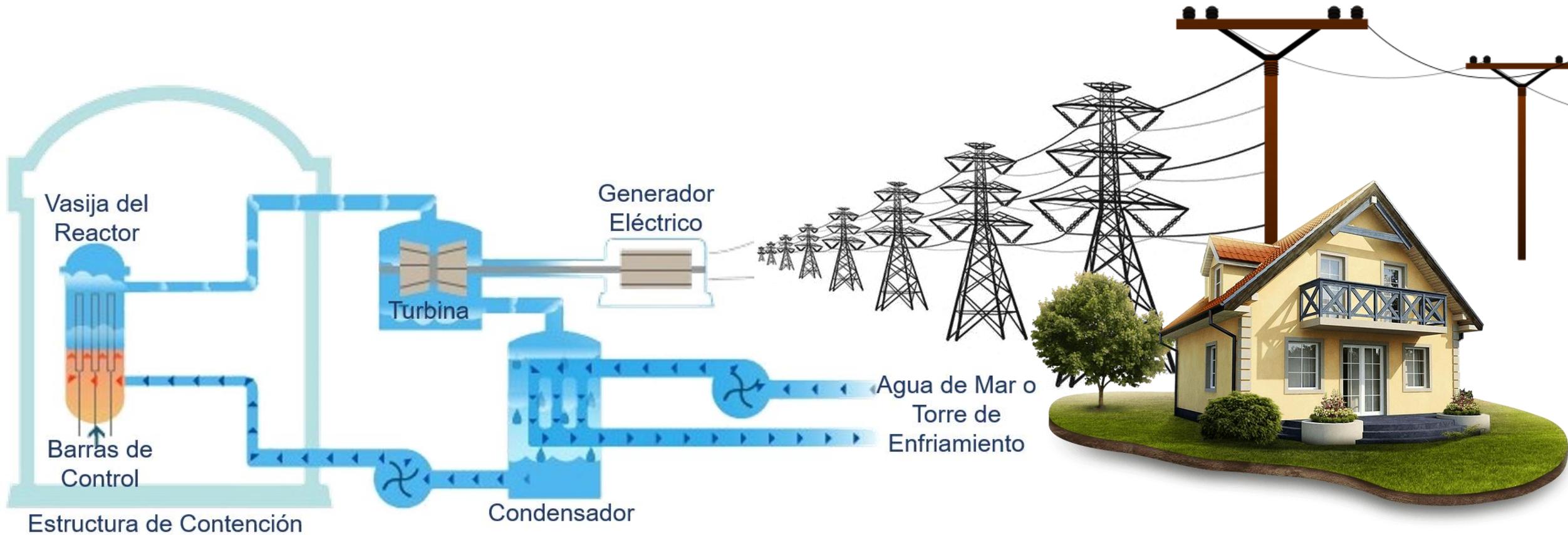
Reactores en construcción en el mundo



Fisión nuclear y reacción en cadena



Funcionamiento de una Central Nuclear



El **funcionamiento** es un proceso parecido al de una central térmica que funciona con carbón, petróleo o gas, salvo que **el calor se genera por la fisión nuclear**.

Central Nuclear Laguna Verde



¿Dónde se ubica la CNLV?

Datos Históricos

- **Dos Unidades, con reactores** tipo BWR-5 de General Electric
- **Unidad 1** inició operación comercial en **1990**
- **Unidad 2** inició operación comercial en **1995**
- **24 de Julio de 2020, 30 años de operación U1**
- **25 de Julio de 2020, U1 renovó su licencia por 30 años más**

Capacidad de diseño y aumentos de potencia

- 1931 MWth, **656 MWe, Original**
- 2027 MWth, **689 MWe, 1999 ambas unidades**
- 2317 MWth, **805 MWe, 2015 ambas unidades**

Datos de la Nucleoelectricidad en México 2021



2 Reactores en operación BWR-5

- ✓ 1,608 MWe
- ✓ ~2 % de la Capacidad Instalada Total

Suministro garantizado y estabilidad del sistema eléctrico



Energía Generada

- ✓ 11,606 GWh
- ✓ ~4% de la Electricidad Generada Total

Más de 30 años de operación con energía limpia de carga base



Factor de Capacidad

- ✓ 82.3 % (El Mayor de Todos)
- ✓ 7,218 horas de las 8,760 del año

La de mayor capacidad de producción a lo largo del año



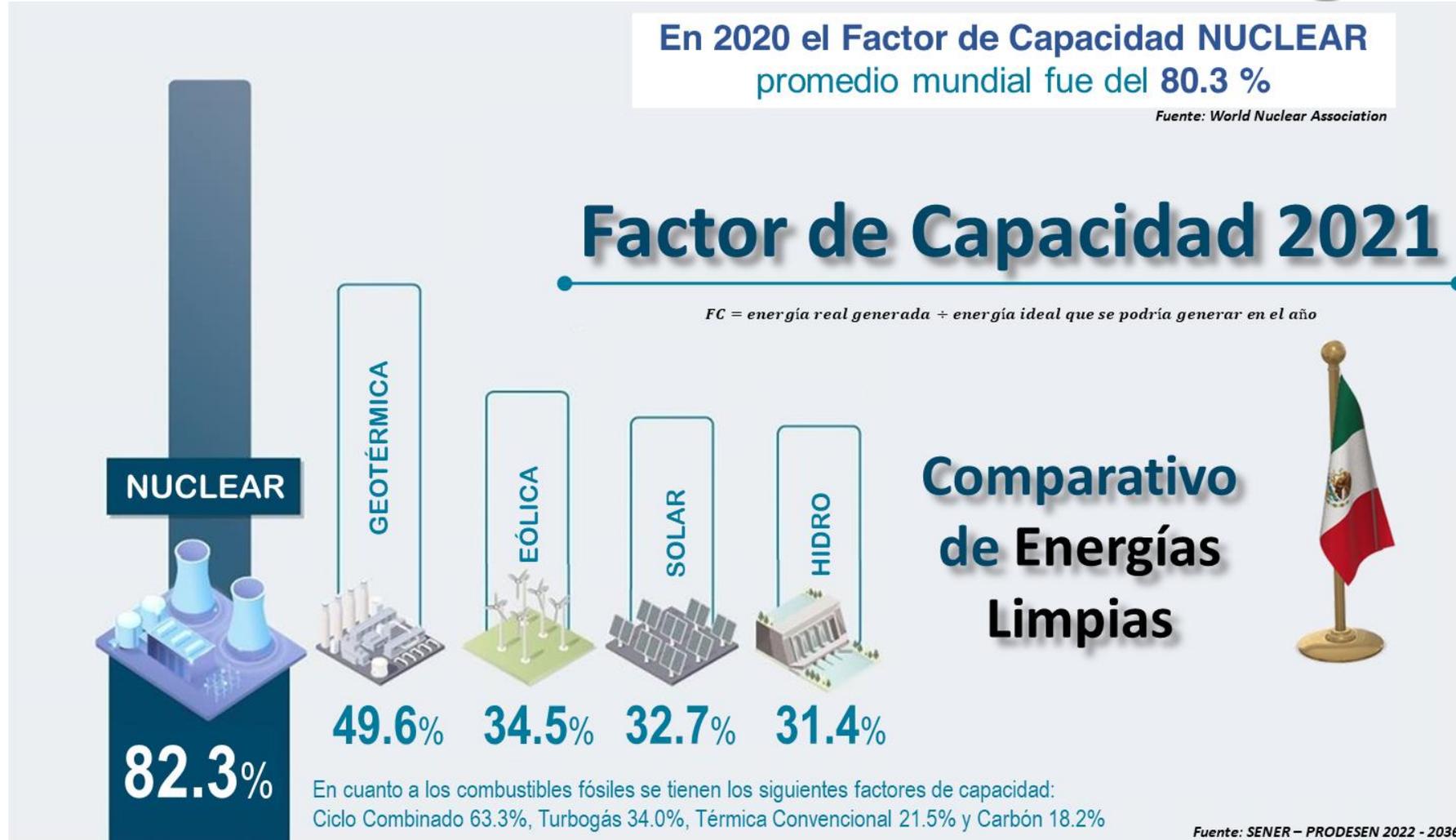
Emisiones de CO₂ evitadas

- ✓ 2.604 Millones de Toneladas

Energía limpia indispensable contra el cambio climático

Fuente: PRODESEN – SENER 2022 - 2036

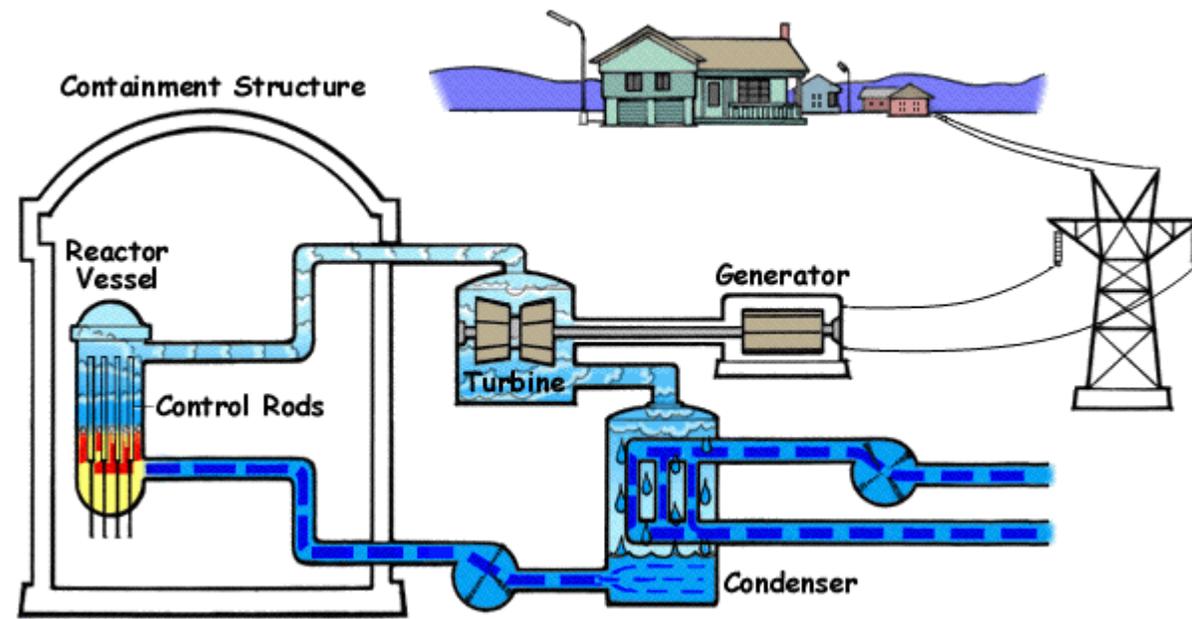
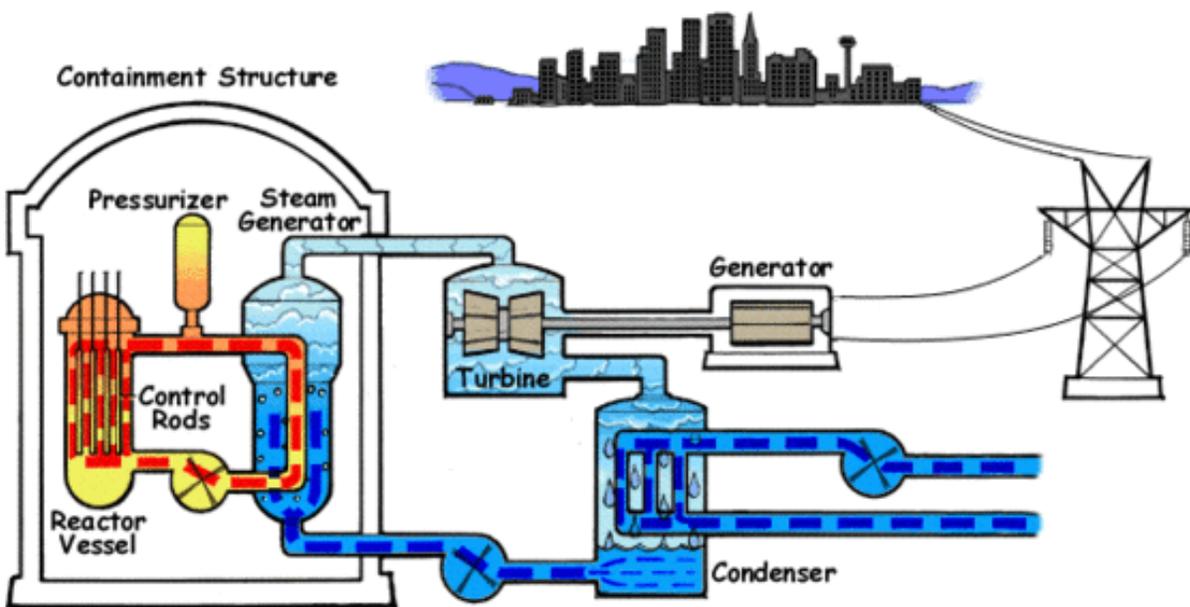
¿Qué tan eficiente es la Central Nuclear de Laguna Verde?



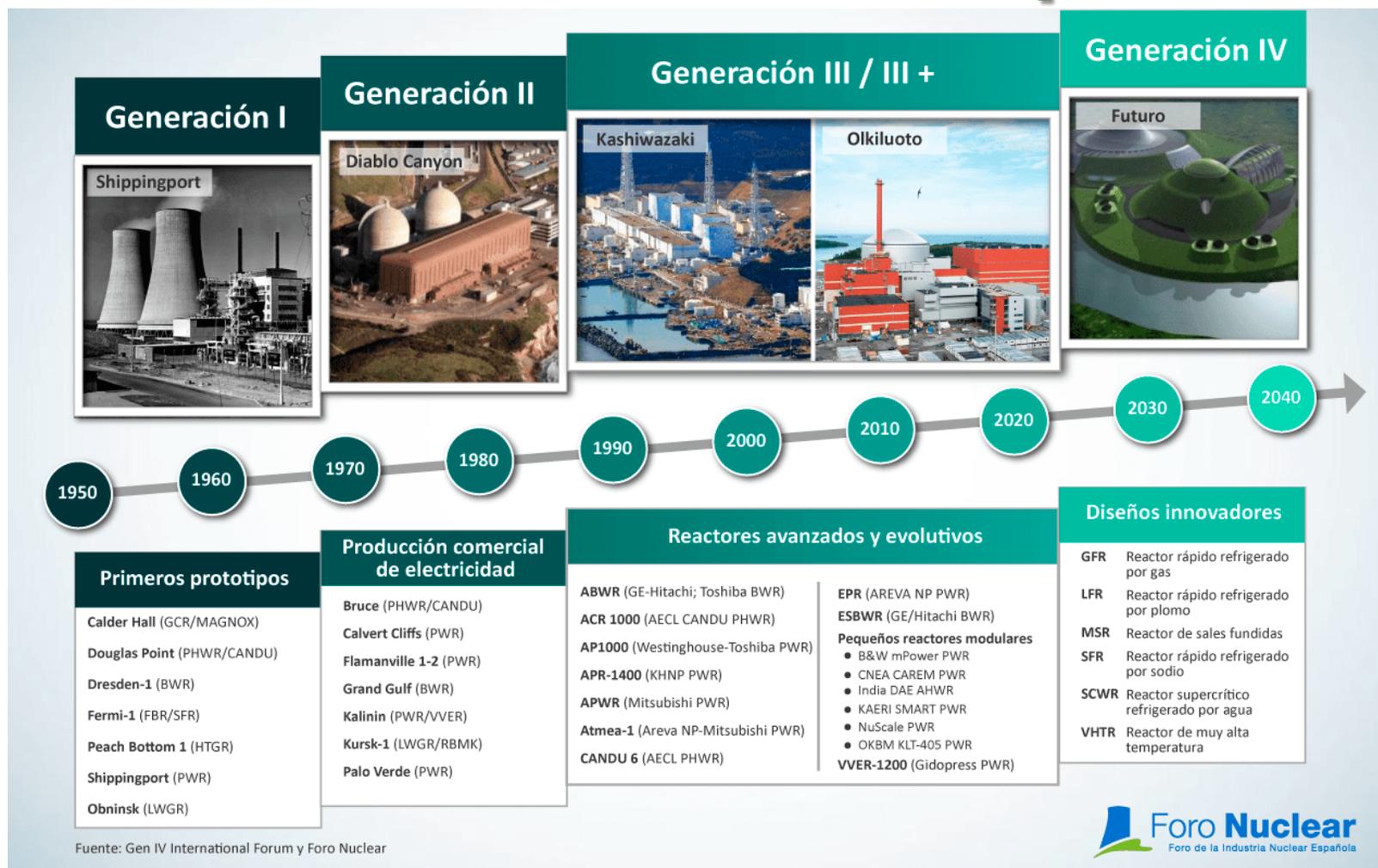
Diferencias entre un PWR y un BWR

PWR

BWR

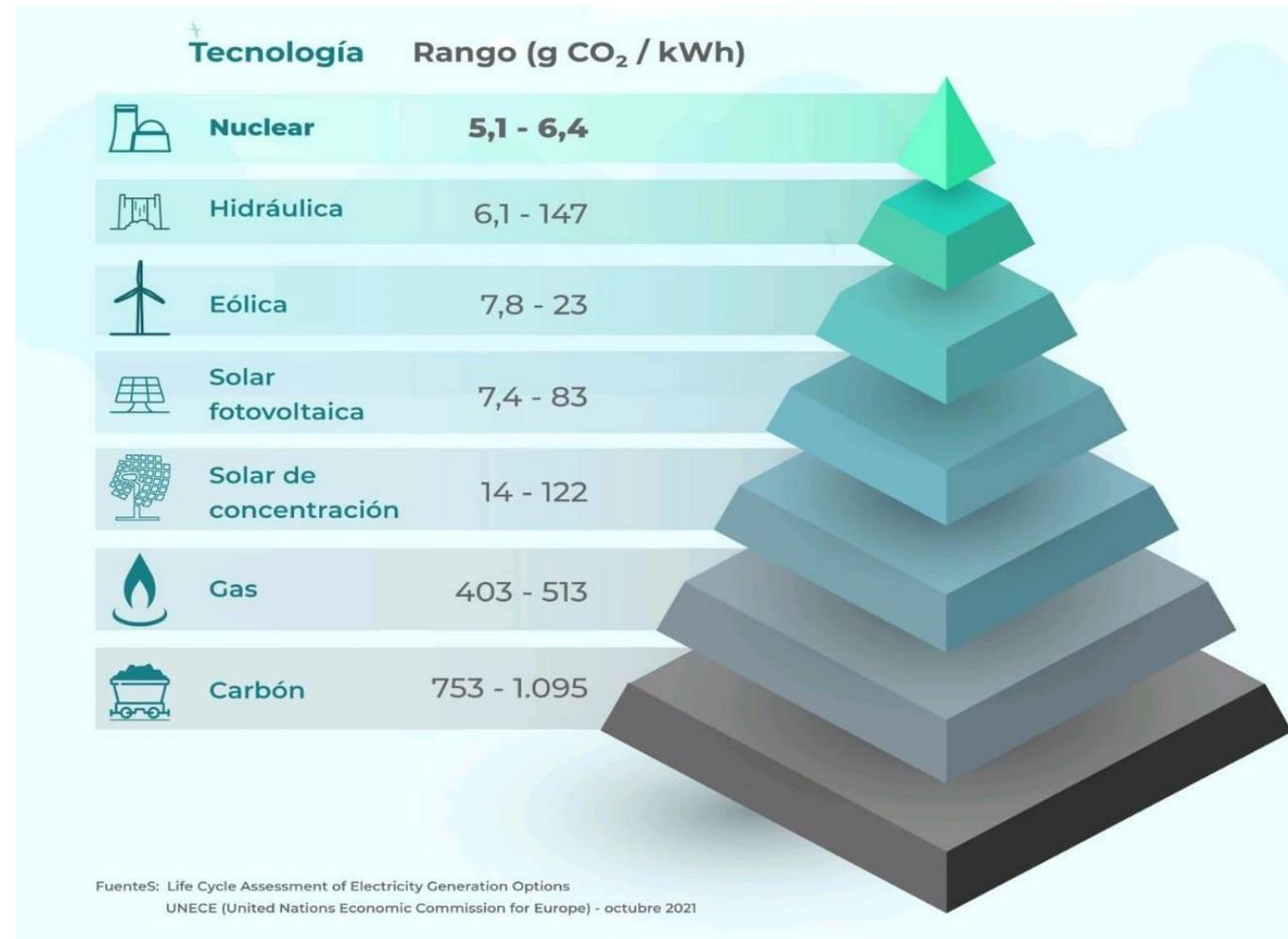


Evolución de los reactores de potencia



Emisiones de CO₂

- Emisiones de CO₂ del ciclo de vida de distintas tecnologías
- La Energía Nuclear es la que menor emite
- Una matriz de energética basada en energía hidráulica y nuclear es menos contaminante



Reactores Modulares Pequeños (SMR) 1/2



LARGE, CONVENTIONAL REACTOR
700+ MW(e)



SMALL MODULAR REACTOR
Up to 300 MW(e)



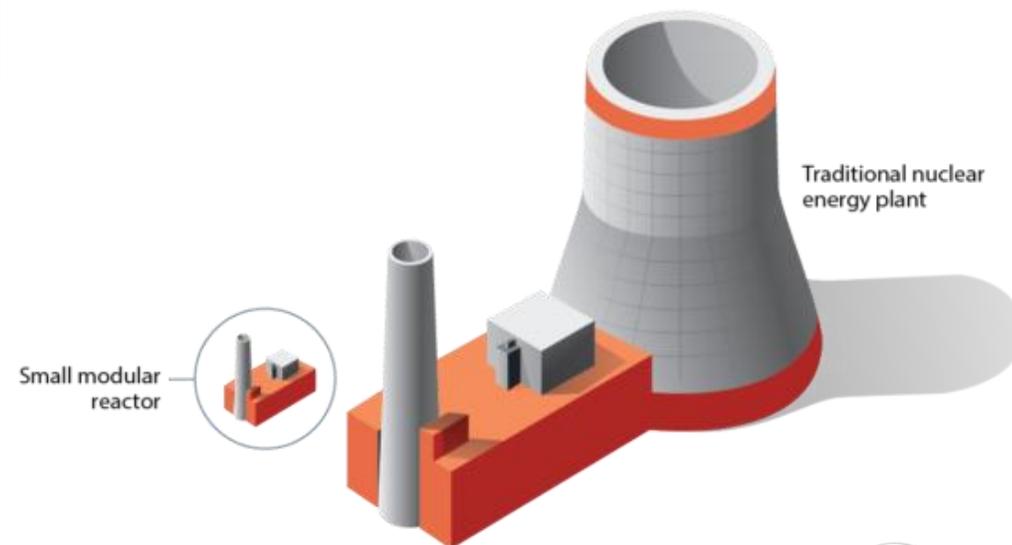
MICROREACTOR
Up to ~10 MW(e)



La diferencia en estos nuevos conceptos es la **modularidad** y el **avance tecnológico**.

Una **opción** para cubrir las necesidades de electricidad en **regiones apartadas** o para países con **redes eléctricas pequeñas**.

Se puede **distribuir la inversión** a lo largo del tiempo, debido a su capacidad modular, **disminuyendo el riesgo económico y financiero**.



Reactores Modulares Pequeños (SMR) 2/2

Ventajas de los SMRs

Economía de producción en serie (reducción de costo)

Diseño modular facilita el despliegue de varias unidades en el sitio

Posible ubicación por debajo del nivel del suelo (protección contra riesgos naturales)

Arquitectura compacta (fabricación modular)

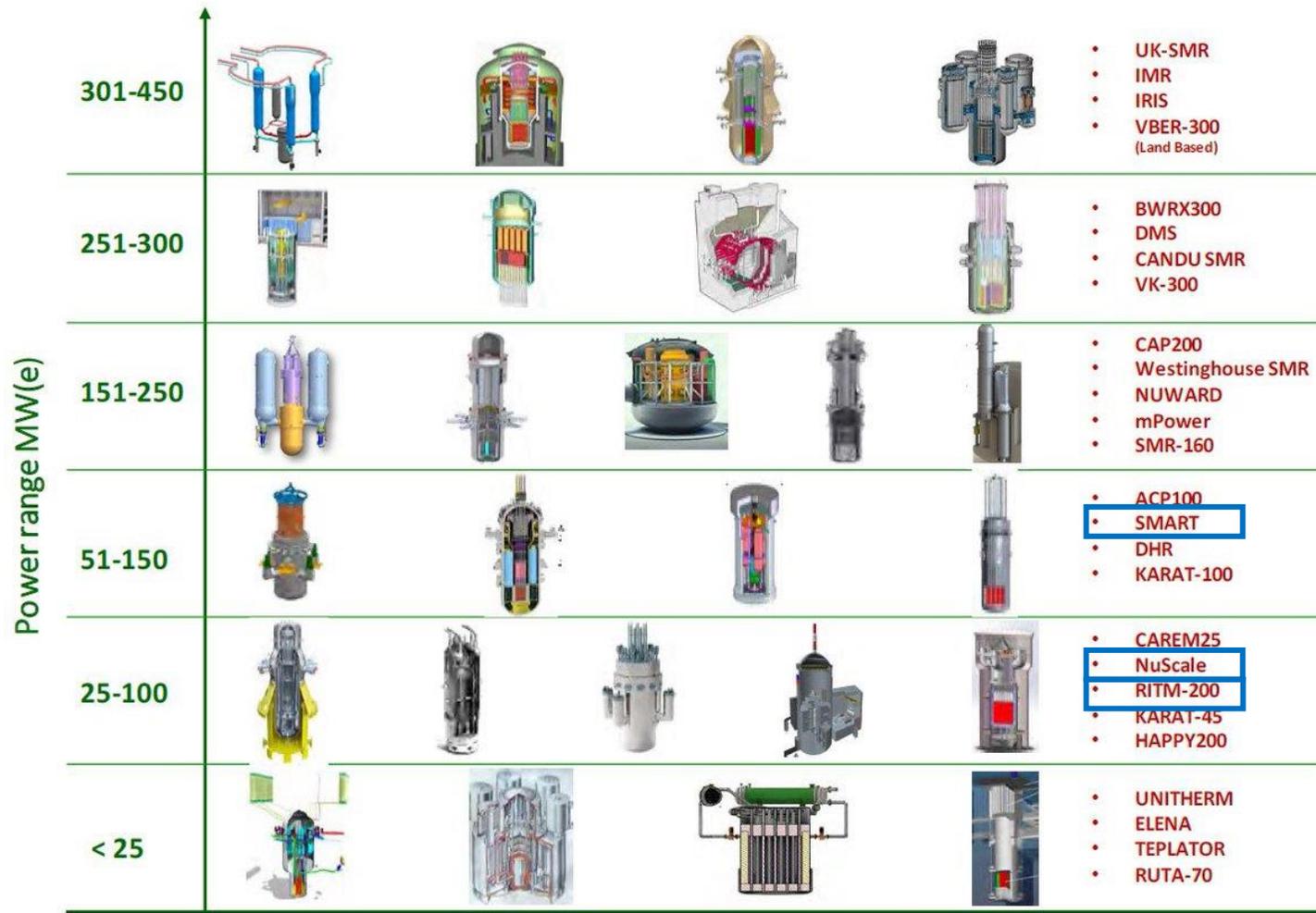
Pequeña potencia y arquitectura compacta

Sistema de seguridad pasivo, ideal para redes pequeñas

Construcción eficiente

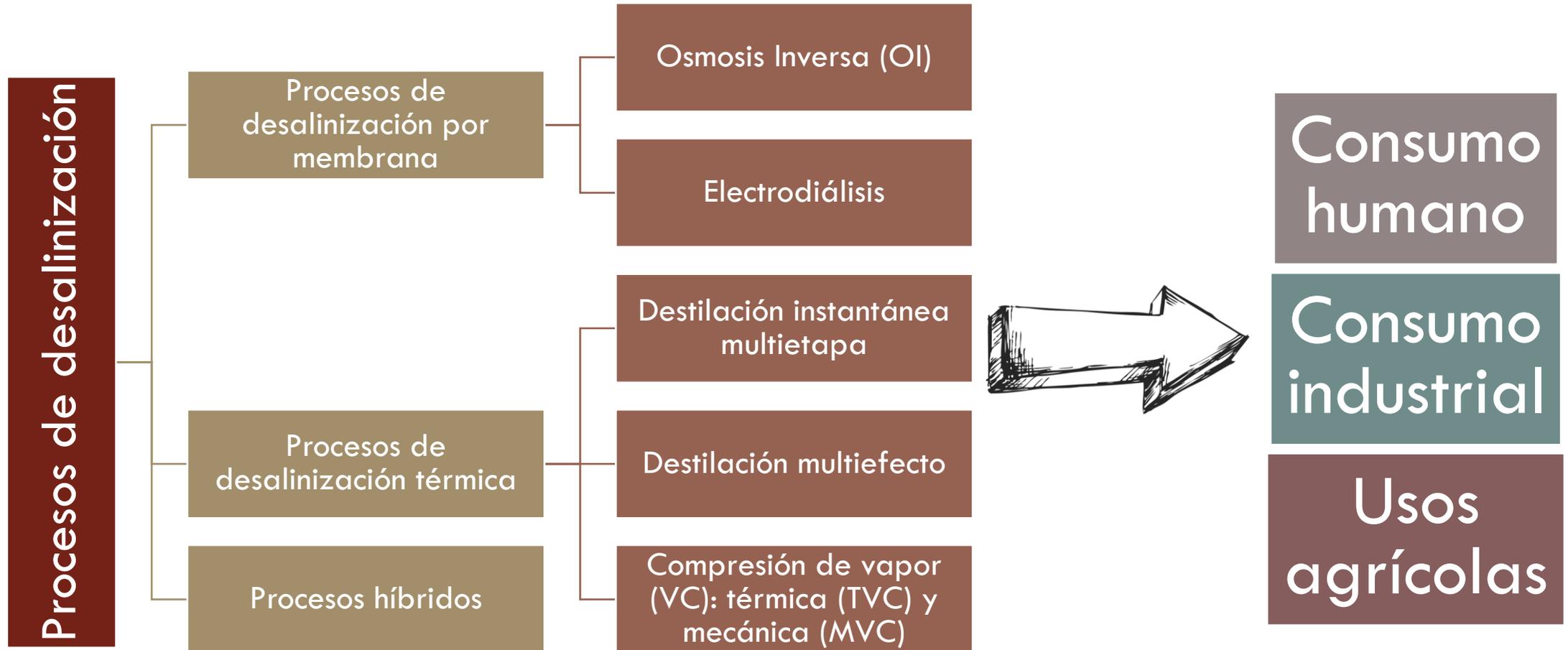
Desmantelamiento "in situ"

Menor consumo de agua de enfriamiento (desalinización)



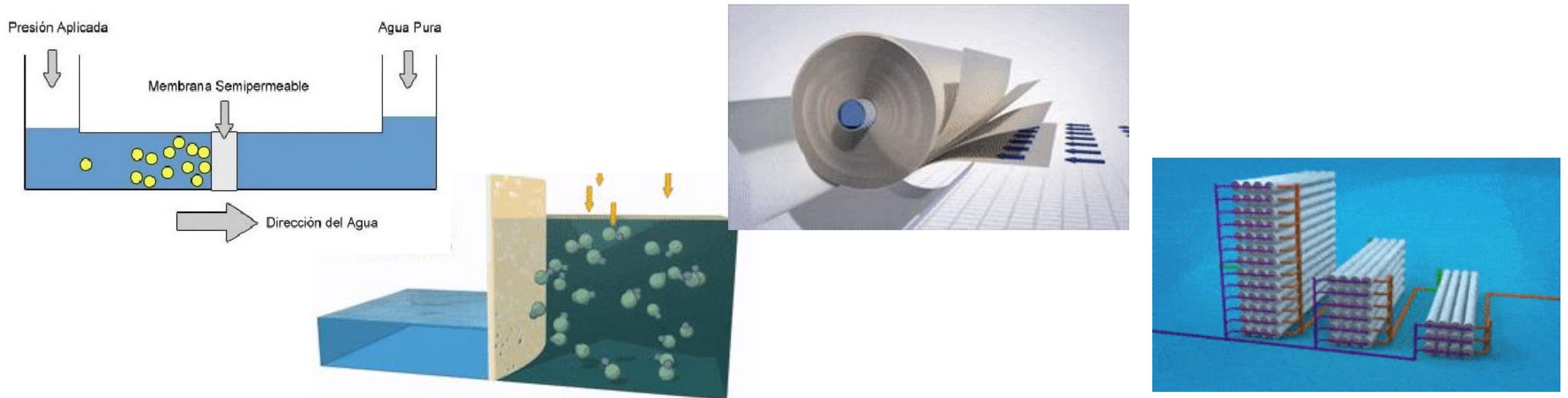
Land-based water-cooled reactors

La fuente de agua puede ser agua de mar, agua salobre, agua de río o agua de pozo

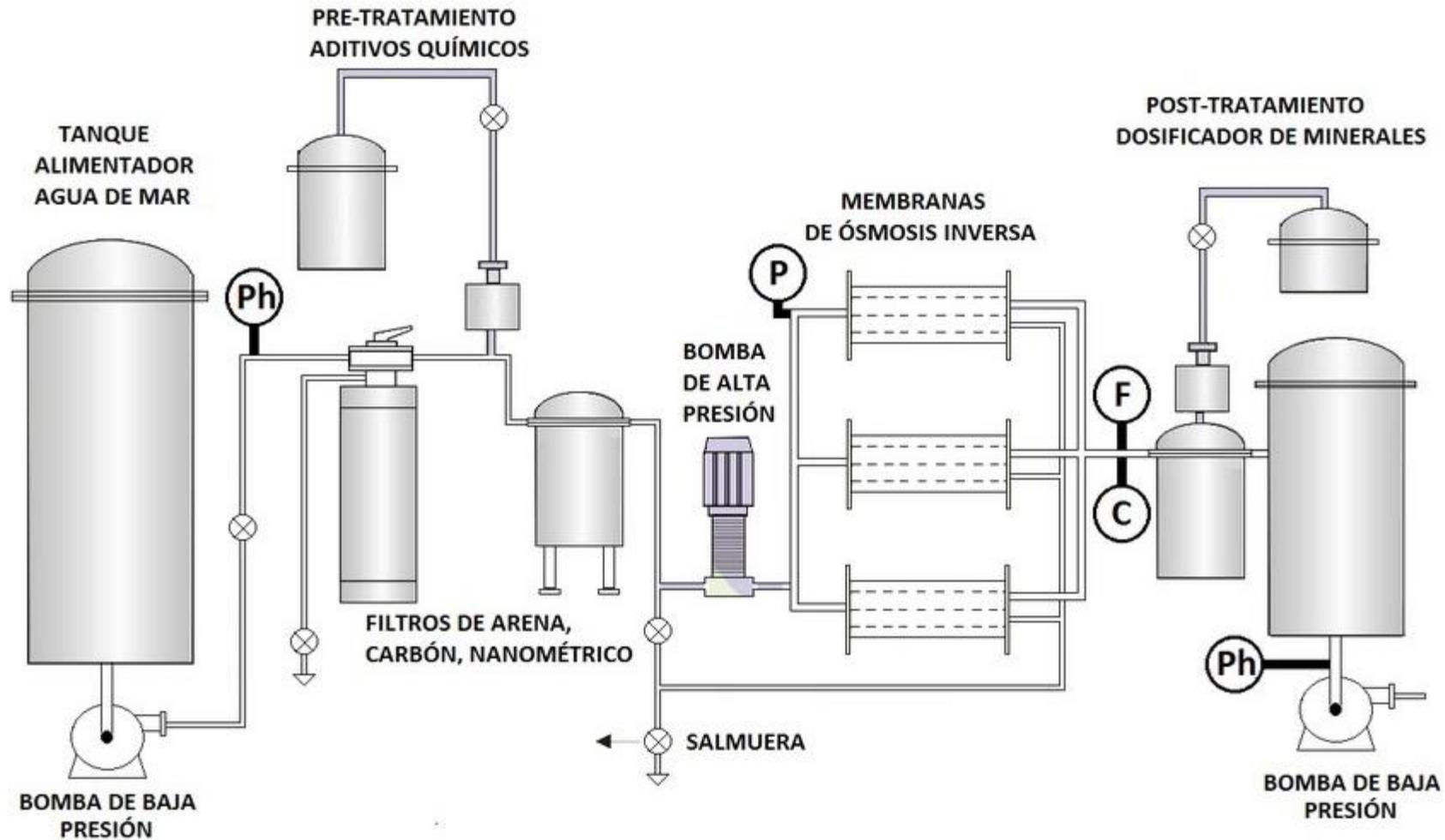


Ósmosis Inversa (OI)

El proceso consiste en la separación del agua de la sal, mediante la presión sobre el líquido, dependiendo de la cantidad de sólidos y el grado de desalación que se quiera obtener.

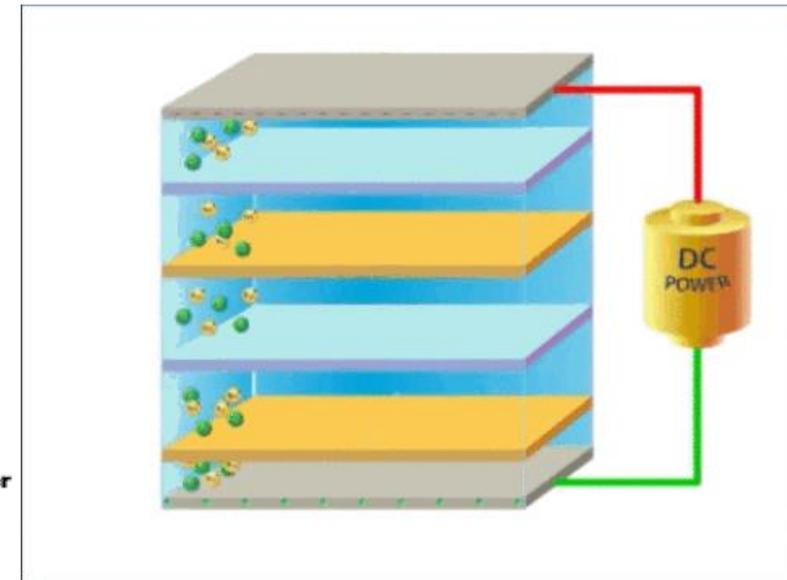
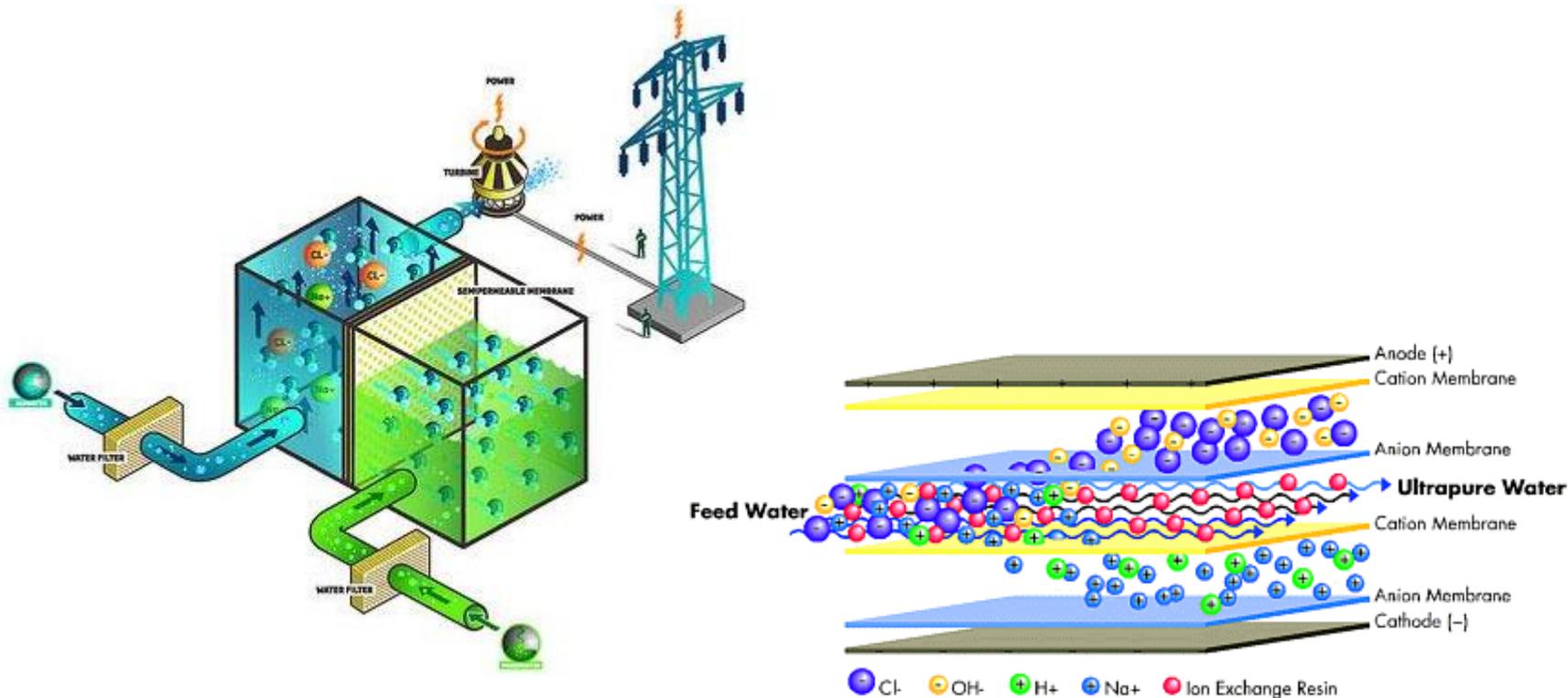


Ósmosis Inversa (OI)



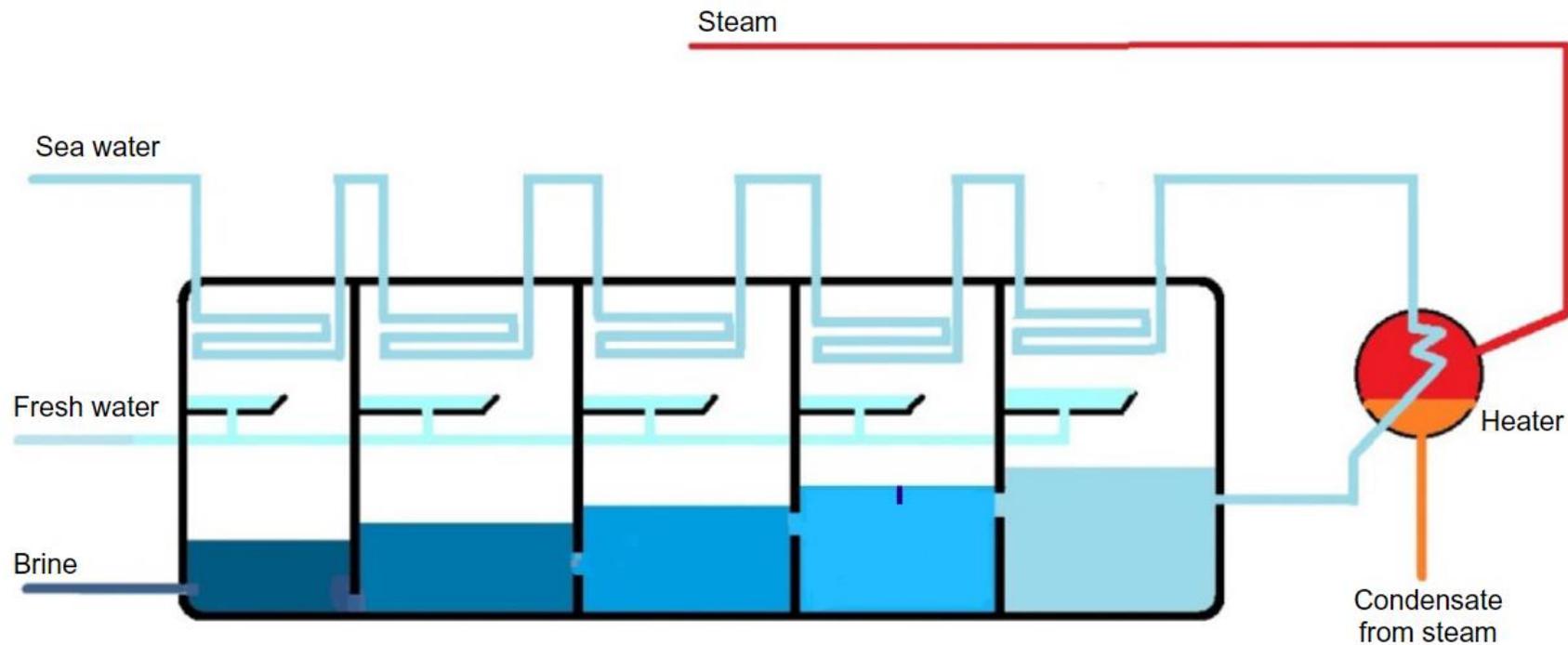
Electrodiálisis

La electrodiálisis consiste en el paso de iones a través de membranas permeables selectivas, bajo el efecto de una corriente eléctrica



Destilación instantánea multietapa (MSF)

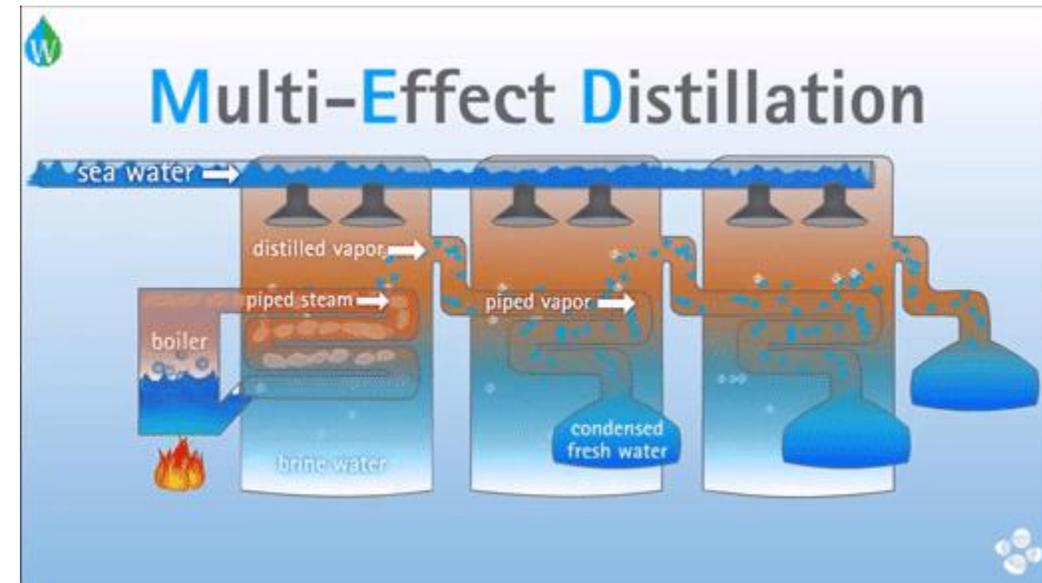
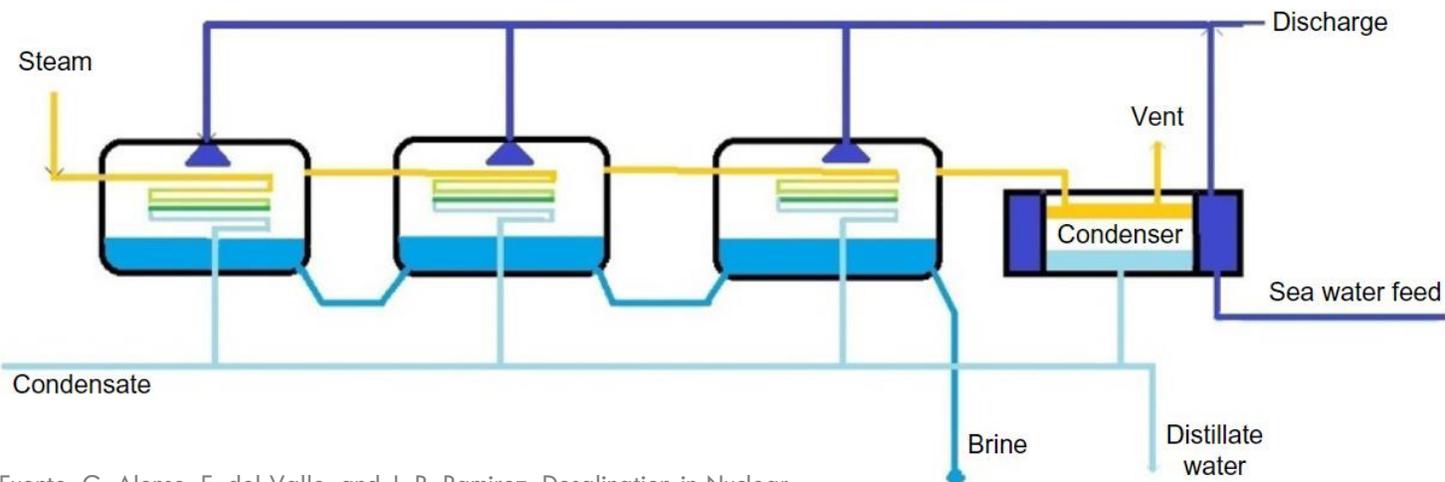
El proceso de destilación instantánea multietapa (MSF) que emplea vapor fue prominente en años.



Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, *Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy*. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Destilación multiefecto (MED)

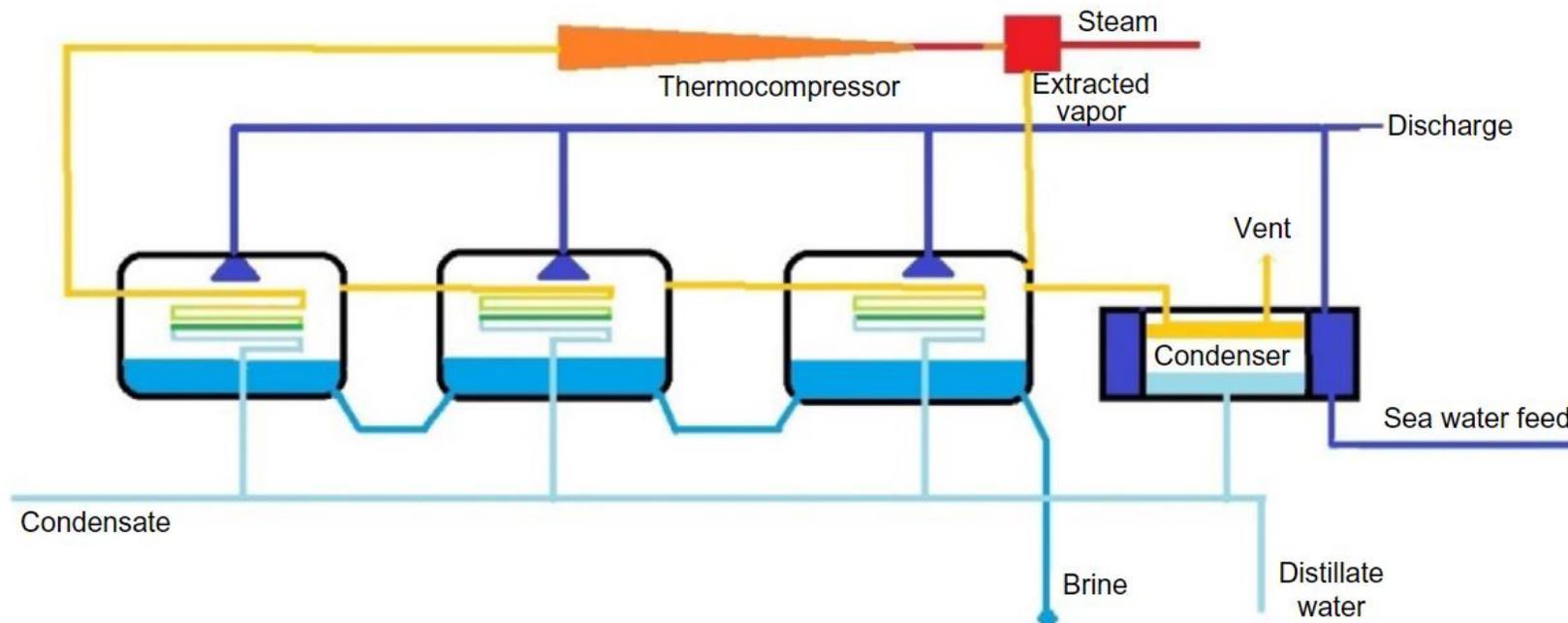
La evaporación se produce en un intercambiador de calor, aprovechando el calor latente obtenido en la condensación del vapor.



Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Compresión de vapor (VC): térmica (TVC) y mecánica (MVC)

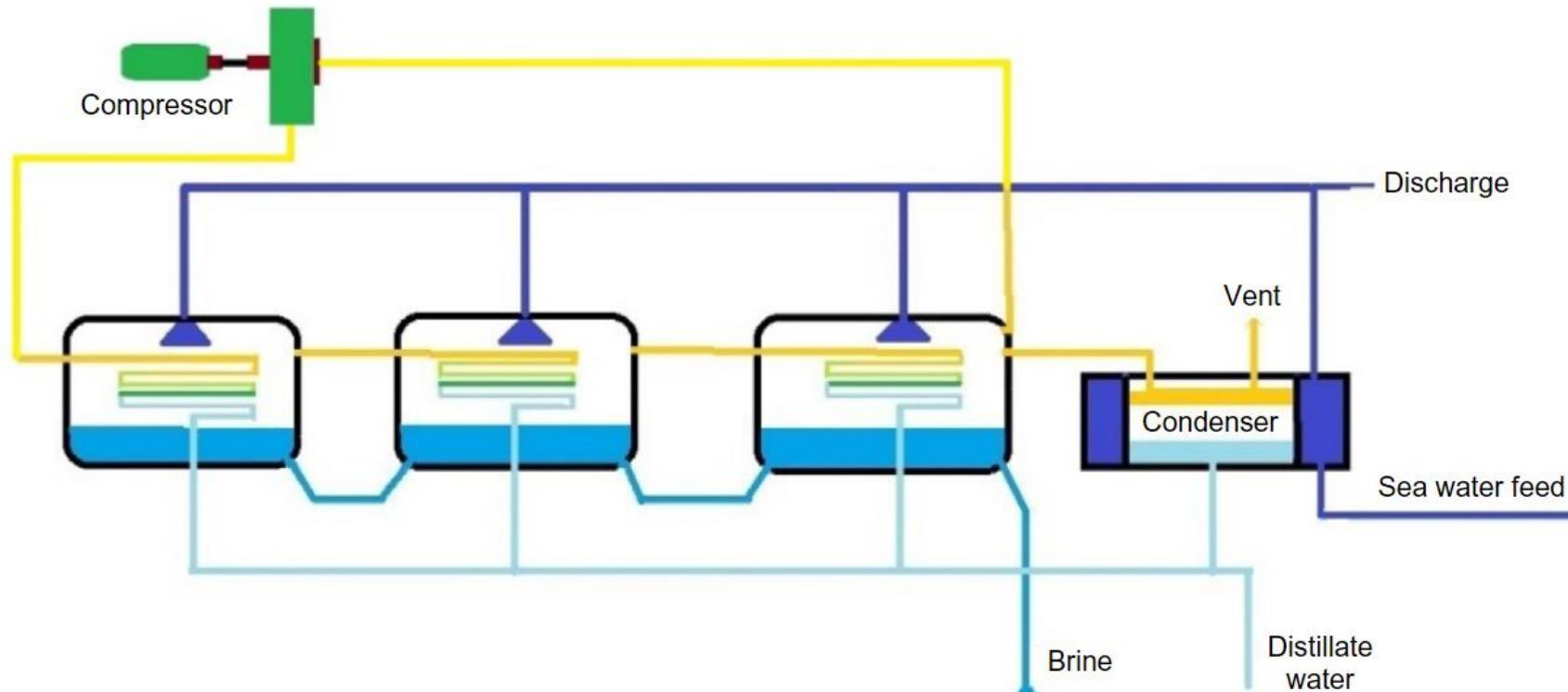
- **TVC:** La destilación de efectos múltiples (MED) es el proceso térmico a baja temperatura de obtener agua dulce mediante la recuperación del vapor de agua de mar hirviendo en una progresión de recipientes



Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, *Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy*. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Compresión de vapor (VC): térmica (TVC) y mecánica (MVC)

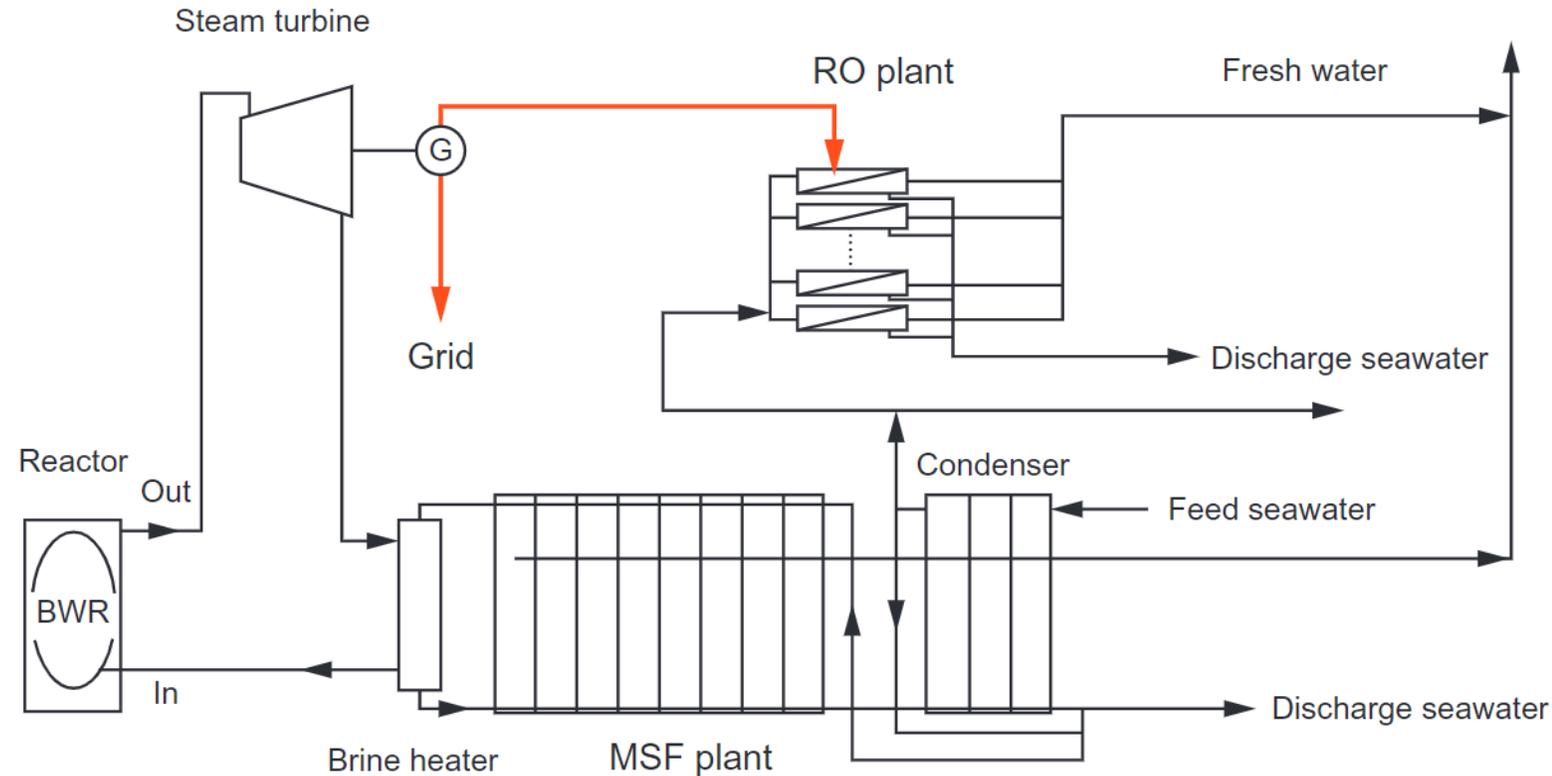
- **MVC:** Cuando el vapor no está disponible, todavía es posible utilizar el proceso MED con un compresor mecánico de vapor (MED-MVC).



Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Procesos híbridos

- El proceso híbrido consta de dos tecnologías de mezcla, una **térmica** y la otro de la **membrana**, cada uno trabajando de forma independiente y finalmente mezclando el producto para **ajustar la salinidad del producto final**.



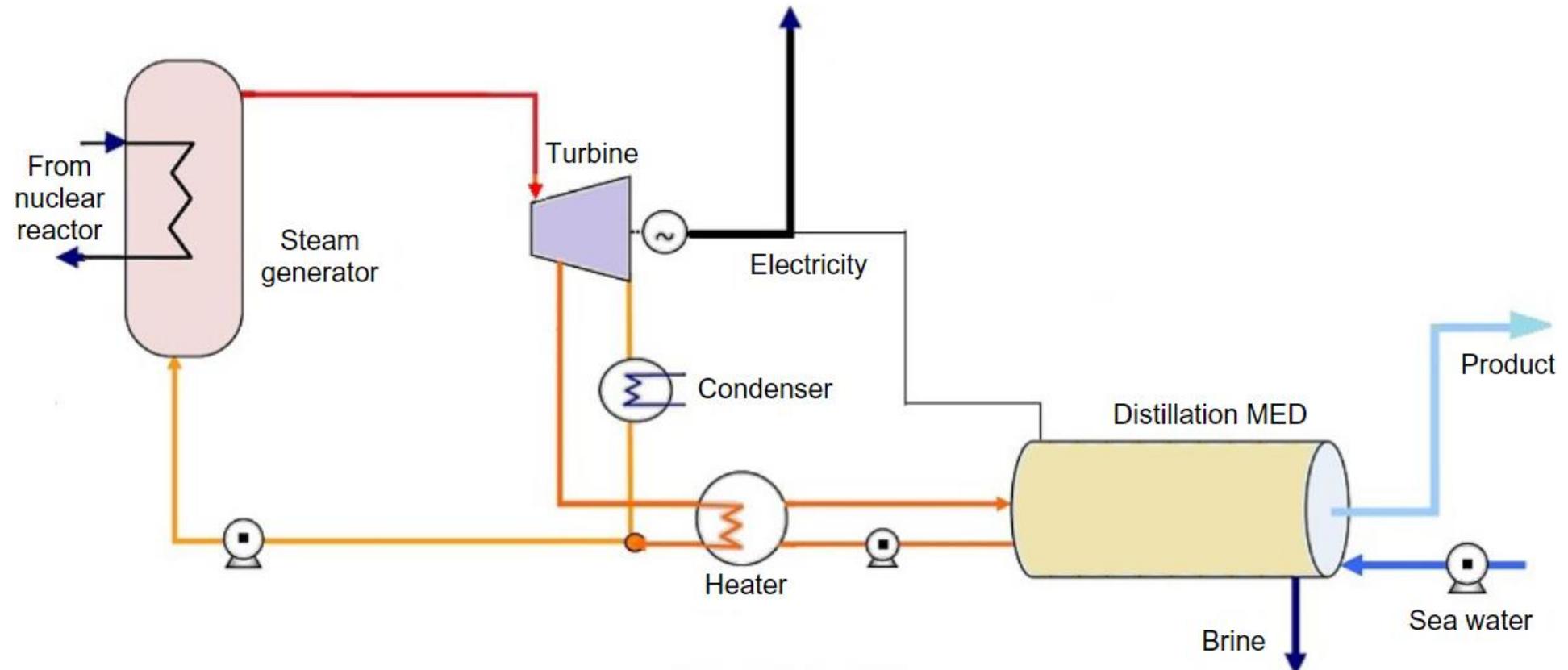
Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Principales tecnologías de desalinización

	Ventajas	Desventajas
MSF	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad, fiabilidad, larga trayectoria • Pretratamiento mínimo • Tamaños de unidades grandes • Limpieza en línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requerimientos energéticos • No es apropiado para plantas de un solo propósito
MED	<ul style="list-style-type: none"> • Pretratamiento mínimo • Agua de producto con bajo contenido de TDS • Menos energía eléctrica que MSF • Menor costo de capital que MSF 	<ul style="list-style-type: none"> • Complejo de operar • Tamaños de unidades pequeñas
OI	<ul style="list-style-type: none"> • Menos energía necesaria que la termal • Se necesita menos agua de alimentación • Menores costos de capital 	<ul style="list-style-type: none"> • Extremadamente dependiente de la efectividad de pretratamiento • Más complejo de operar que térmico • Baja pureza del producto • Problemas de boro que deben abordarse

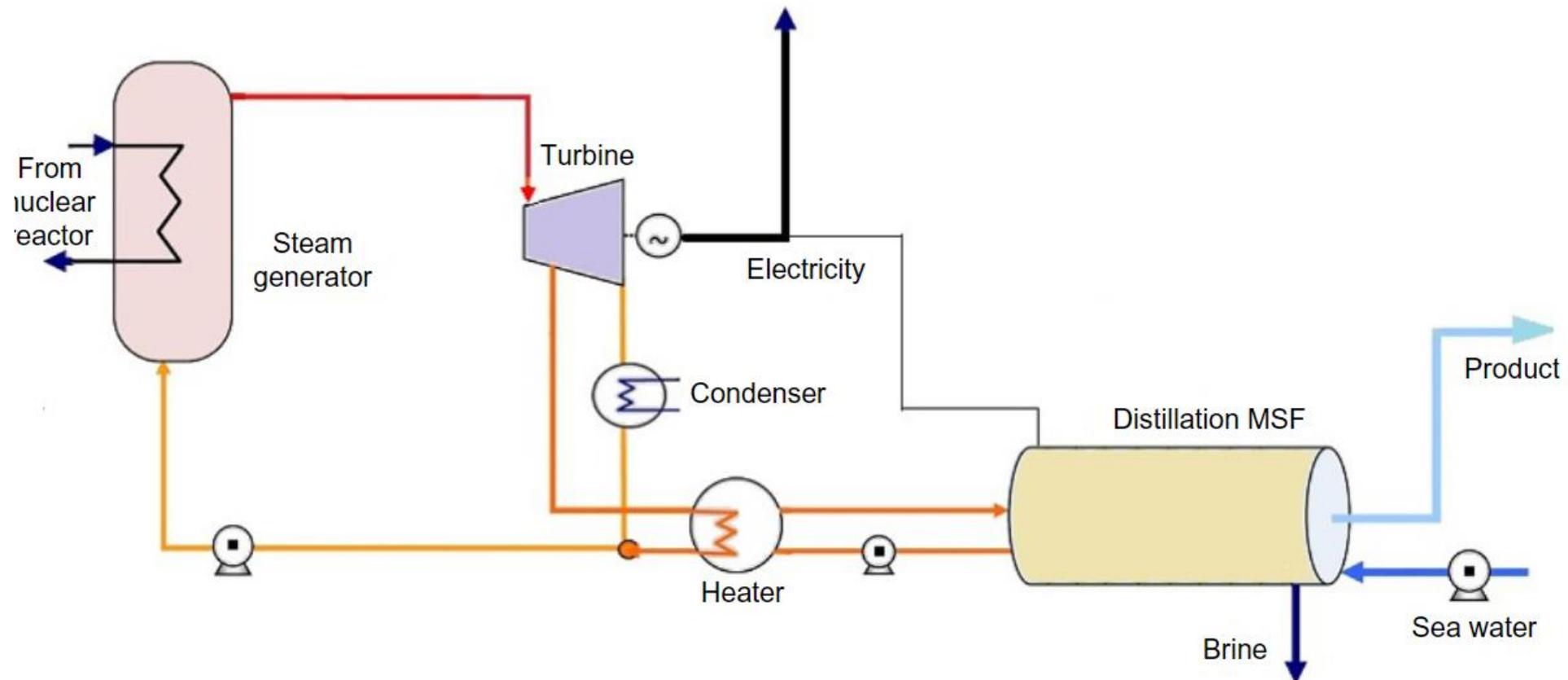
Fuente: I. Khamis, Nuclear Desalination, IAEA-Department of Nuclear Energy
<https://indico.ictp.it/event/8725/session/4/contribution/20/material/slides/0.pdf>

Desalinización nuclear mediante un proceso MED



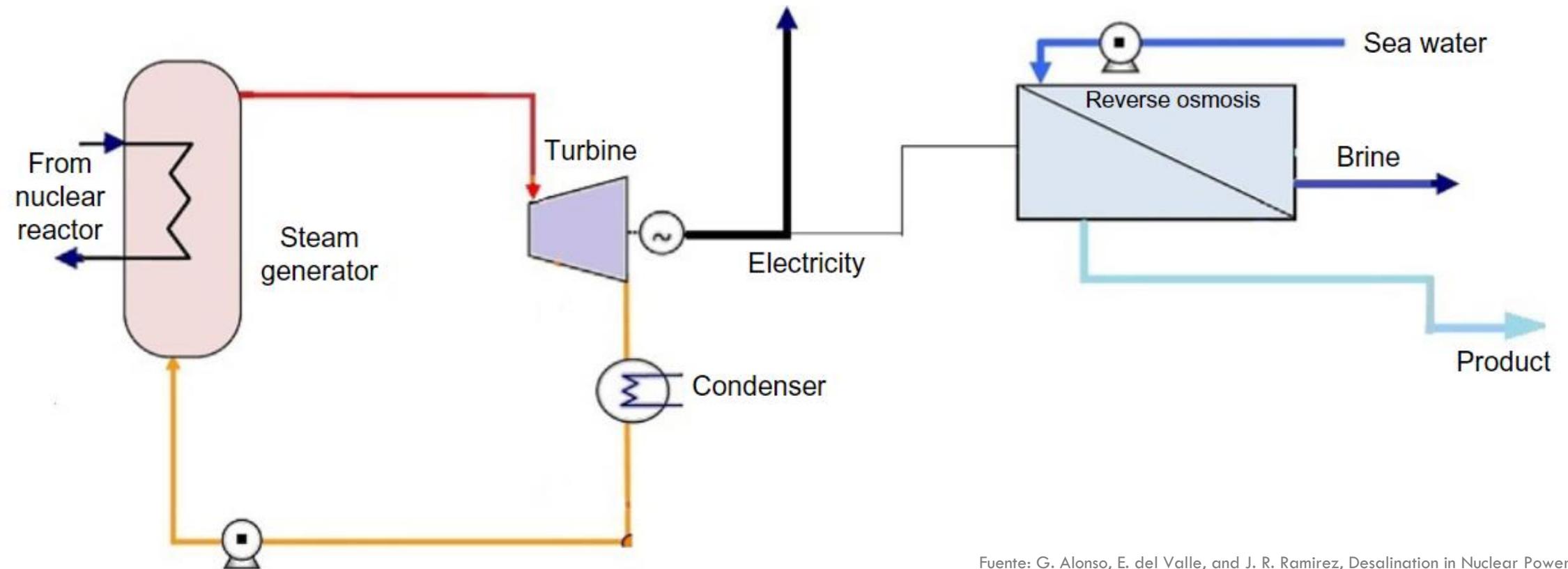
Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Desalinización nuclear usando un proceso MSF



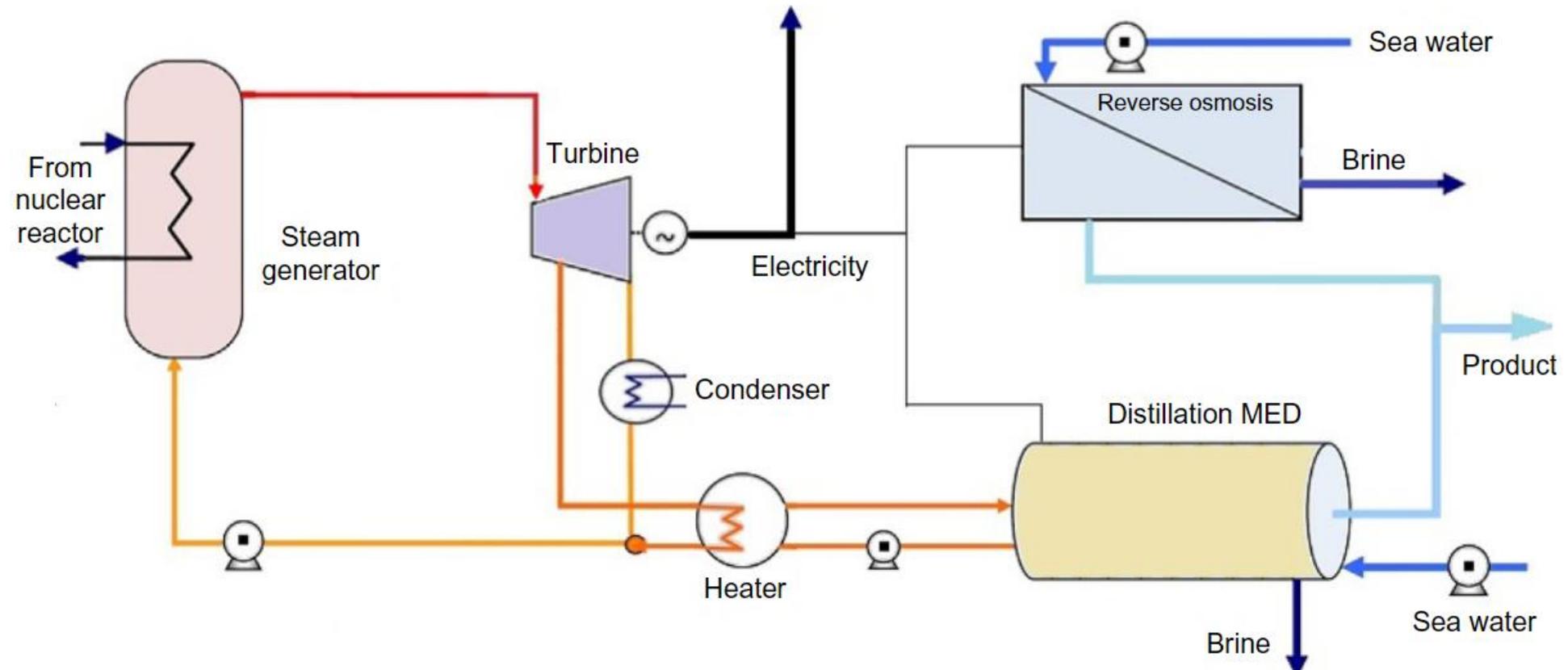
Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Desalinización nuclear usando un proceso OI



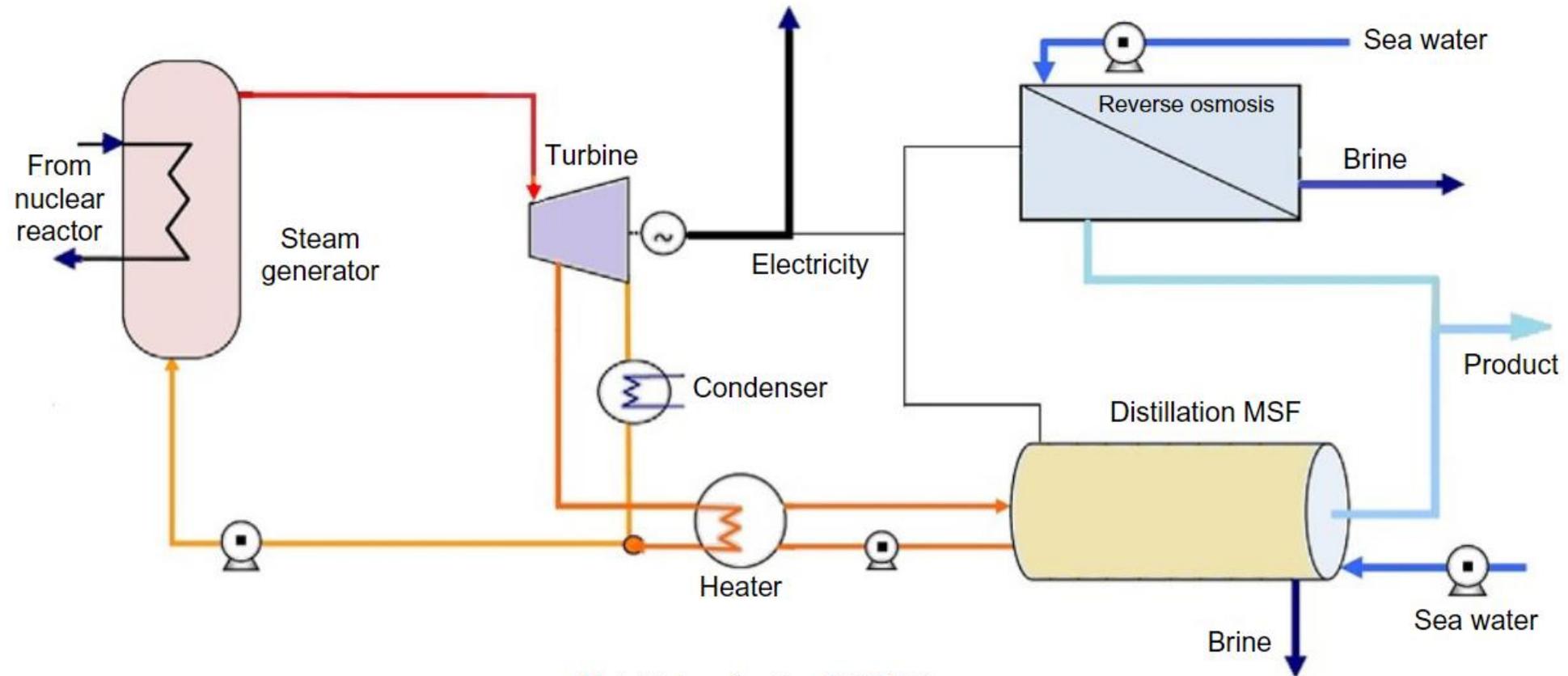
Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Desalación nuclear mediante un proceso híbrido MED-OI



Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Desalinización nuclear mediante un proceso híbrido MSF-RO



Hybrid desalination MSF-RO

Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Caso de estudio

- Acoplamiento de un reactor de 340 MWe (1000 MWth) y una planta de desalinización de 24.000 m³/d y coste nocturno para el reactor 4000 US\$/kWe a una tasa de descuento del 5%

Process	Stages (#)	GOR	Water cost (US\$/m ³)	Electricity cost (US\$/MWh)	Power gen (MWe)	Water gen (m ³ /d)	Purity (ppm TDS)	Water feed to product relation	Capacity (m ³ /year)
MED	14	11	1.090	67.4	252	24,000	100	2.0	8.76 × 10 ⁶
MSF	14	5	1.550	67.4	245		100	2.0	
RO	–	–	0.826	67.0	255		199	2.0	
MED-RO	–	–	0.826	67.0	252		199	2.0	
MSF-RO	18	6	1.160	67.4	250		152	2.0	

Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Cuestiones medioambientales

Mantener el medio ambiente con el menor impacto posible es una prioridad en los nuevos proyectos que estén alineados con la sostenibilidad.

Table 7.7 Land used by different clean technologies to produce the same amount of electricity.

Technology	Capacity factor (%)	Installed capacity (MWe)	Generation (MWh/year)	Units	Area (km ²)
Nuclear	90	1000	7,884,000	1	3.367
Wind high	47	1915		957	612.766
Wind low	32	2813		1406	900.000
PV high	28	3214		3214	52.031
PV low	17	5294		5294	85.698

Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

Tipos de centrales nucleares y tecnologías de desalinización utilizadas

Tipo de Reactor	País	Proceso de desalinización	Estatus
LMFR	Kazajistán	MED, MSF	Desmantelado (1999)
PWRs	Japón	MED, MSF, OI	Operación
	Corea del Sur, Argentina	MED, OI	Etapa de diseño
	Rusia	MED, OI	Etapa de diseño
PHWR	India	MSF, OI	Operando desde (2002+2010)
	Canadá	OI	Etapa de diseño
	Pakistán	MED	Operando desde 2010
BWR	Japón	MSF	Instalado
HTGR	Sudáfrica	MED, MSF, OI	Etapa de diseño
NHR	China	MED	Etapa de diseño

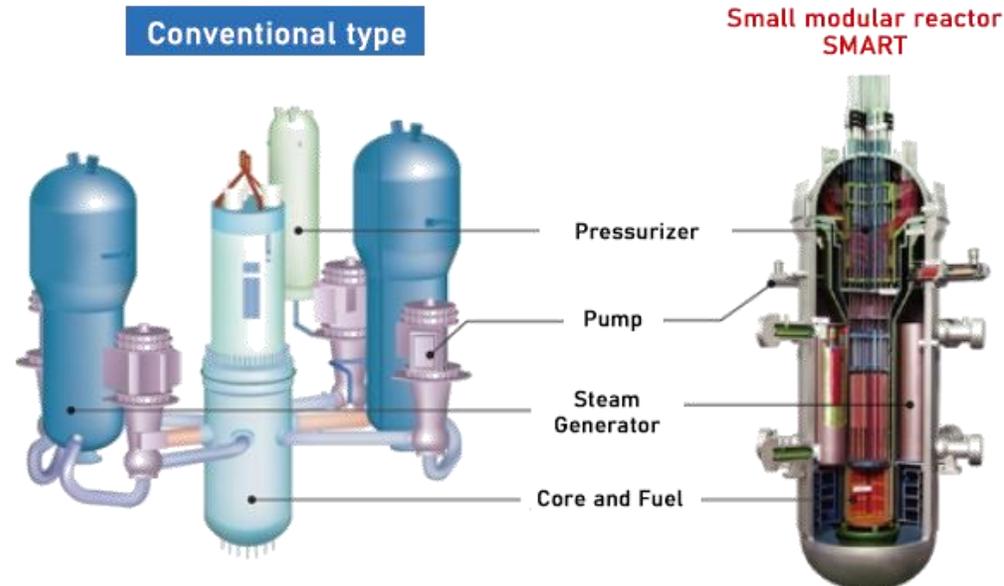
Fuente: I. Khamis, Nuclear Desalination, IAEA-Department of Nuclear Energy <https://indico.ictp.it/event/8725/session/4/contribution/20/material/slides/0.pdf>

System-integrated Modular Advanced Reactor



Forbes

- Potencia Eléctrica **100 MWe**
- Tiempo de operación sin recarga **36 meses**
- Vida de diseño de la Planta **60 años**
- Certificación final del diseño en **2012**
- Ante Proyecto de Ingeniería para construir 2 unidades en Arabia Saudita (PPE) **Verificación de licencia y factibilidad** .



Portada / Negocios / Arturo Solís
octubre 26, 2012 @ 2:44 pm

CFE analiza construir una planta nuclear en Baja California

La 'microplanta' nuclear se ubicaría en Baja California; la CFE ya realiza estudios y consultas a la población en el estado.



Foto: Flickr



La Comisión Federal de Electricidad (CFE) analiza construir una pequeña planta de energía nuclear en Baja California.



Fuente: CFE analiza construir una planta nuclear en Baja California (forbes.com.mx)



SMART



- ❑ Suministro de Electricidad y Agua Potable para una **Ciudad con una población de 100,000 habitantes**
- ❑ Adecuado **Redes Pequeñas o Sistemas de Energía Distribuidos**
- ❑ Suministro de **Agua 40,000 t/día**

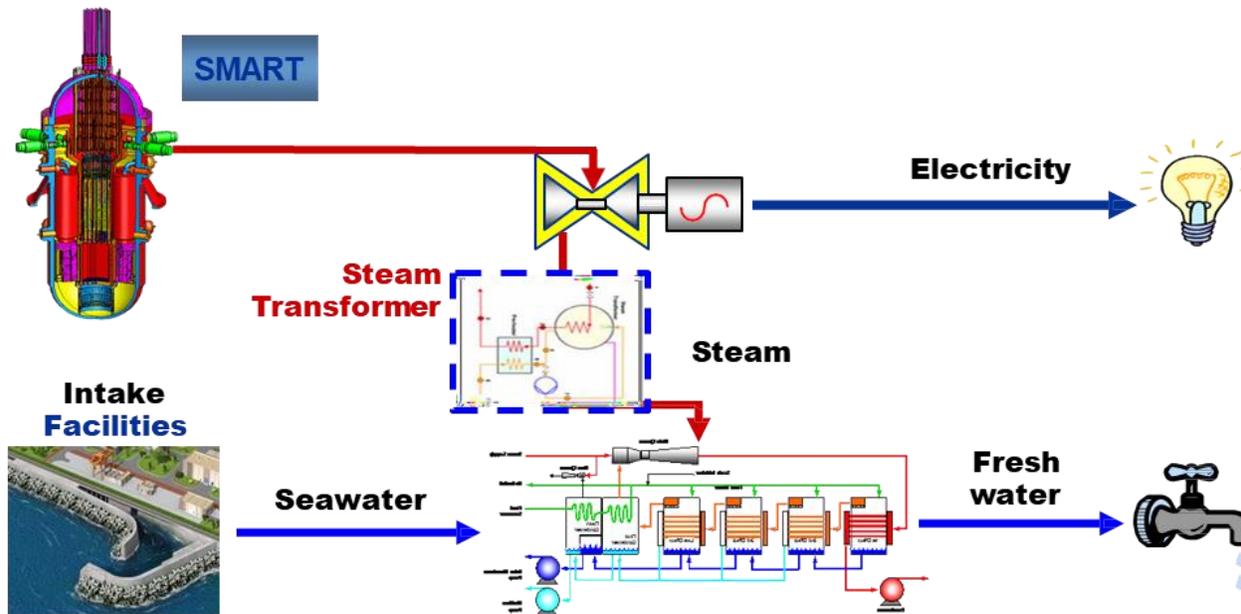


Table 7.17 Technical and economic parameters of the nuclear desalination plant.

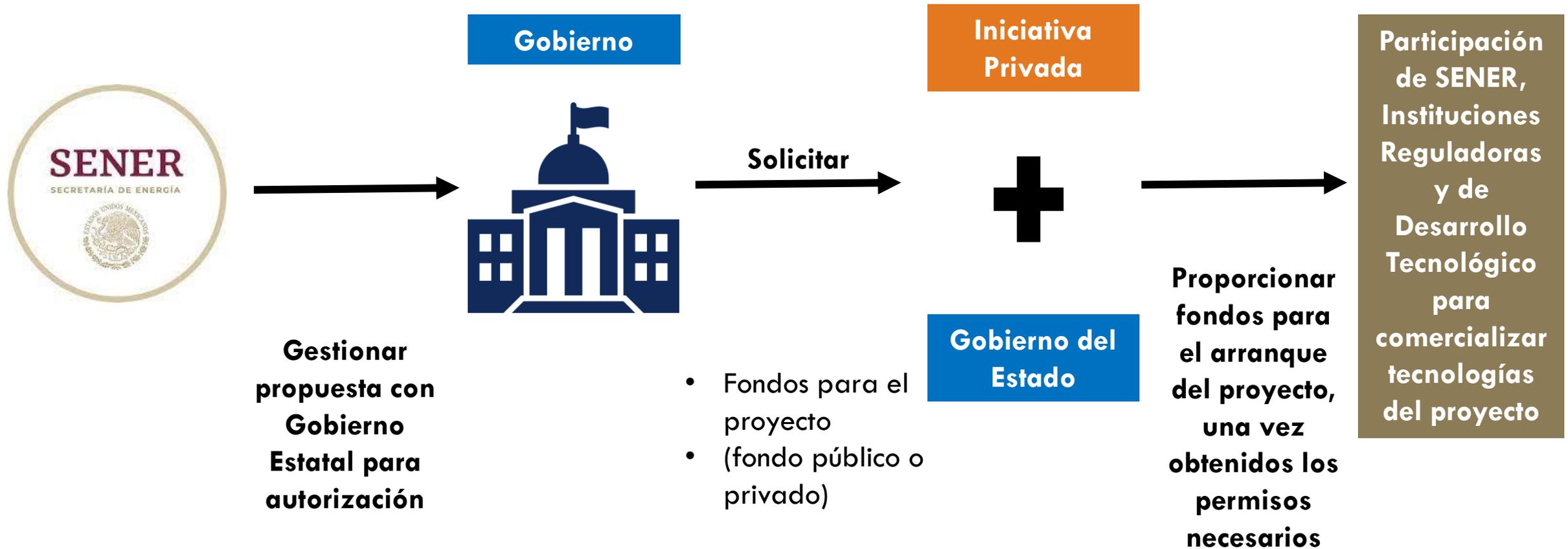
SMART reactor		Desalination plant (MSF and MED-TVC)	
Construction time	36 months	Useful life	20 years
Efficiency	34%	Chambers	4 for MED with GOR 5 8 for MED with GOR 10 12 for MED with GOR 15 12 for MSF with GOR 5 18 for MSF with GOR 10 24 for MSF with GOR 15
Electric power	112 MWe	Pipe length	40 ft
Useful life	60 years	Pipe thickness	0.05 in.
O&M costs	19.08 US\$/MWh	Inner diameter of the tubes	0.87 in.
Fuel costs	7.71 US\$/MWh	Tube manufacturing material	Cu-Ni
Plant factor	90%	Tubing transfer coefficient	650 BTU/h ft ² °F
Overnight cost (US\$/kWe)	5000	Water operational availability	90%
	5350	Unit base cost	1100 US\$/(m ³ /d)
		Specific O&M costs for contingencies	0.01 US\$/m ³
		Specific O&M costs for pretreatment chemicals	0.03 US\$/m ³
		Owner cost factor	5%

Fuente: G. Alonso, E. del Valle, and J. R. Ramirez, Desalination in Nuclear Power Plants: A volume in Woodhead Publishing Series in Energy. Elsevier, 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-820021-6.09995-6.

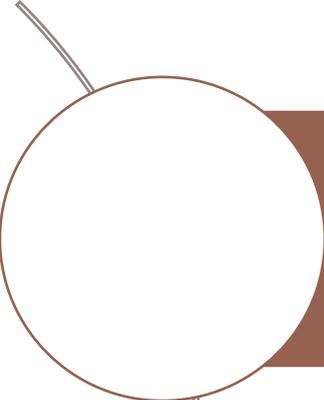
Problema: escasez de agua en la región



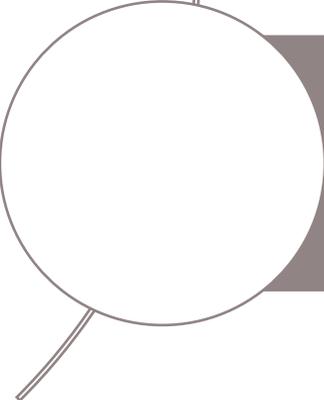
Problema: escasez de agua en la región



Resumen



Hoy en día existen varios métodos para la desalación de agua de mar, y cada uno tiene sus particularidades características según el país y las condiciones ambientales, así como eco-aspectos económicos.



Las centrales nucleares pueden proporcionar energía térmica o eléctrica, o ambas, a los respectivos procesos de desalinización; sin embargo, con fines de desalinización, han sido utilizadas la mayoría de los casos para proporcionar agua de reposición para la planta de energía, y la ventaja de la tecnología no se ha explotado a más escalas comerciales.

¡Gracias por su atención!

Redes sociales y punto de contacto



remecin.edu@gmail.com



www.remecin.mx

Síguenos en:



Instagram: remecin_mx



Facebook: REMECIN



Twitter: remecin_mx



LinkedIn: remecin