



Trazado de ruta a la electronuclearización de PR

Mucho más peligroso que confrontar a un gran ejercito es el retar a una idea que le ha llegado su momento; Víctor Hugo (1802-1885)

“Boricuatrón”

Central electronuclear modular flotante de varios minireactores asistidos IV-G de sales derretidas de Torio y turbinas de 75k rpm de ciclos Brayton de CO₂ critico-supercrítico

- 1) Isotopos = elementos con igual número atómico (protones) pero con distintos peso atómico,
- 2) peso atómico = equivale a la suma de los protones mas los neutrones en su núcleo [(¹₁H), (²₁H) y (³₁H)]
- 3) combustibles de fisión nuclear fértiles (~ 2 neutrones) ²³²₉₀Th, ²³⁸₉₂U
- 4) combustibles de fisión nuclear fisibles (~3+ neutrones) ²³³₉₂U, ²³⁹₉₄Pt y ²³⁵₉₂U
- 5) reactor asistidos (mecanismo que subsana las deficiencias de neutrones a los combustibles fértiles)
- 6) cuarta generación (G I = R&D) (G II = mercado EN) (G III = G II + Controles electrónicos) (G IV = Sales térmicas)
- 7) ciclo termodinámico Brayton - proceso óptimo del funcionamiento de turbinas de gas para generar electricidad
- 8) CO₂ critico-supercrítico - estado termodinámico óptima a someter ciertos gases para extraer su energía interna
- 9) media vida (t_½) de los elementos (tiempo que tarda en descomponerse la mitad del elemento radiactivo)





? ? ?



Energía Electronuclear

¿ Interrogantes ?

- 1- **¿ Porqué después de 75 años la Industria electronuclear tiene tan mala reputación ?**
- 2- **¿ Porqué ha esta Industria se le ha creado tanta desconfianza ?**
- 3- **¿ A que se debe el miedo ?**
- 4- **¿ Que ha pasado para que éste sea ese el escenario negativo el prevaleciente ?**
- 5- **¿ Quienes son los responsables de que tenga tan mala reputación ?**
- 6- **¿ Habrán habido otros intereses que han influenciado esta percepción ?**

Causas de la Mala Reputación y Desconfianza de la Industria Electronuclear

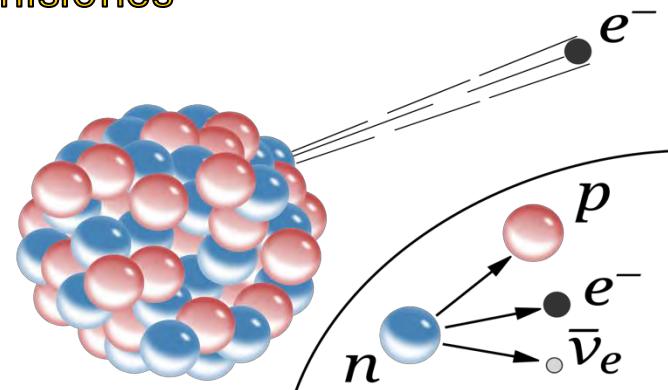
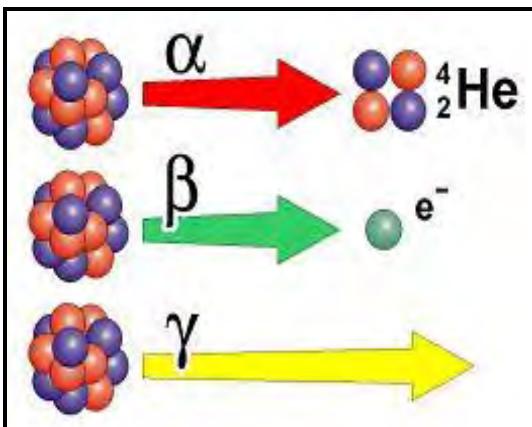
- 1- Sus directores, oficiales, operadores y dueños han sido sumamente negligentes y descuidados en diseñar, construir, certificar, validar y operar las centrales nucleares sin consecuencias [SCE&G-\$3B a \$9B;; 2009-2056 - \$8/mes]
- 2- El mantenimiento y la conservación de sus equipos ha sido marginal; pudo haber sido mucho mejor.
- 3- Durante las últimas seis décadas, los accidentes catastróficos experimentados han sido tan mal manejados que mundialmente le creó una desconfianza anteriormente nunca antes experimentada por industria alguna.
- 4- El pobre manejo de las relaciones públicas le han añadido una dimensión de mayor de desconfianza a la ya existente, que inmaterial de los esfuerzos que se intenten para revertir dicha percepción ahora, es muy difícil recobrarla a los niveles necesarios para poder rehabilitarla. (actitud de arrogancia).
- 5- Han sido irresponsables con el manejo y la divulgación de la información de sus operaciones (secretividad).
- 6- Tanto las agencias reguladoras federales como las internacionales no han sido transparentes al ejercer sus oficios ni lo suficientemente rigurosas al implantar sanciones; en algunos países ha habido corrupción.
- 7- Han permitido que las decisiones técnicas se dobleguen ante los intereses de los políticos y asumido un comportamiento “menso” al reclamar la posición pública del estado respecto a este renglón de energía.
- 8- Nadie quiere ser el primero en cambiar los sistemas operativos actuales, lo cual hace muy difícil obtener las licencias operativas, construir, validar y arrancar las operaciones de nueva tecnología.
(atmósfera de NO RIESGO - a “otro” que abra las puertas primero). (NATRIUM, TERRAPOWER, HITACHI)
- 9- Presupuestos capitales sobregirados muchas veces con tiempos de construcción no horrados por varios años.
- 10- No han manejado, dispuesto y almacenado responsablemente sus residuos radioactivos.

Inventario Mundial de Desperdicios Peligrosos Nucleares Radioactivos*(M³)

Clasificación	Almacenados	Dispuestos	Totales	%
DRNB (LLRW)	3, 479, 000	7, 906, 000	11, 386, 000	(70%)
DRNI (ILRW)	460, 000	20, 451, 000	20, 911, 000	(97%)
DRNA (HLRW)	22, 000	000, 000	22, 000	(0.0%)
Totales	3, 961, 000	21, 247, 000	32, 319, 000	(67%)

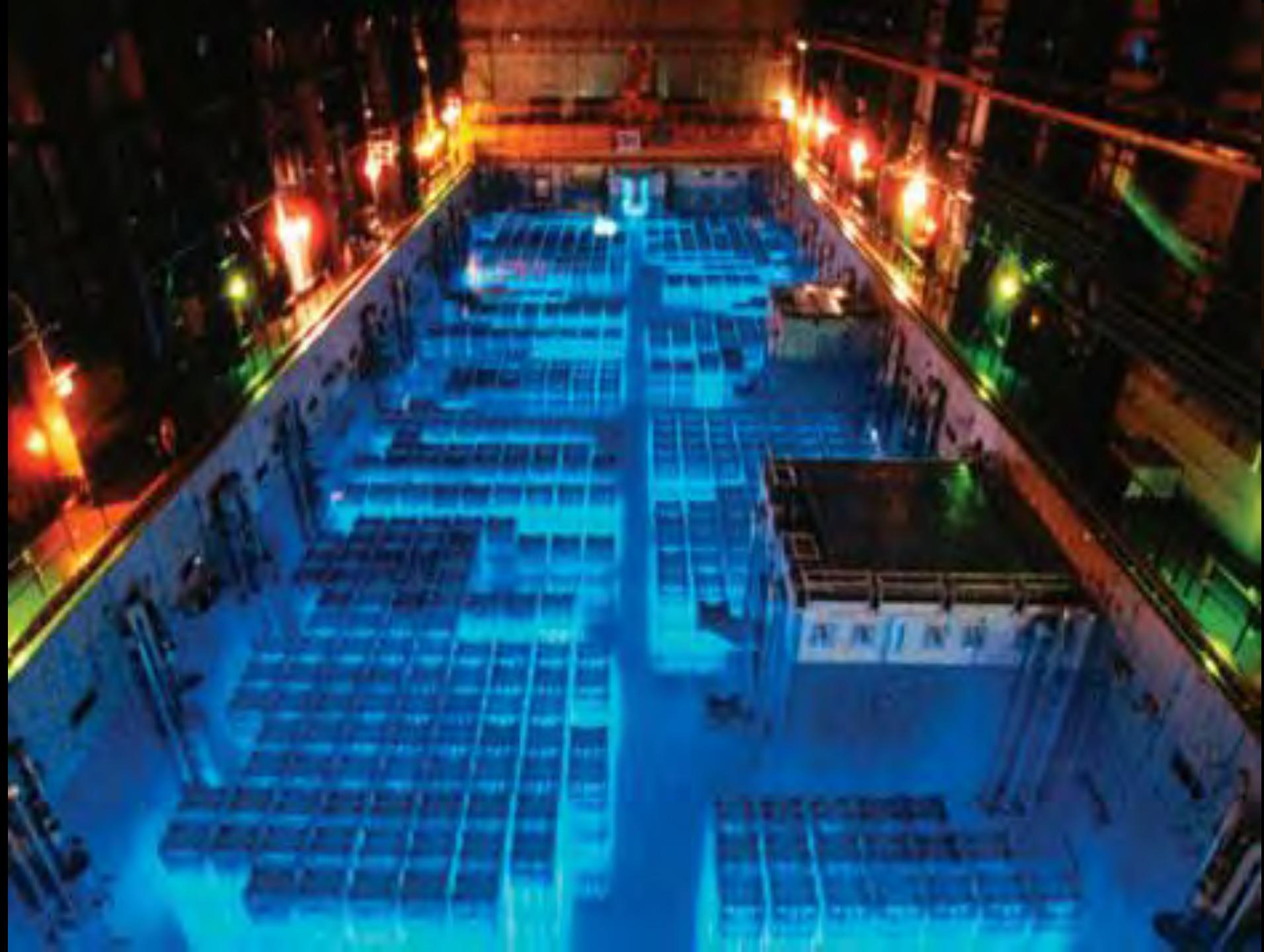
(*) Administración Internacional de Energía Atómica (IAEA) (Densidad del U = 19 Tm/M³)

Mecanismos de Emisiones



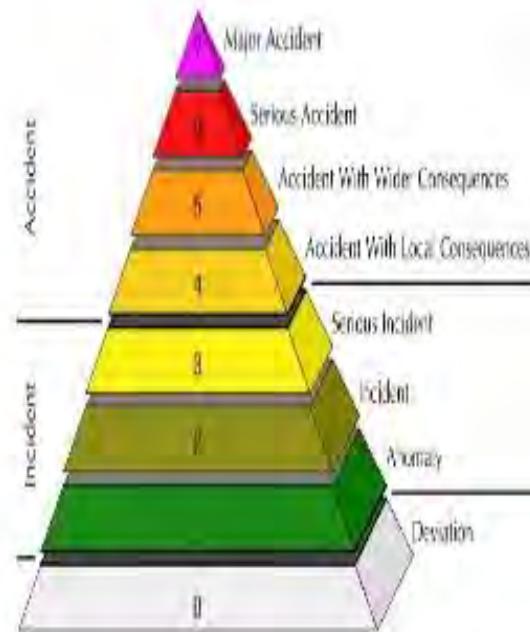
The radioactive beta is due to the weak interaction, which later transforms a neutron into a proton, an electron and an electron antineutrino.

Decay Type	Radiation Emitted	Generic Equation	Model
Alpha decay	${}^4_2 \alpha$	${}^A_Z X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2} X' + {}^4_2 \alpha$	<p>Parent</p> <p>Daughter</p> <p>Alpha Particle</p>
Beta decay	${}^0_{-1} \beta$	${}^A_Z X \longrightarrow {}^{A+1}_{Z+1} X' + {}^0_{-1} \beta$	<p>Parent</p> <p>Daughter</p> <p>Beta Particle</p>
Gamma emission	${}^0_0 \gamma$	${}^A_Z X^* \xrightarrow{\text{Relaxation}} {}^A_Z X' + {}^0_0 \gamma$	<p>Parent (excited nuclear state)</p> <p>Daughter</p> <p>Gamma ray</p>



INESRating

- International Nuclear Event Scale
- Scale of 1-7
- introduced in 1990
- International Atomic Energy Agency (IAEA)



Rating nuclear danger

Selected events, INES* scale, 7=maximum

Level	Place	Year	Incident
7	Chernobyl, Ukraine	1986	An explosion and a fire in the reactor core at the Chernobyl nuclear power plant sent a radioactive plume across large swathes of Europe. Chernobyl remains easily the worst nuclear accident in history
7	Fukushima, Japan	2011	Following an earthquake and a tsunami, a series of partial core meltdowns and a fire in a fuel pond at the Japanese Fukushima Dai-ichi plant caused fluctuating releases of radiation into the sea and the surrounding countryside
6	Kyshtym, Russia	1957	A failed cooling system caused an explosion that destroyed a tank containing 70-80 tonnes of liquid radioactive waste at a waste-reprocessing plant. Current best estimates suggest that more than 10,000 people received significant doses of radiation
5	Windscale, Britain	1957	The core of a reactor at Windscale in Cumbria (now called Sellafield) caught fire; the plume of smoke deposited radiation across the surrounding countryside and parts of Europe
5	Three Mile Island, United States	1979	A stuck valve led to a partial core meltdown at a Pennsylvania nuclear power plant. Despite the severity of the accident, comparatively little radiation was released
5	Goiânia, Brazil	1987	Thieves stole a canister of highly radioactive caesium chloride used in nuclear medicine from an abandoned hospital. It ended up in a scrapyard, exposing many people to high doses. Four subsequently died from radiation sickness
4	Tokaimura, Japan	1999	Nuclear workers were preparing a batch of fuel for an experimental reactor. Fuel stored in a tank accidentally reached "critical mass", began undergoing nuclear reactions and emitted enough radiation to kill two workers
3	Sellafield, Britain	2005	Over 20 tonnes of nuclear fuel, dissolved in nitric acid, leaked from a pipe at a nuclear reprocessing plant, on the same site as the 1957 Windscale fire. None made it out into the wider environment
2	Forsmark, Sweden	2006	A reactor was shut down following an electrical fault. Two of four back-up diesel generators, designed to power the cooling systems in an emergency, failed to start properly
1	Gravelines, France	2009	A bundle of nuclear fuel got stuck during an operation to replace fuel in the core of a reactor. The reactor building was evacuated, but no radiation was released

Sources: IAEA; *The Economist*

*International Nuclear and Radiological Event Scale

WHAT YOU NEED TO KNOW ABOUT Radiation





¡ Esta percepción tiene que cambiar !

**Y...., nos toca a nosotros,
los ingenieros hacerlo.**



**Y...;
Cómo lo hacemos ?
Educando a la juventud, a los científicos,
a los Ingenieros, al pueblo y a los políticos.**

Distribución de las reservas mundiales de Urano

[99.8000 % p/p $^{238}_{\text{U}}$; 0.1946% p/p $^{235}_{\text{U}}$; 0.0054% p/p $^{234}_{\text{U}}$]

(6,812,000 tonnes)

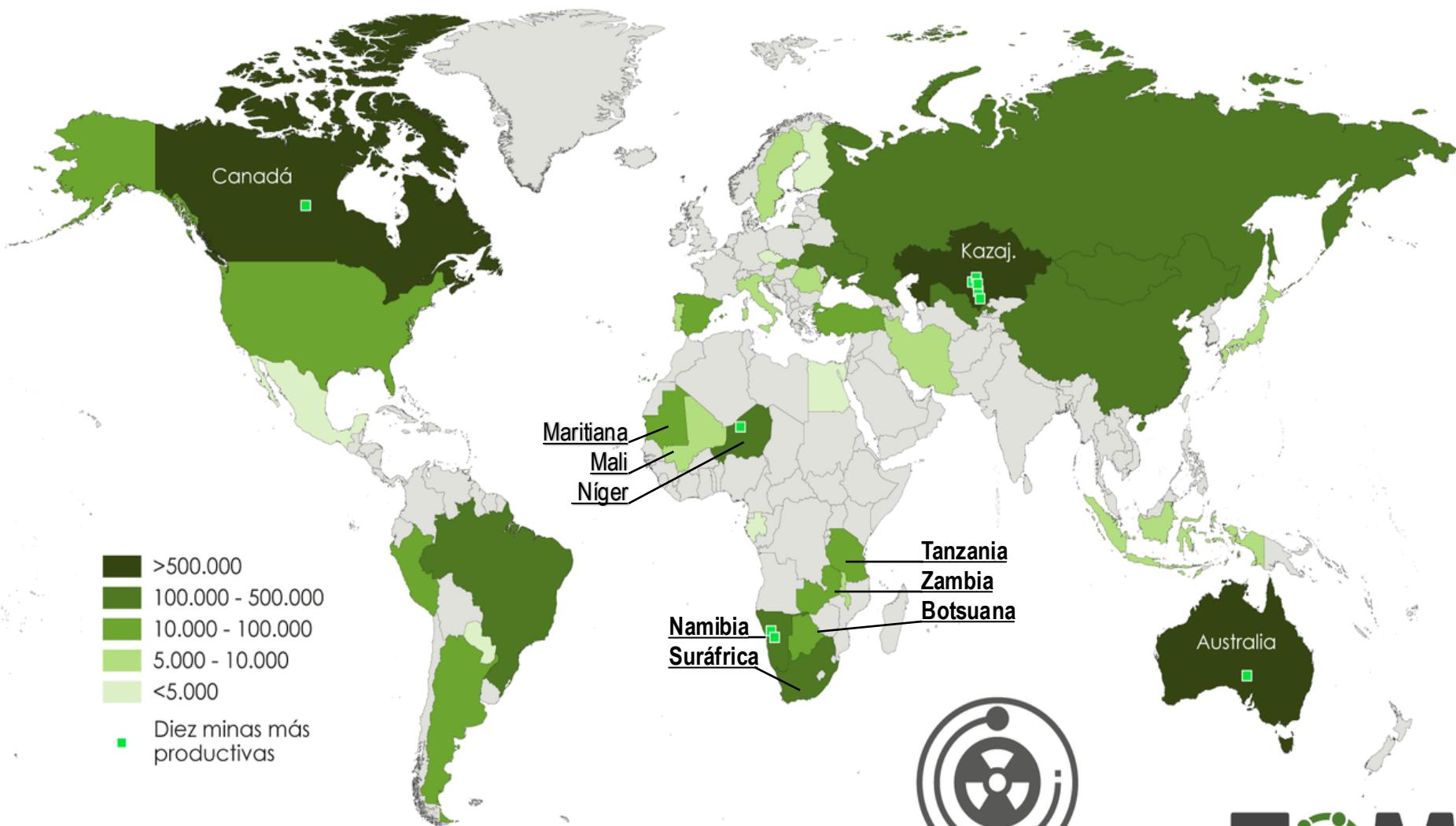
1	Australia (1 780 800)	11	Ukraine (220 700)	21	Spain (33 900)
2	Kazakhstan (941 600)	12	Mongolia (141 500)	22	Peru (33 400)
3	Canada (703 600)	13	India (138 700)	23	CAR (32 000)
4	Namibia (463 000)	14	USA (138 200)	24	Zambia (24 600)
5	S. Africa (449 300)	15	Uzbekistan (130 100)	25	Mauritania (23 800)
6	Niger (411 300)	16	Czechia (119 300)	26	Argentina (19 600)
7	Russia (395 200)	17	Indonesia (78 000)	27	Algeria (19 500)
8	Brazil (276 800)	18	Botswana (73 500)	28	Slovakia (15 500)
9	China (272 500)	19	Tanzania (58 100)	29	Malawi (14 300)
10	Denmark (228 000)	20	Jordan (47 700)	30	Mali (13 000)



Source: wikipedia/IAEA

¿Dónde hay uranio?

Reservas identificadas rentables de extraer (toneladas, 2021)



Autor:

Álvaro Merino (2023)

Fuente:

World Nuclear Association (2022)





Mina de Urano
Abandonada,
Salamanca,
Castilla y León,
España



Ranger Mine,
Northern Territory,
Australia



Proceso de la Minería de Uranio



Torta Amarilla

(U_3O_8)

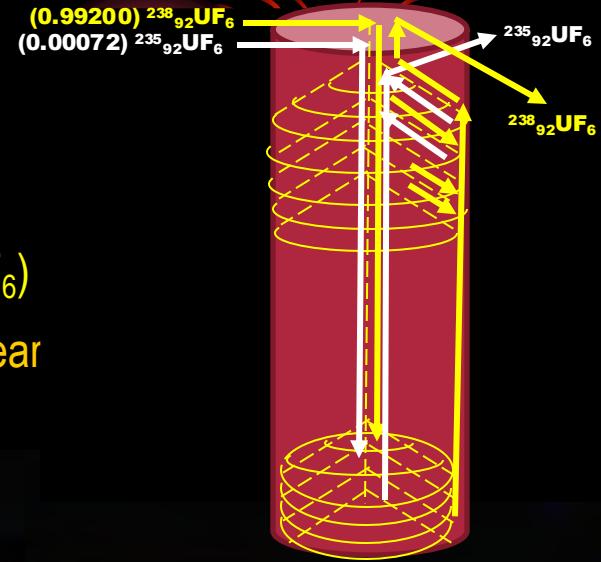
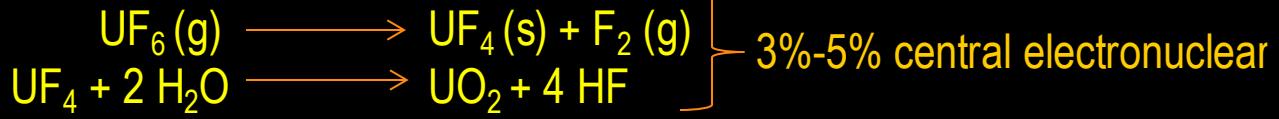


Planta de Enriquecer Urano

(40,000 centrifugas para el enriquecimiento)

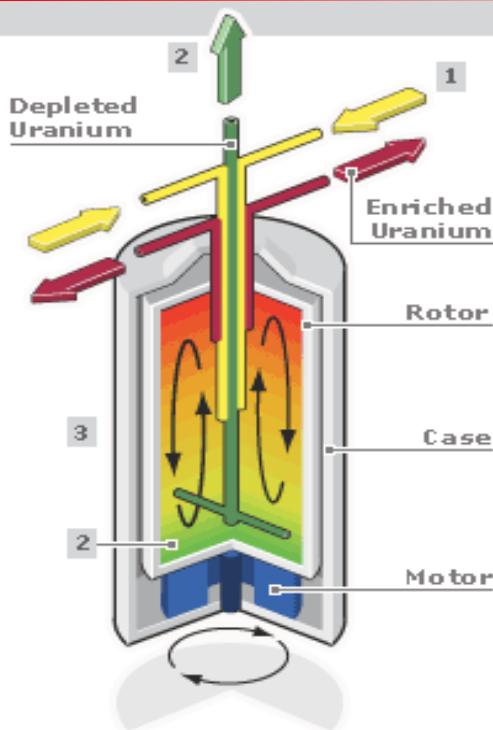


(0.852% diferencia en densidades e iguales propiedades químicas-UF₆)





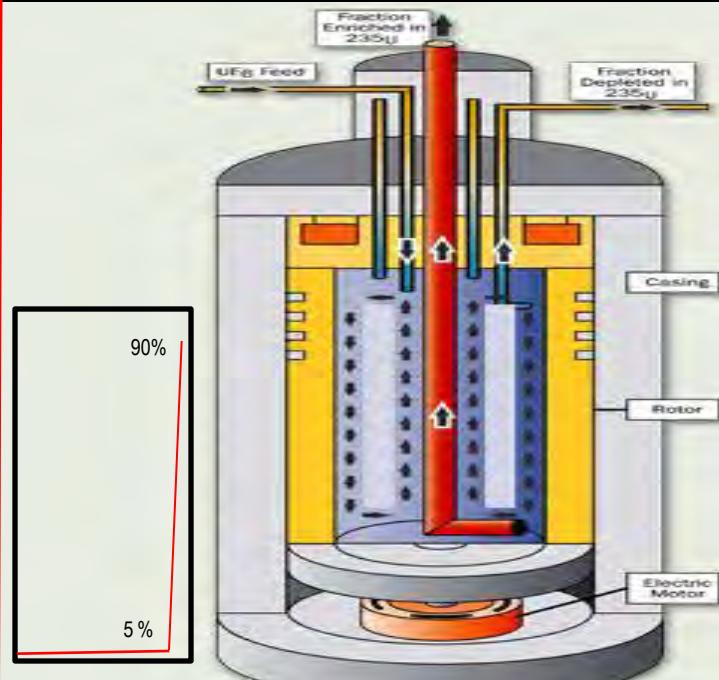
GAS CENTRIFUGE



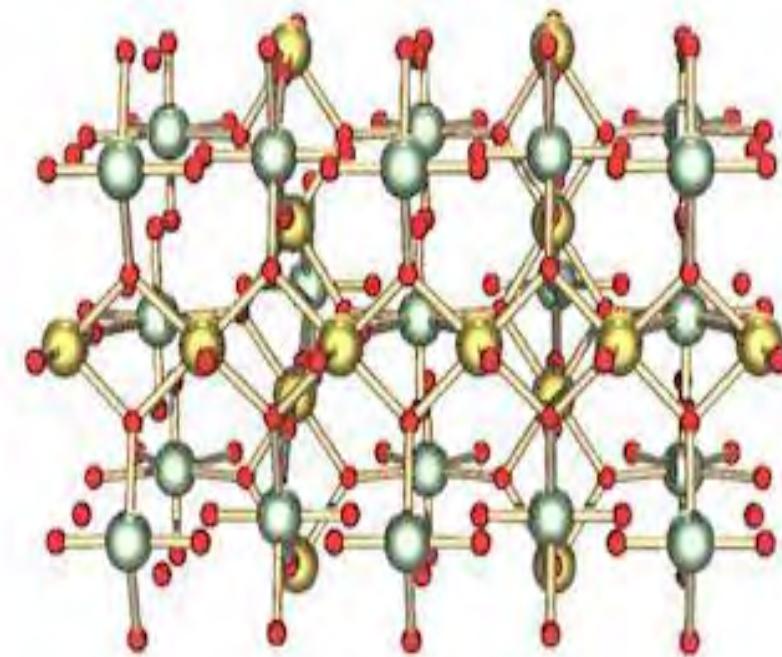
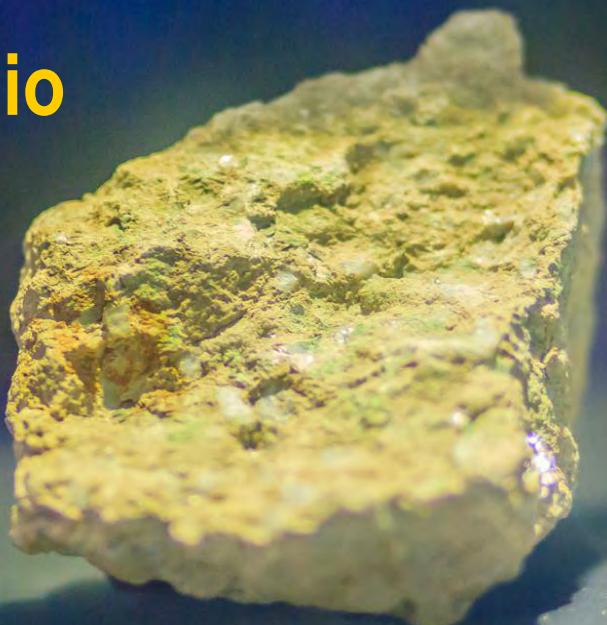
1. Uranium converted into a gas, fed into the centrifuge and spun at very high speeds.
2. Gradually, the more massive uranium atoms will move towards the wall of the centrifuge and can be taken off.
3. The process is repeated many times. Over time, the ratio of lighter uranium to heavier uranium increases, a process called enrichment.

Most of the world's reactors use fuel that contains at least 3% of these lighter atoms. For use in a bomb, the uranium must be more than 90% enriched..

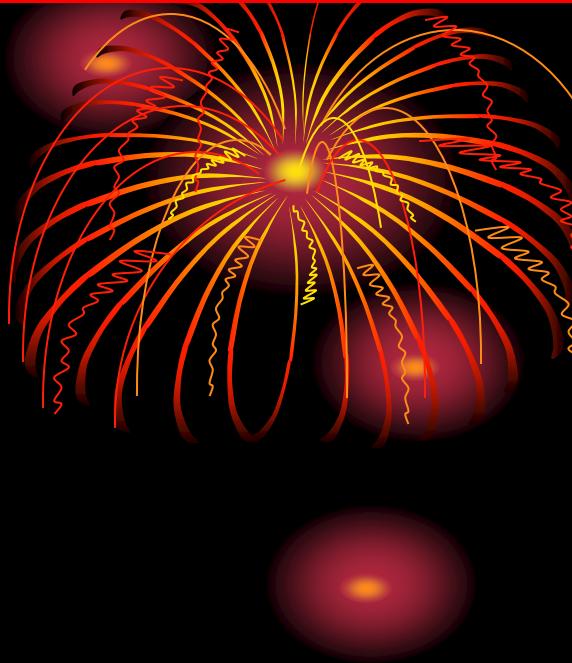
Llegar de 0.072% a 5% es bien difícil; de 5% a 90% es fácil.



Uranio



Torio
($^{232}_{90}\text{Th}$)



Ventajas del Torio vs. Urano



- 1- Torio es cuatro veces más abundante,
- 2- Su minería es por mucho más limpia, simple y menos costosa.
- 3- No hay que enriquecerlo.
- 4- Su núcleo procesado puede generar mil veces más energía térmica por similar unidad de masa.
- 5- El kg cuesta mucho menos.
- 6- Su mercado es más estable y abunda en países políticamente estables.
- 7- Su manejo es mucho más seguro, menos peligroso y es mucho menos radioactivo.
- 8- Su $t_{1/2}$ del 87% de sus residuos nucleares es de 8 años, el restante 300 o menos; los de U es 6+k.
- 9- La generación de desperdicios nucleares por similar unidad de masa fisionada es menos de una décima parte que la del Urano por similar unidad de generación eléctrica.
- 10- Se requiere una inversión capital mucho menor a la de una central electronuclear G-II o G-III, o a la de una termoeléctrica de igual capacidad.
- 11- O & M es la mitad a la de una de una termoeléctrica o electronuclear de similar capacidad.
- 12- Puede producir electricidad a nivel del despacho a un costo menor a los \$ 0.08 por kWh.
- 13- Al no producir Plutonio ($^{234}_{94}\text{Pt}$) no tiene los riesgos de armamentismo que las centrales de U *.
- 14- Abunda en Canadá, EE.UU. y Méjico; gobiernos políticamente estables y cercanos.

(*) El $^{233}_{92}\text{U}$ que produce por un reactor de Torio se puede fisionar para propósitos bélicos, pero la cantidad generada es muy pocas al compararla con la que se generan en un reactor de $^{238}_{92}\text{U}$, por lo tanto, lo convierten en económicamente interactivo para ese uso.

Combustible Nuclear Virgen Necesario Para Producir un GWe Neto

THORIUM



1 tonne

URANIUM

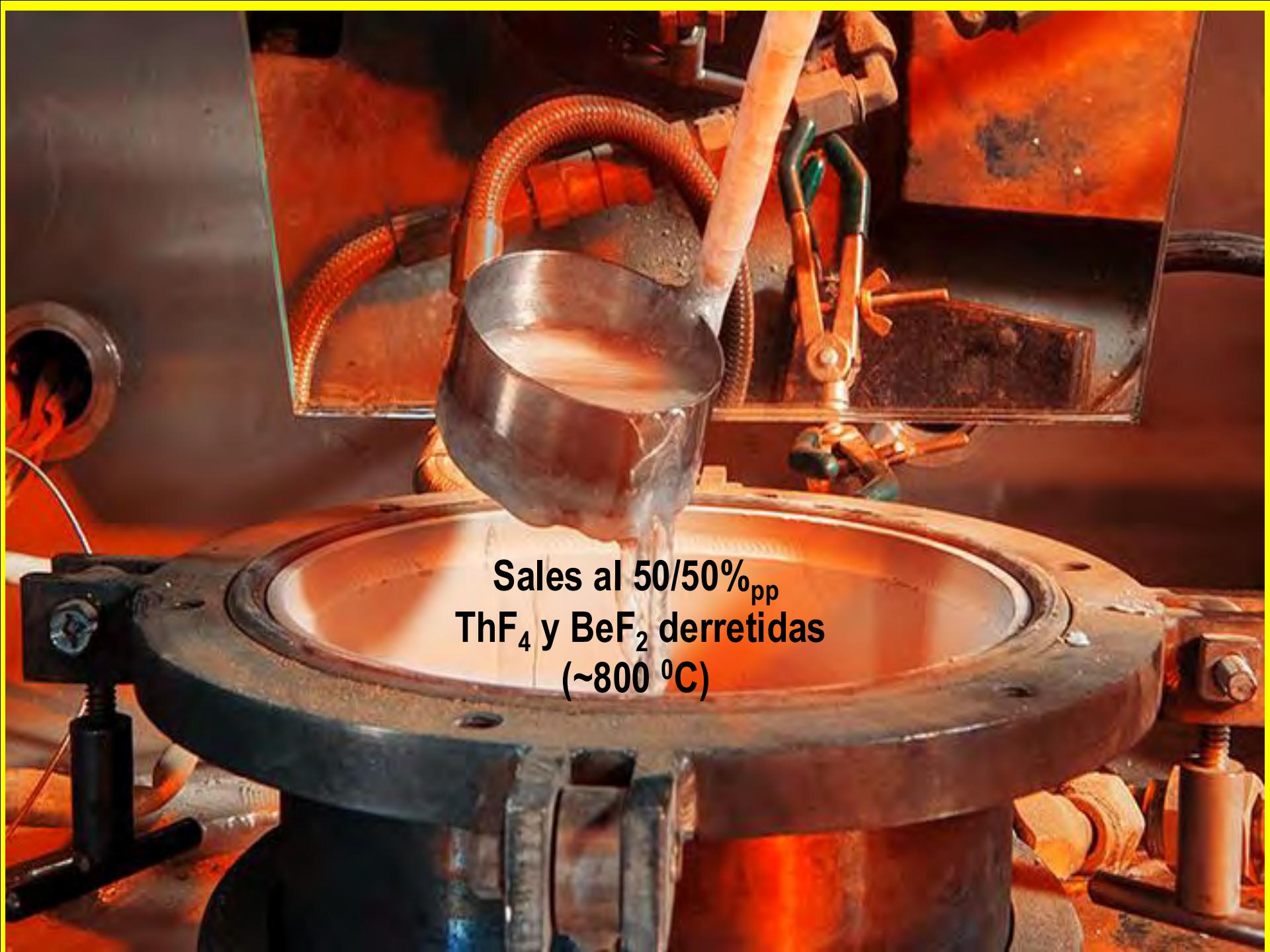


200 tonnes

COAL



3,500,000 tonnes



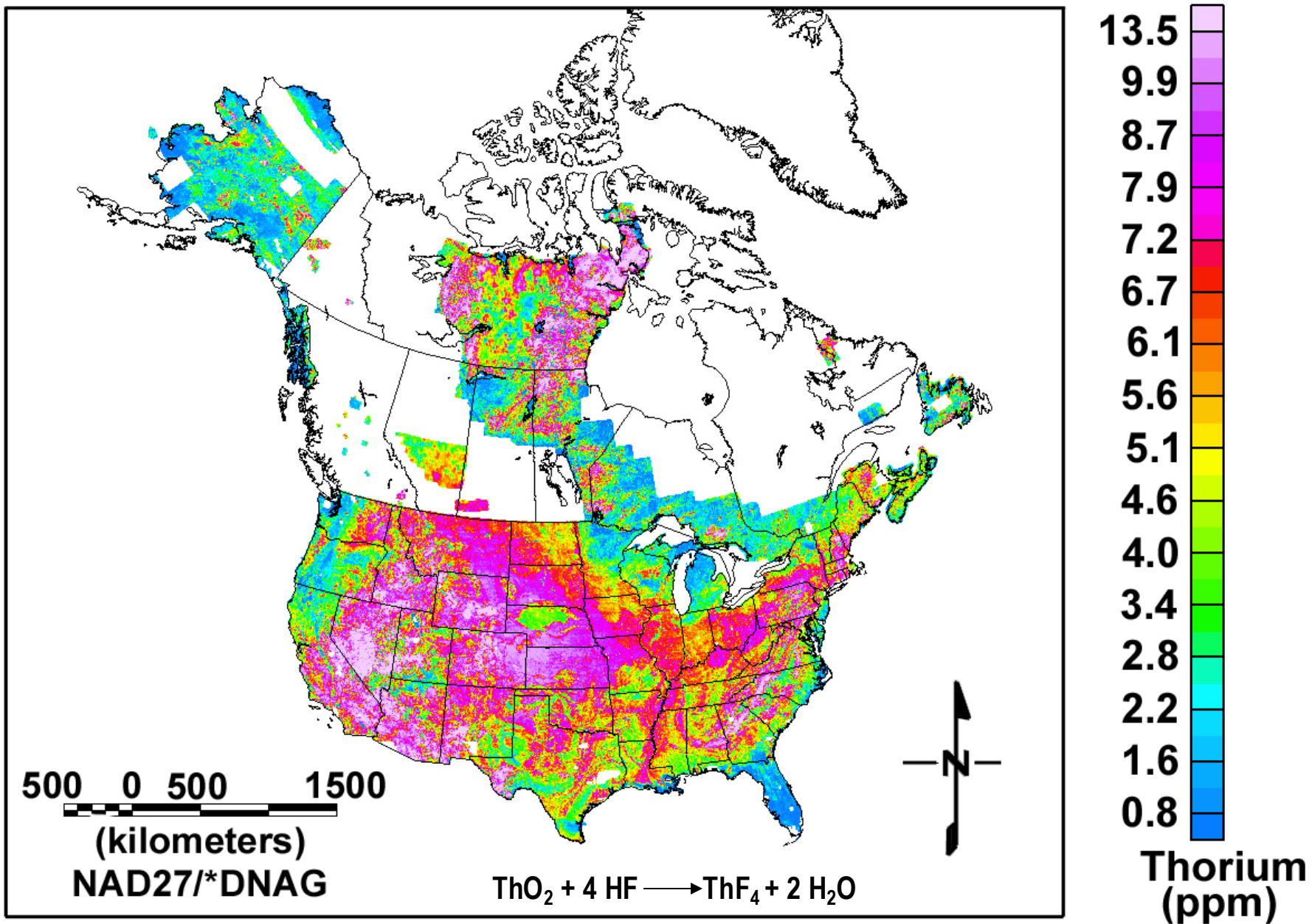
Sales al 50/50%_{pp}
ThF₄ y BeF₂ derretidas
(~800 °C)

Estimated world thorium resources¹

Country	Tonnes
India	846,000
Brazil	632,000
Australia	595,000
USA	595,000
Egypt	380,000
Turkey	374,000
Venezuela	300,000
Canada	172,000
Russia	155,000
South Africa	148,000
China	100,000
Norway	87,000
Greenland	86,000
Finland	60,000
Sweden	50,000
Kazakhstan	50,000
Other countries	1,725,000
World total	6,355,000

(1) Administración Internacional de Energía Atómica (IAEA)

Thorium Concentrations



Three basic options for fission

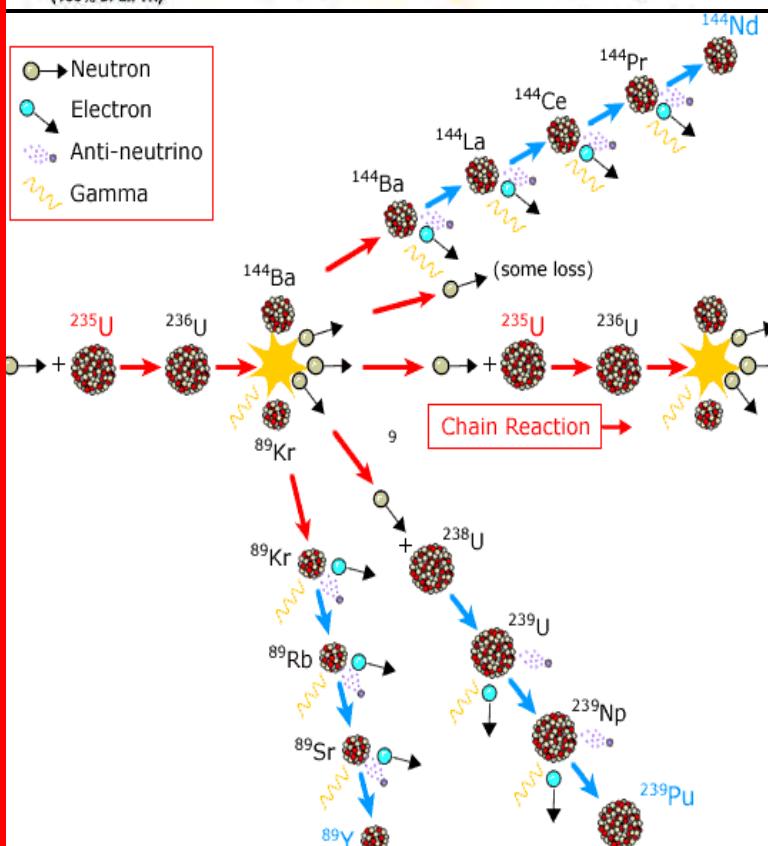


The fission of U-235 was discovered by Otto Hahn and Lise Meitner in 1938.

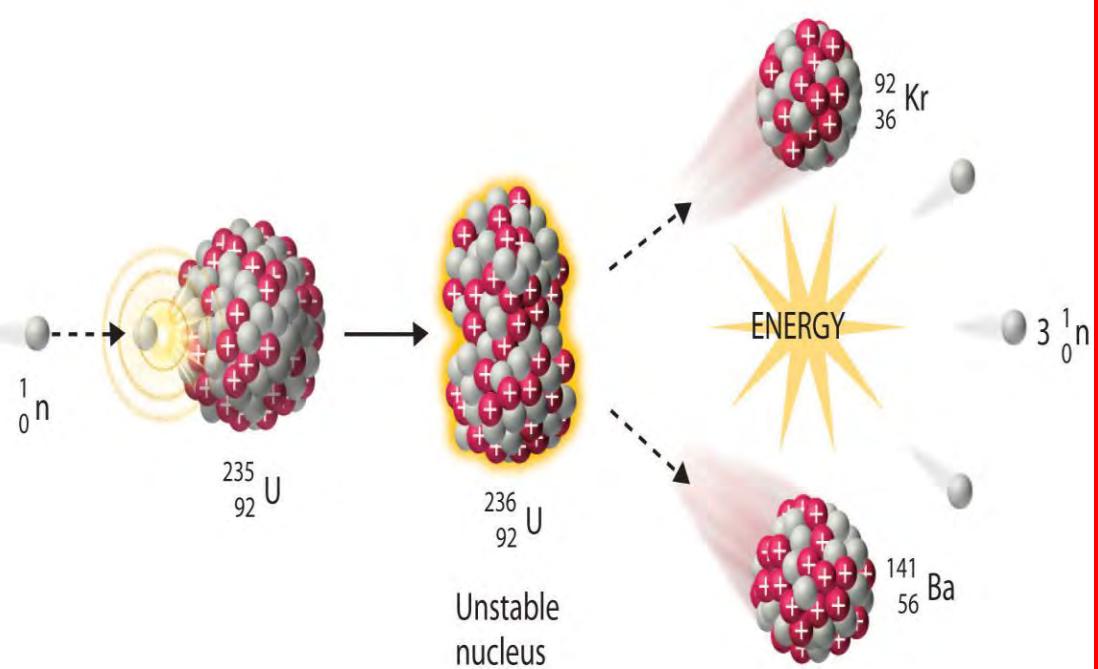
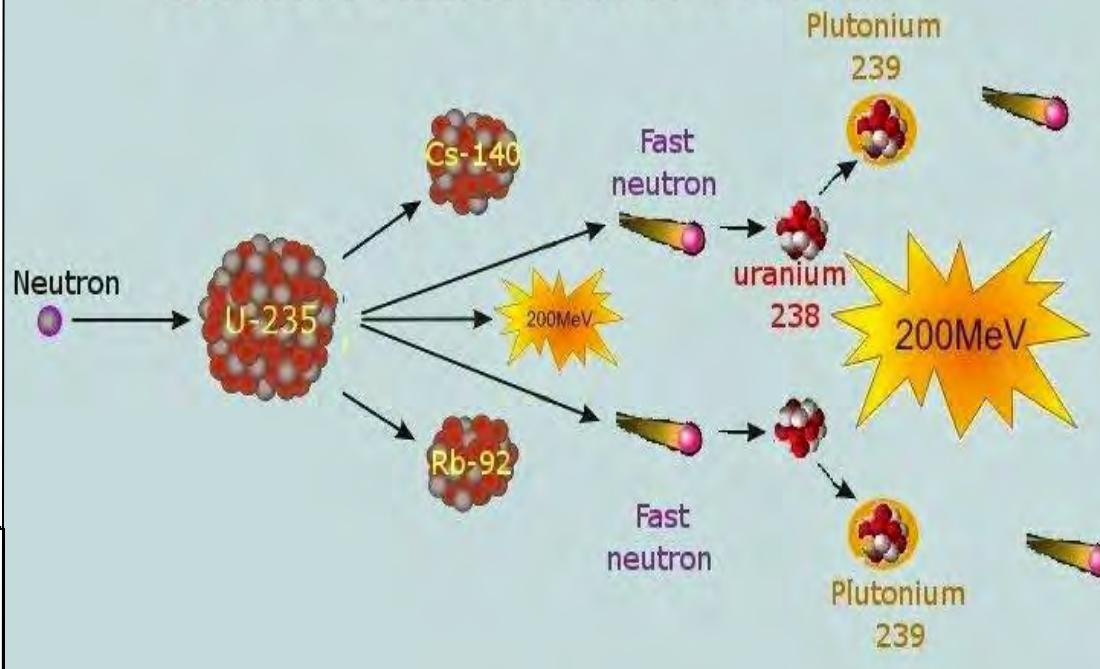
Pu-239 as a fissile fuel was discovered by Glenn Seaborg in March 1941.

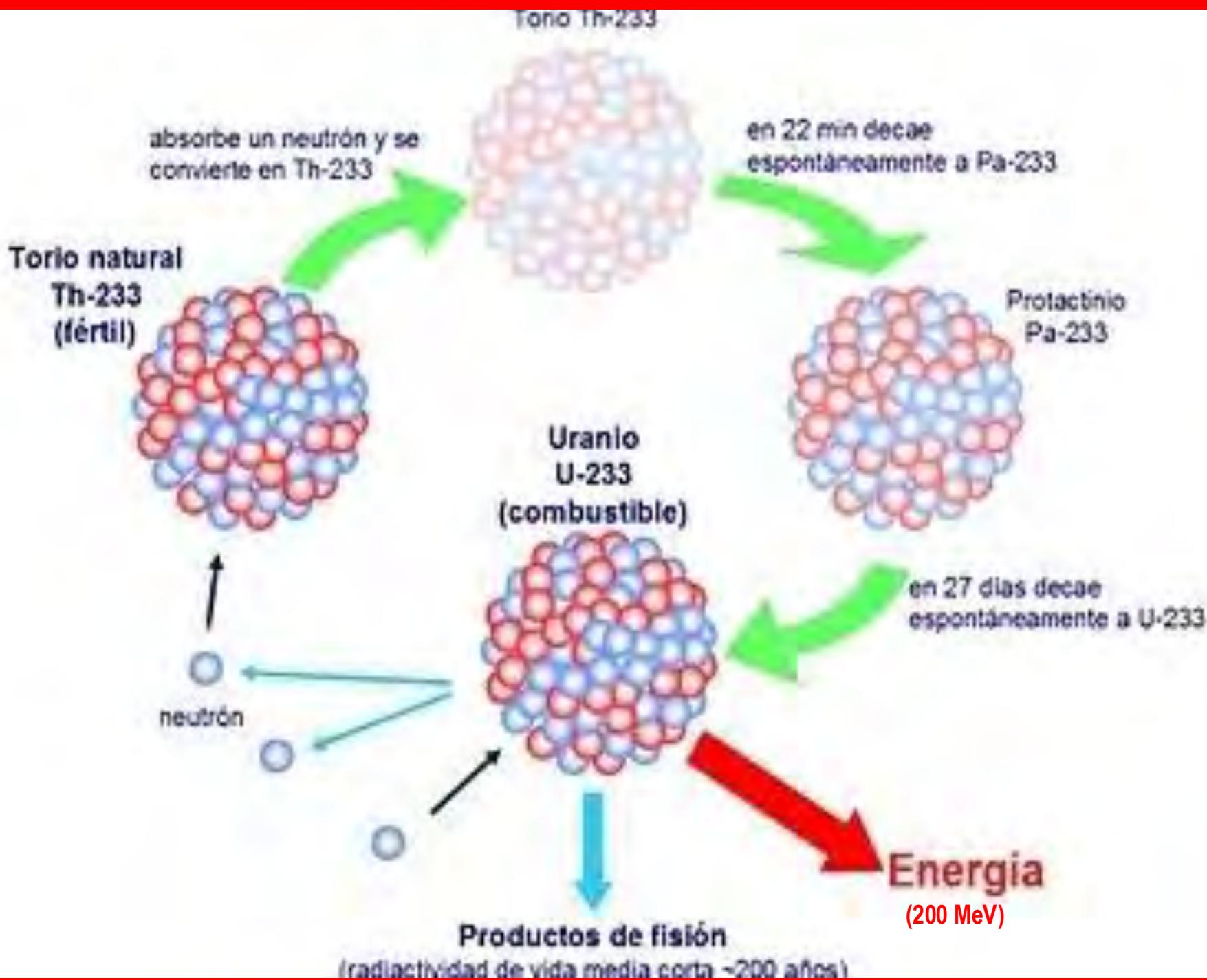
U-233 as a fissile fuel was discovered by Seaborg's student John Gofman in February 1942.

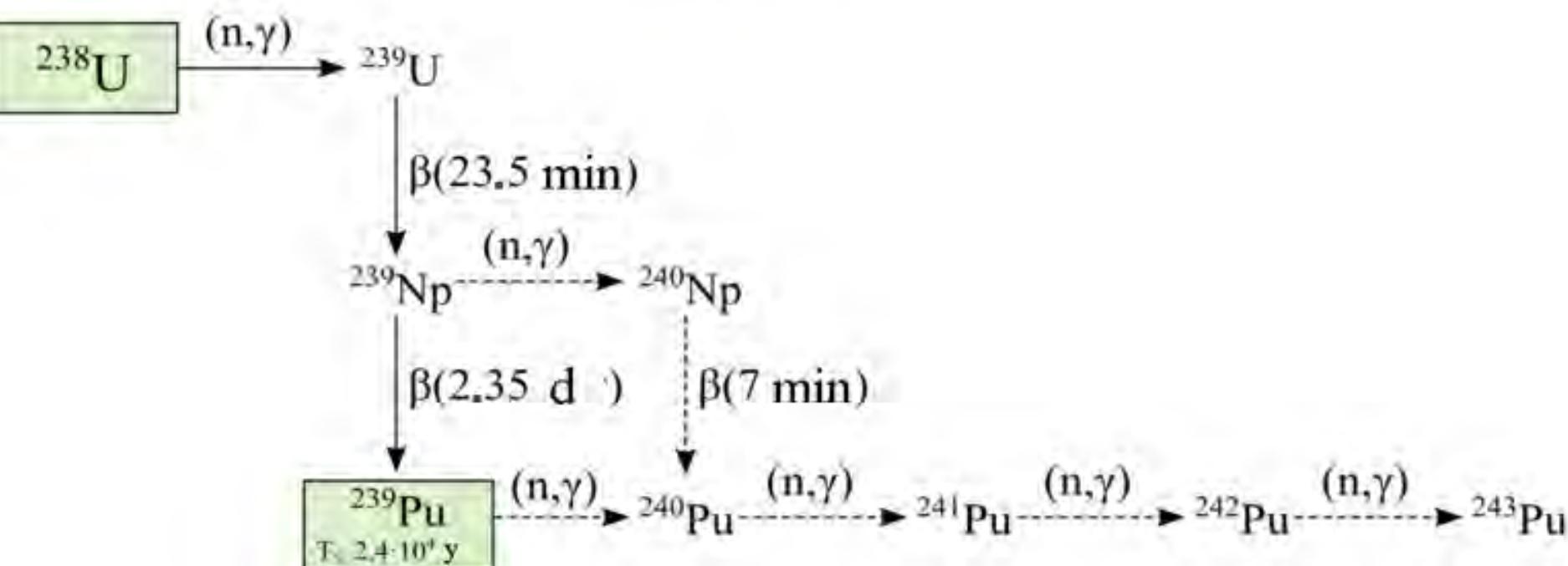
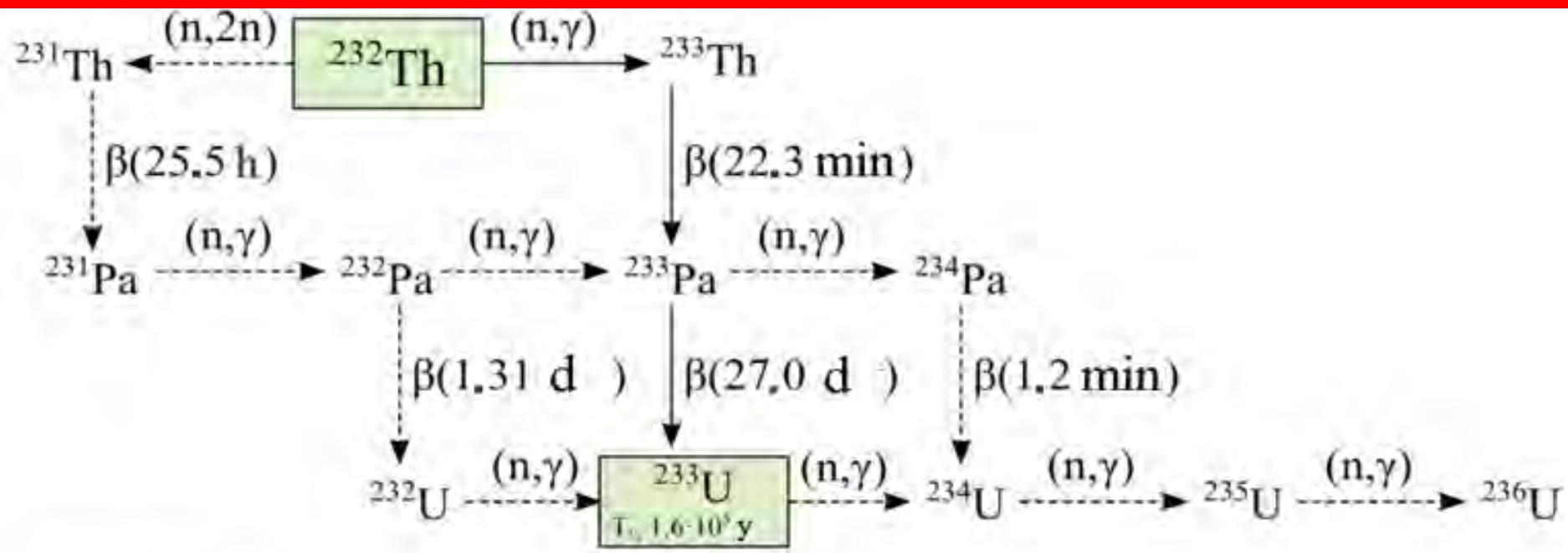
- → Neutron
- → Electron
- → Anti-neutrino
- → Gamma



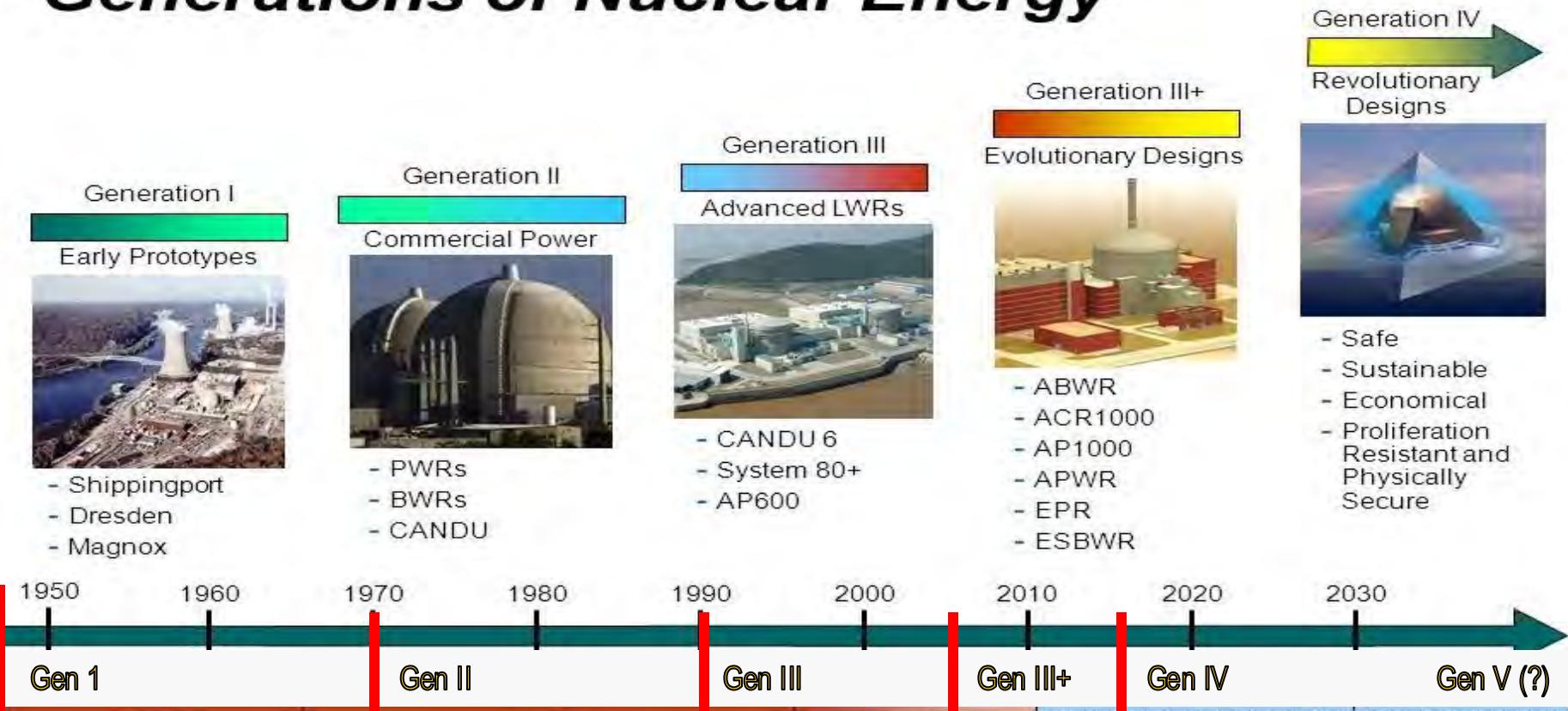
Uranium Fission Chain Reaction







Generations of Nuclear Energy



1- EBR (Experimental Breeder Rx)	1- LWR (Light Water Rx)	1- ABR (Advanced B Rx)	1- ABWR; VVER	1- SMSR (Small Molten S Rx)
2- BWR (Boiling Water Rx)	2- PWR (Presurized Water Rx)	2- ALWR (Adv. LW Rx)	2- GE - 1000	2- LIFTR (LiF-ThF ₄ - Rx)
Aqua Ref. y Grafito (moderar ^{0,1} n)	3- CANDU (C Nuclear DH0 Units)	3- Sistema GE 80+	3- Westingh. M6	3- Rubbiatrón (Espalización)
3- BONUS (16.5 MW) – PR (1962)	(HDO/D ₂ O Moderador y Ref.)	4- AP600 Westinghouse	4- Academia Lomonosov	4- Pebbles Grafite G Reactor (PBMR)
(Boiling Nuclear Superheater)	4- VVER (1200,1500,1700 MW)	5- CANDU 6 (D ₂ O)		5- MOSART Fuel Circuit (Barcasas)
	(Versión Supercrítica Doble)			(Viktor Ignatiev - Ruso)
	5- RBMK (Doble lazo de Refrigerado)			Molten Salt Acitnoid
	(Reactor Bolshoy Moshchnosty Kanalny)			Agua Presurizada, Canales de Grafito M(U)
				Recoveree & Transmuter

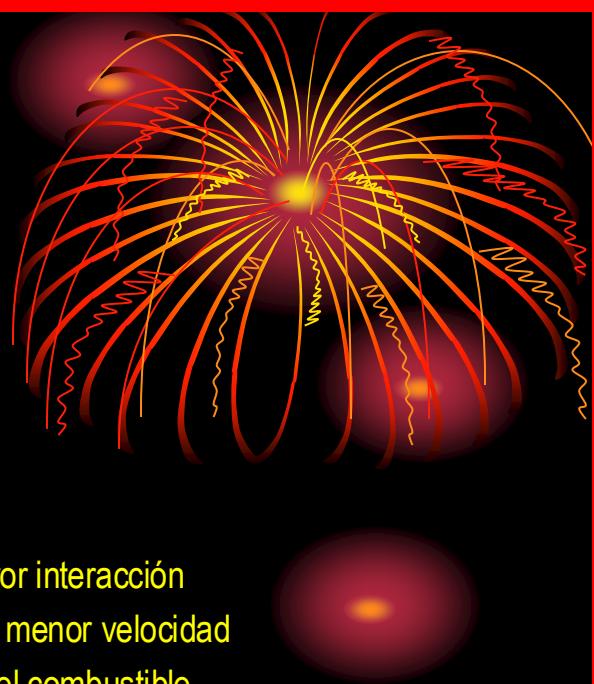
NOTE:

The term G-IV refers to reactor technologies under development as of approximately 2000, and whose designs intended to represent the future shape of nuclear energy. The 6 designs selected are: gas-cooled fast RX (GFR), the lead-cooled fast rx (LFR), the molten salt RX (MSR), the sodium-cooled fast RX (SFR), the supercritical-water-cooled RX (SCWR and the very high-temperature reactor (VHTR).

6- *Microcentrales electronucleares modulares asistidos de Torio (²³³₉₀U) (50 MVe a ~250 MVe)*

Componentes Básicos de Reactores de Fisión

(GII, GIII y GIII+)



1- Combustible - $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pt}$, $^{232}_{90}\text{Th}$ ($^{233}_{92}\text{U}$) o MOX

El reactor de $^{235}_{92}\text{U}$ requiere que se enriquezca por lo menos de 3% a 5%; proporción en la Uranita es 0.72%.

Una bomba de fisión nuclear hay que enriquecer sobre 90% mediante centrifugación gasificada.

(1 kg de $^{235}_{92}\text{U}$ @ 90% p/p requiere 40+k centrifugas).

2- Moderador - Agua ligera, agua pesada, grafito, sodio metálico;

frenan los neutrones producidos por la fusión para que tengan mayor interacción con otros átomos fisionables y sostengan la reacción en cadena. A menor velocidad de neutrones, mayor probabilidad de colisionar y fisionar núcleos del combustible.

3- Refrigerante - Agua ligera, agua pesada, anhídrido carbónico, Helio o Sodio metálico;

conducen la energía térmica hasta un intercambiador de calor que luego transfiere energía a través de un fluido térmico de uno o dos lazos (loops) alimentando un impulsor (impelente) o a un generador o a una turbina electromecánica.

4- Reflector - Agua ligera, agua pesada, grafito, uranio; reduce el escape de neutrones, optimiza la eficiencia y crea mayor probabilidad de colisiones de fisión.

5- Blindaje - Domo de Hormigón, plomo, acero, agua ligera, agua pesada;

evita fuga de neutrones (${}_0^1\text{n}$) de alta energía y contienen radiación gamma.

6- Control de Rx - Cadmio o Boro; absorben neutrones y detienen la reacción en cadena. se usan en barras o como partículas disueltas en el refrigerante; desacelera o acelera la fisión a voluntad del operador.

7- Seguridad - Los reactores nucleares se proveen de múltiples sistemas activos de protección que responden a señales electrónicas, alámbricas o inalámbricas, más otros sistemas pasivos que dependen de la aceleración que genera la fuerza de gravedad o por convección natural ("Normaly Cold").

Reactores nucleares en el mundo

Activos

En construcción



*Salvo Japón

**16 activos o con aprobación para operar

20 en revisión

Fuente: OIEA – Reactores nucleares en el mundo 2020/

METI/Agencia japonesa de Recursos naturales y Energía 2021

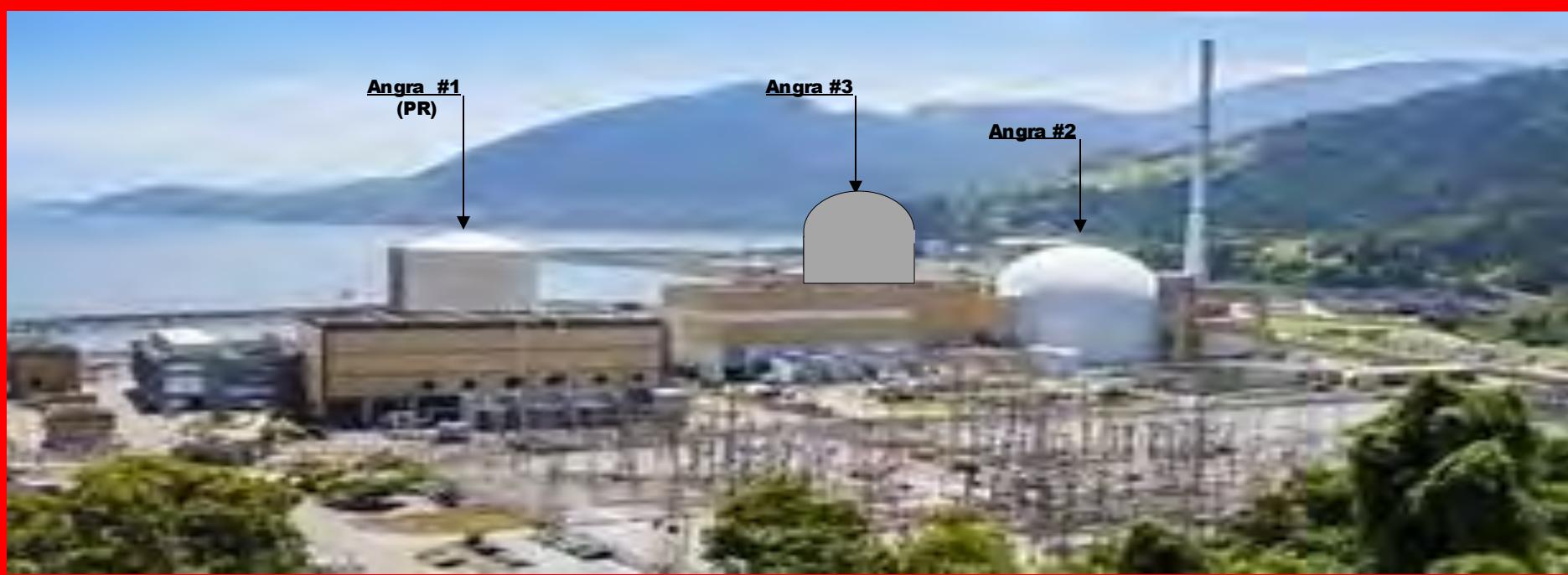
Unit	Type	Design	Power	Beg. of operation
Angra 1	PWR	Westinghouse	657 MW	1982
Angra 2	PWR	Siemens	1,350 MW	2000



Source: www.eletrownuclear.gov.br



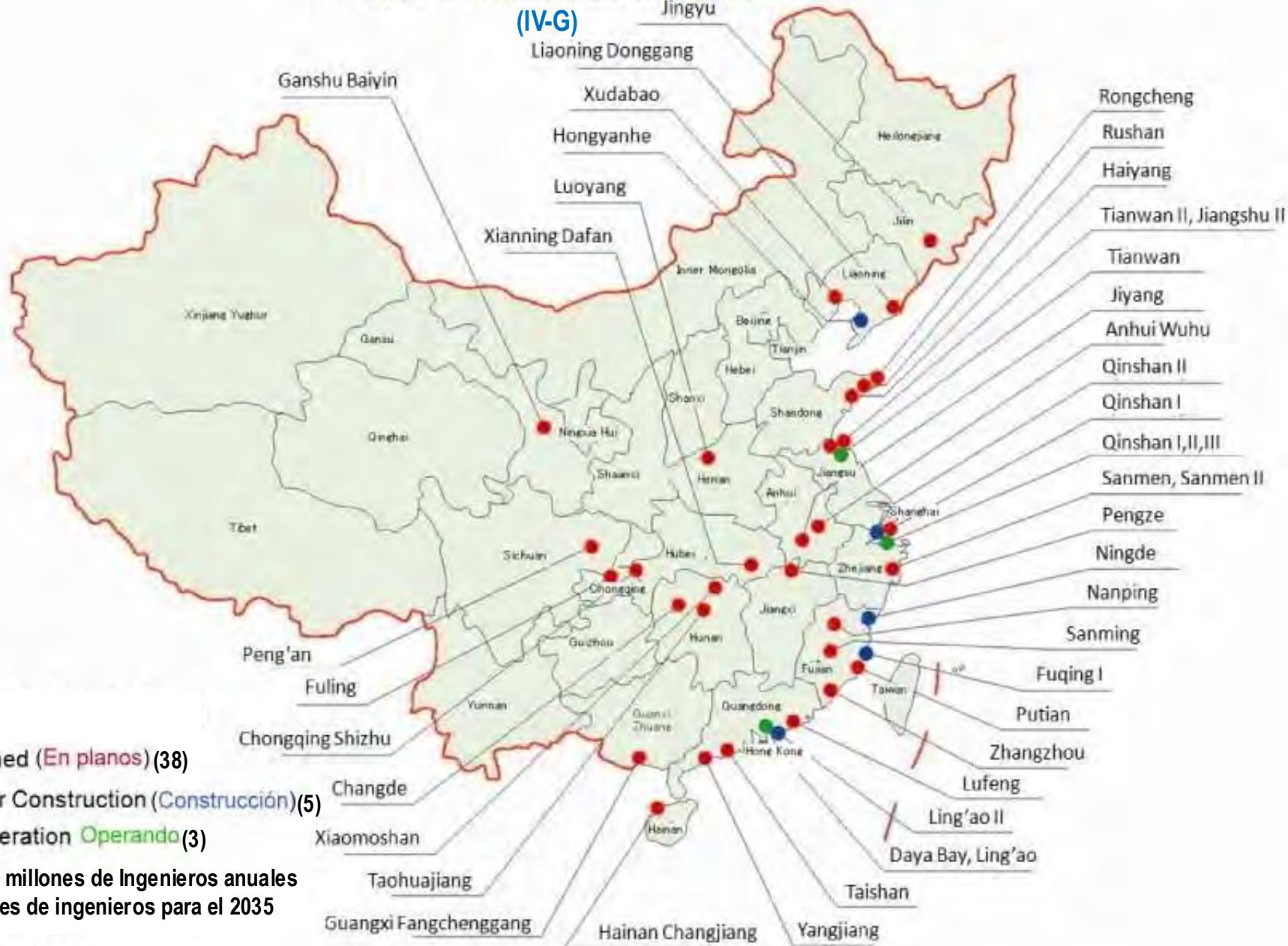
Source: www.osti.gov



Sites of Nuclear Power Plants in China

Plantas Nucleares en China

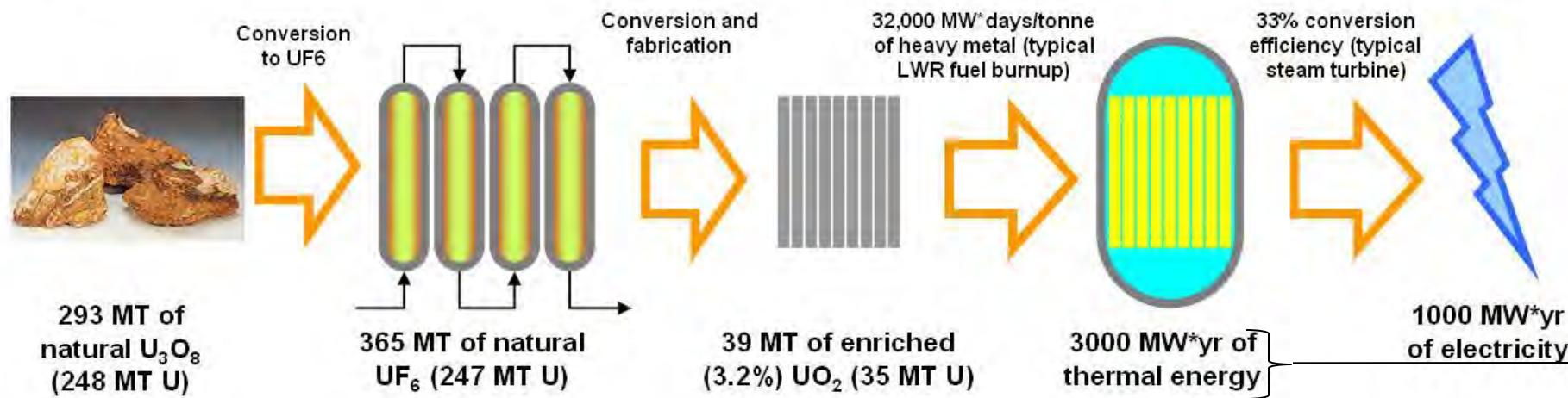
(IV-G)



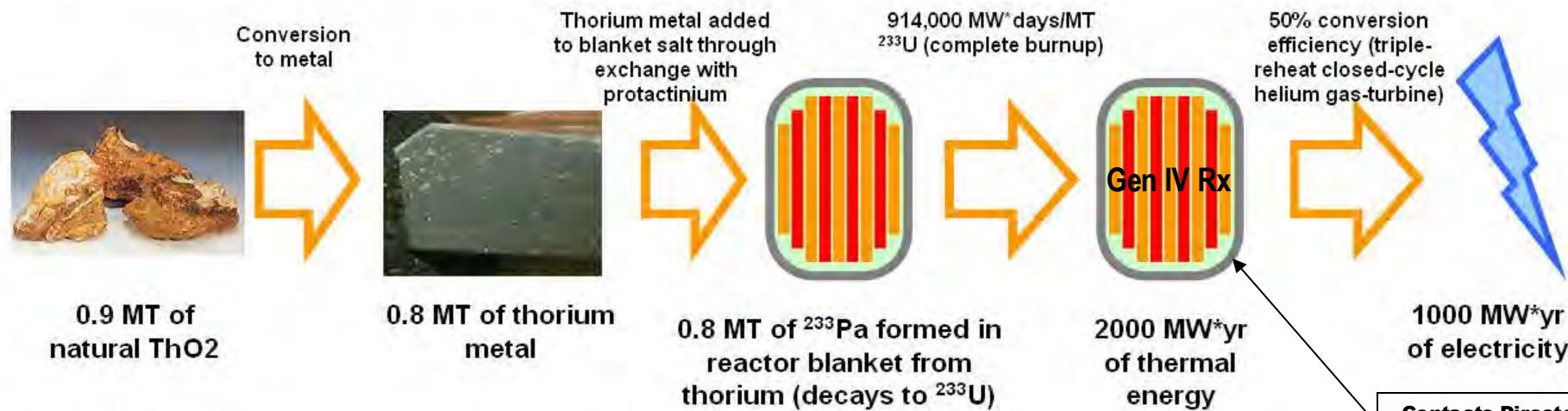
Energy Extraction Comparison



Uranium-fueled light-water reactor: 35 GW*hr/MT of natural uranium

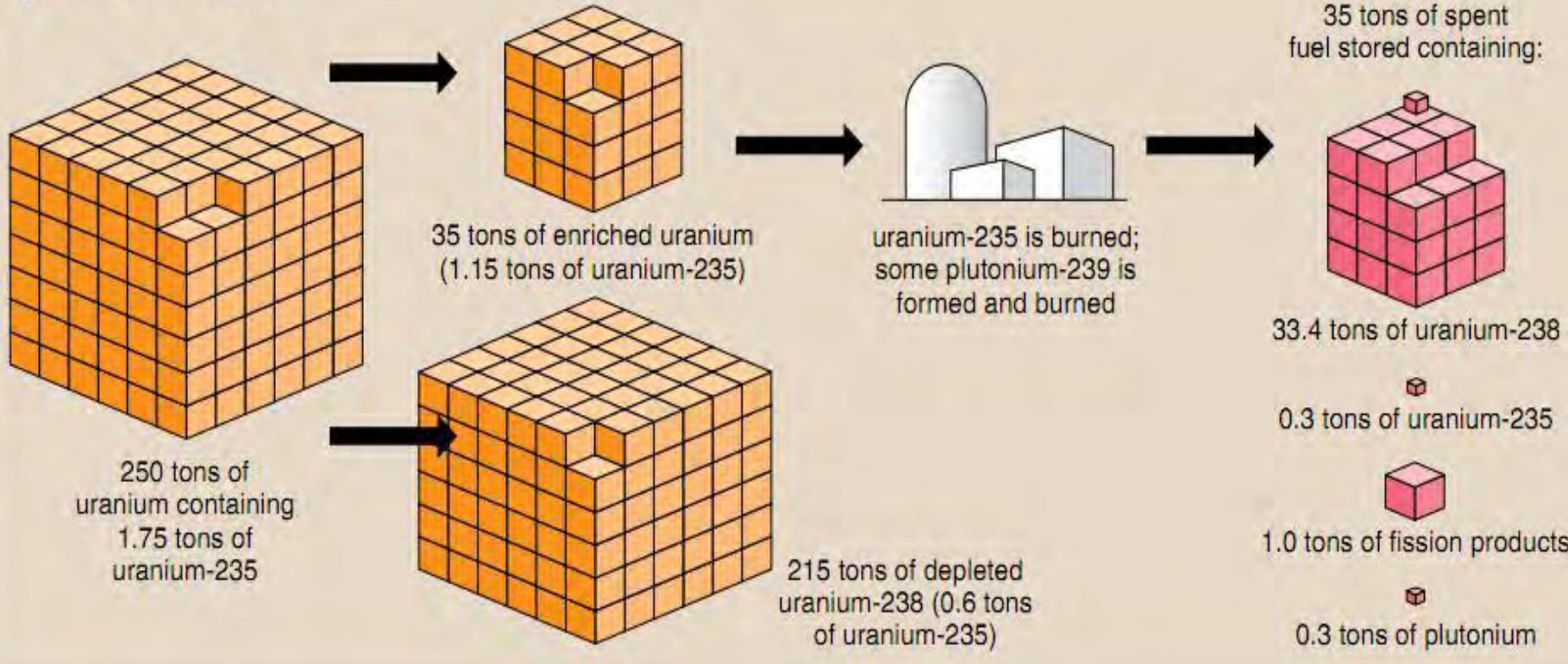


Thorium-fueled liquid-fluoride reactor: 11,000 GW*hr/MT of natural thorium

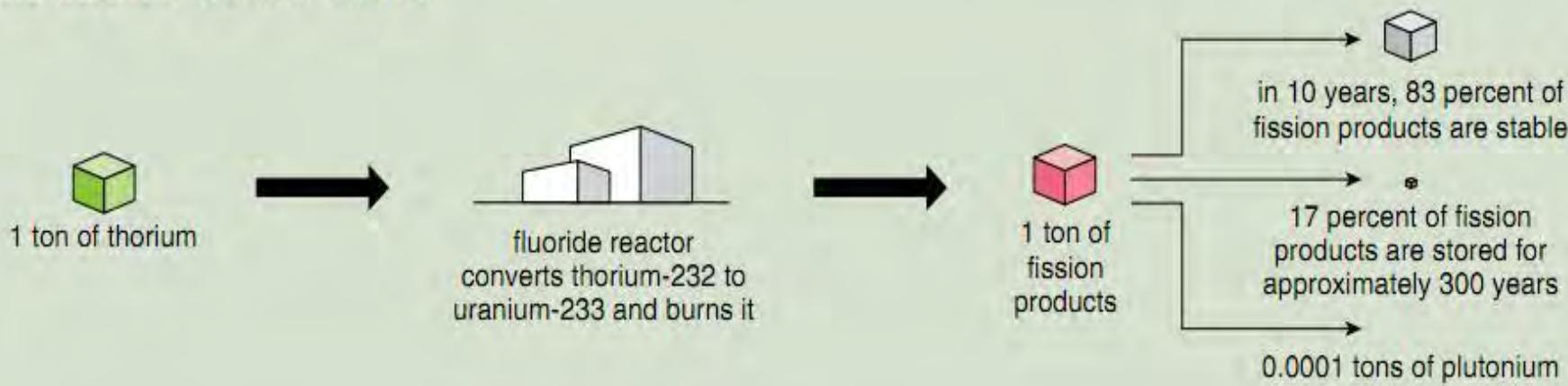


Contacto Directo
(RF₁ y RF₂)

light water reactor



liquid fluoride thorium reactor



Costo Comparativo de Generación de Energía Eléctrica

Uranio vs. Torio en Centrales Electronucleares IV-G

Consumo de PR ~ $(3.0 \times 10^9 \text{ V/hr})(8.76 \times 10^3 \text{ hr/año}) = \sim 26.7 \times 10^{12} \text{ V/año}$



$$E (J^1) = mc^2 ; ; m = E/c^2$$

$$E = (26.7 \times 10^{12} \text{ V/año})(3.6 \times 10^3 \text{ J}^1/(\text{V/hr})(8,760 \text{ hr/año}) = 8.4^{20} \text{ J /año} = 8.4^{20} \text{ kg M}^2/\text{seg}^2 =$$

$$m = E/c^2 = (8.4^{20} \text{ kg M}^2/\text{seg}^2)/(9 \times 10^{16} \text{ M}^2/\text{seg}^2) = 9.3 \times 10^4 \text{ kg} = 93,000 \text{ kg} = 46.5 \text{ T métrica (T}_M)$$

m = Masa Neta de Combustible Nuclear Anual Necesario = 46.5 T_M

m (Uranio) = $46.5 \text{ T}_M /[(.33 \text{ eff.}^2) \times (.33^3) \times (.024^4)] = 17,791 \text{ T}_M$ de U₃O₈ = 941.3 M³

m (Torio) = $46.5 \text{ T}_M /[(.33 \text{ eff.}^2) \times (.33^4)] = 426.9 \text{ T}_M$ ThO₂ = 36.4 M³

Costos;; Uranita Pirofórica = \$ 19,685/Tm x 17,791 Tm = \$ 350,215,835

Torianita = \$ 17,500/ Tm x 426.9 Tm = \$ 747,750

Equivalencia Energética de una T_M de Torio⁵ ; 200 T^M de U;; 3,500,000 T_M de C (AIEA)

(1) Julio = 1 Vatio-segundo = (Newton)(metro) = (kg-Metro/seg²)(Metro)= (kg - M²/seg²)

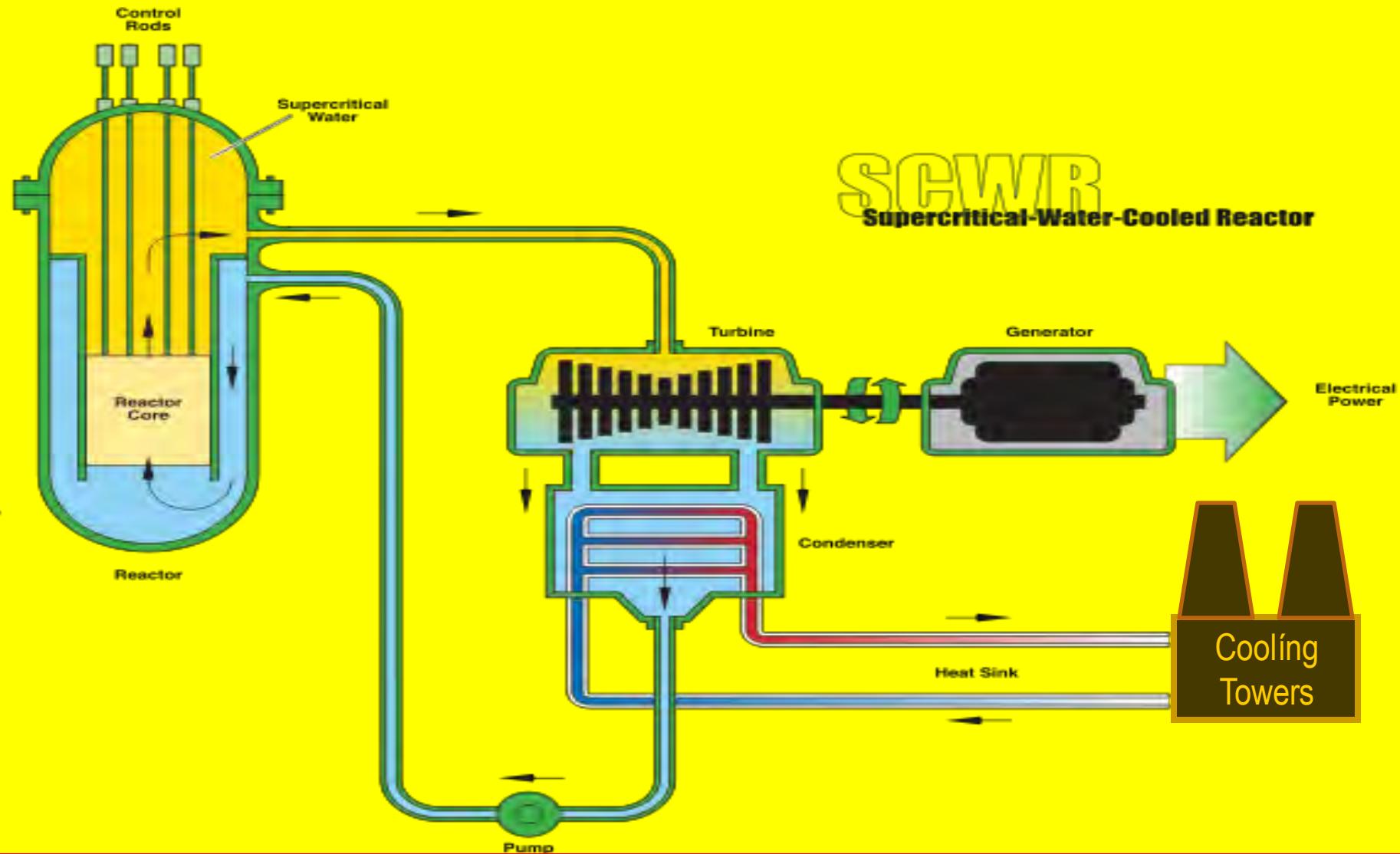
(2) eff. promedio de central electronuclear = 33%

(3) conversión de KV térmico generado con Torio a KV eléctrico = 50%

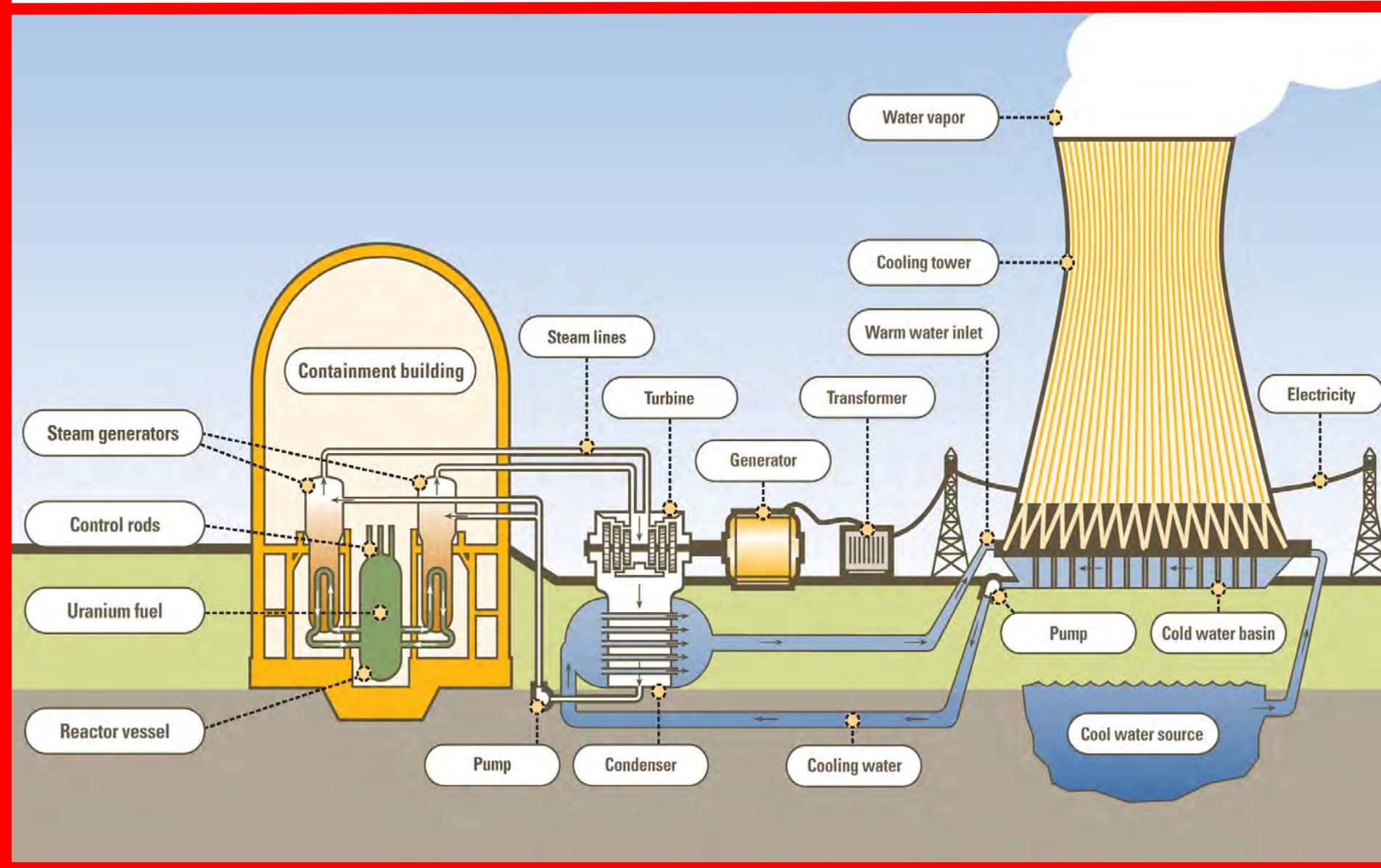
(4) hay que enriquecer desde .072% natural hasta 3.0 % p/p ($0.72/3.00 = .024$)

(5) Al Th no hay que enriquecerlo

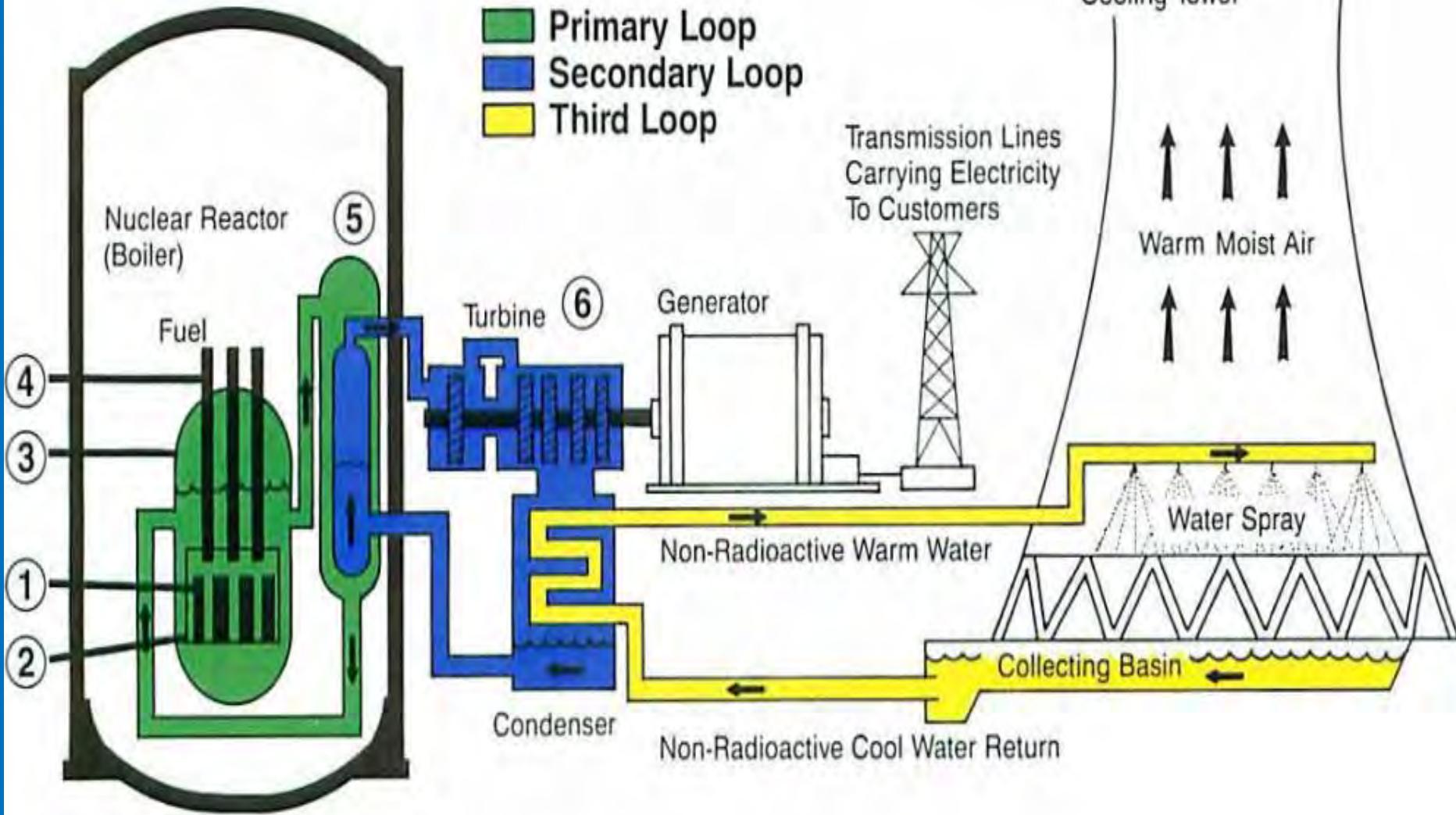
Reactor Prototipo Supercrítico Enfriado por Agua (GII)



Prototipo de Central Electronuclear CANDU de Uranio (GIII)

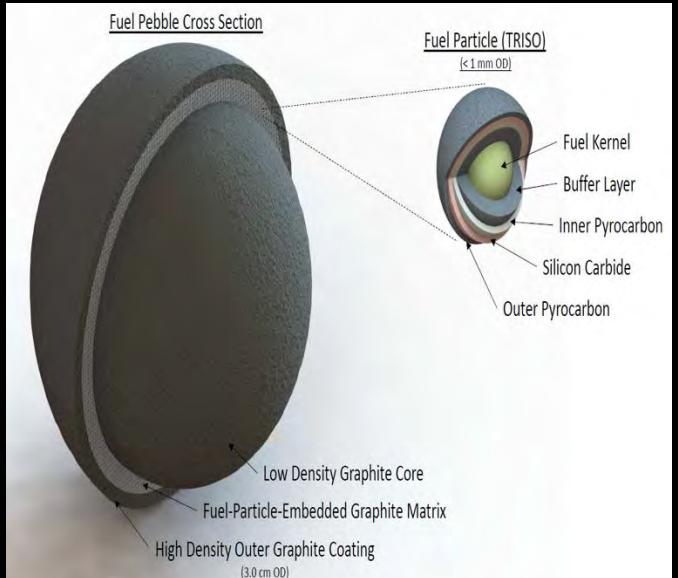
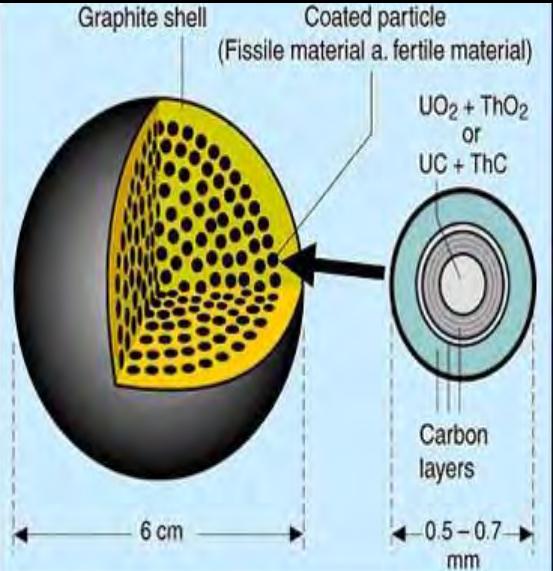
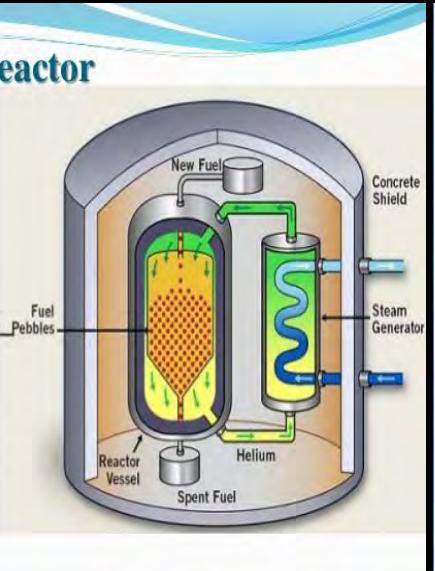


Central Electrónica de Generación G-III y GIII+



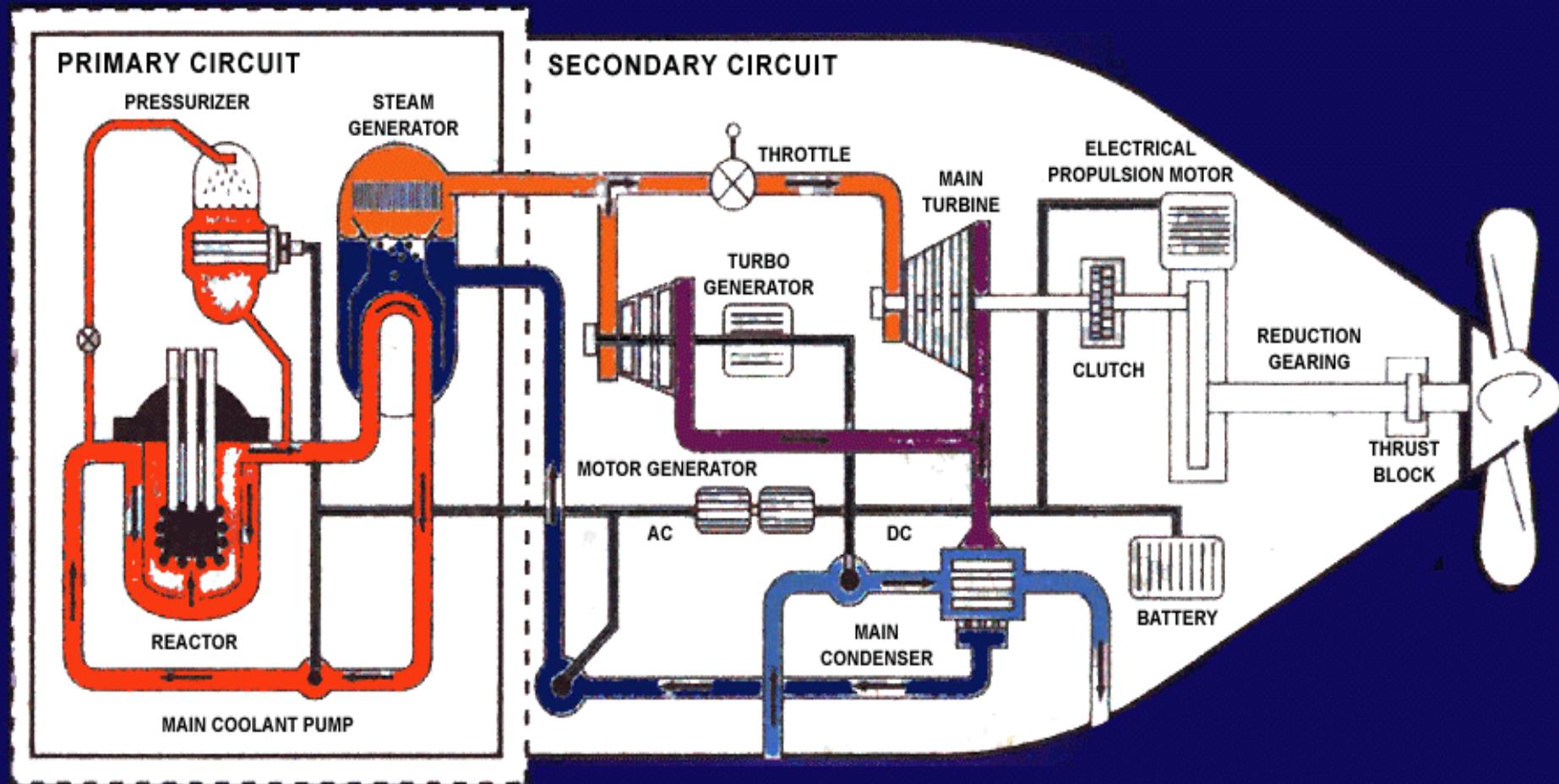
Pebble bed reactor

- Graphite-moderated
- Gas-cooled
- Type of (VHTR)
- Contain about 15000 TRISO particles
- Each has a mass of 210g, of which 9g is uranium



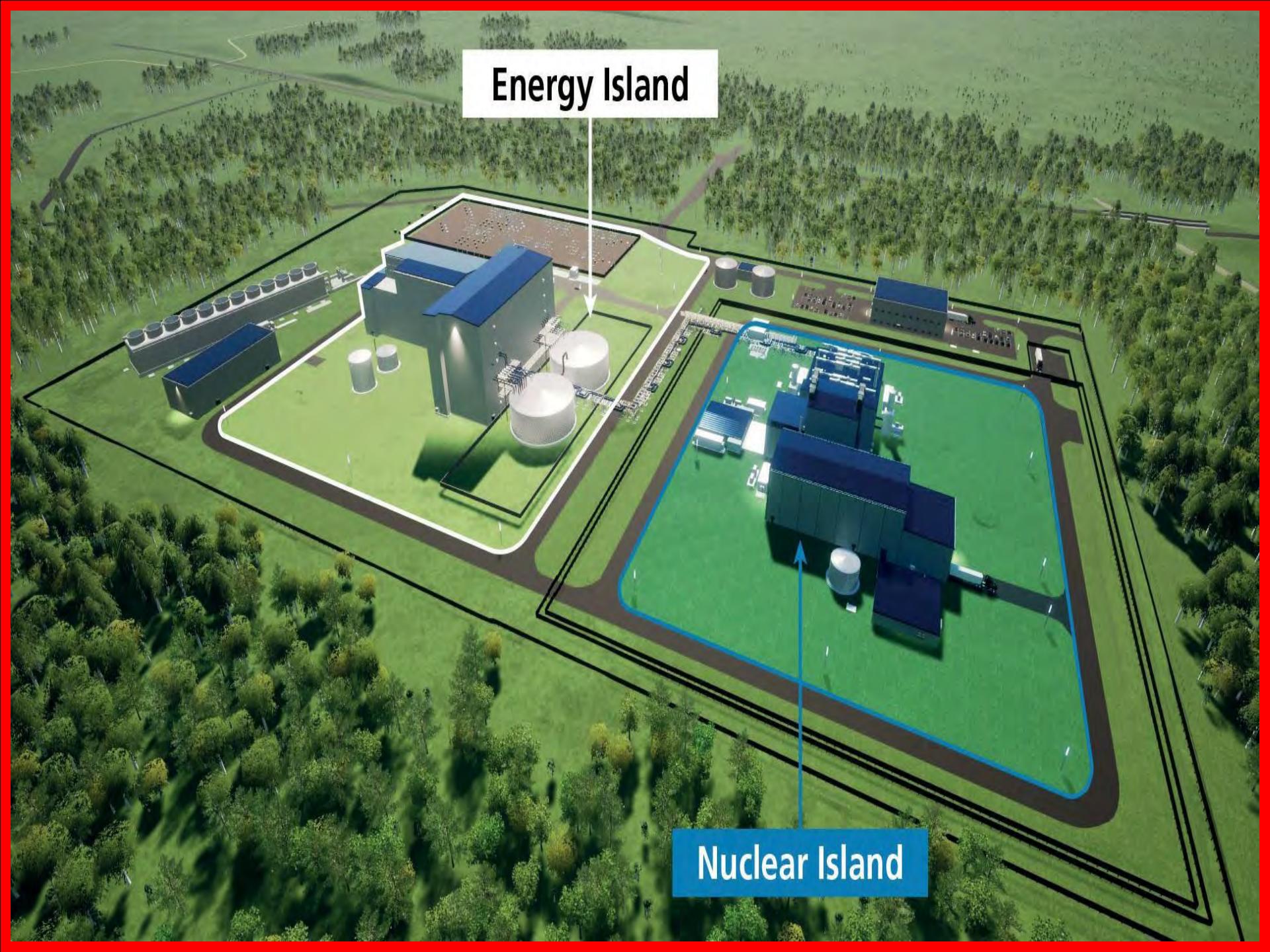
Reactor nuclear (GII) de ^{235}U propulsó al primer submarino prototipo Nautilus (USSN # 571)
Almirante de la Marina EE.UU. Hyman Rickover (1900- 1986) + Ing. Alvin Radkowsky (1915-2022)
El primer viaje de 1,381 millas, se mantuvo sumergido 90 horas a razón de 15 mph (13 nudos) se realizó en mayo de 1955 desde Chesapeake Bay Base, Norfolk, Va., a Roosevelt Road, Ceiba, PR.

REACTOR COMPARTMENT



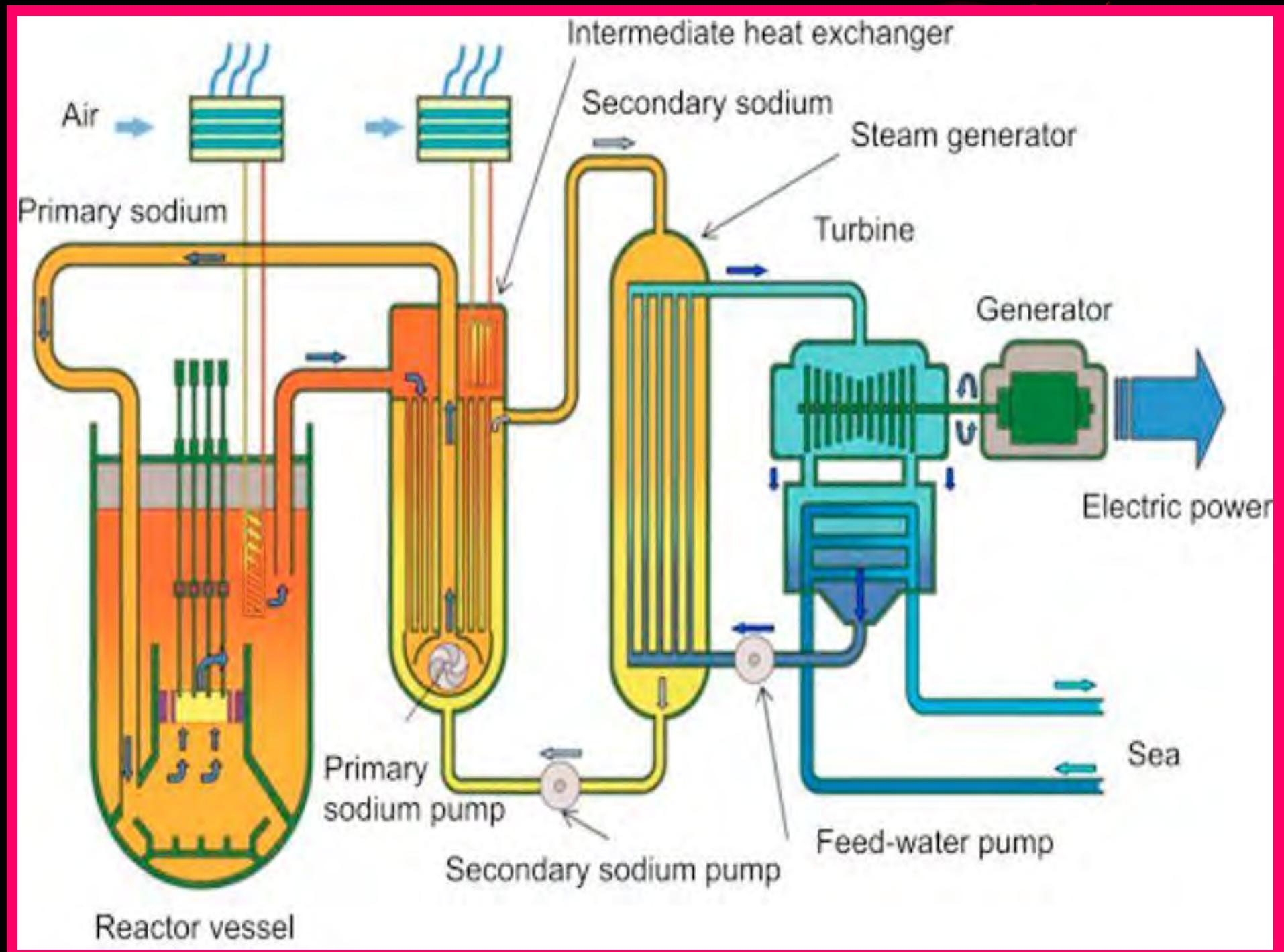
Reactores de Generación IV

“Natrium Nuclear Advanced Power Plant, Kemmerer, Wyoming, EE.UU.
(NATRIUM, TERRAPOWER, HITACHI)+(Pacific Gas & Electric)
Primera licencia en 50 años otorgada en enero de 2025



Energy Island

Nuclear Island



Reactor Building



HITACHI

TerraPower

Reactor Aux. Building

Reactor Building

Fuel Handling Building

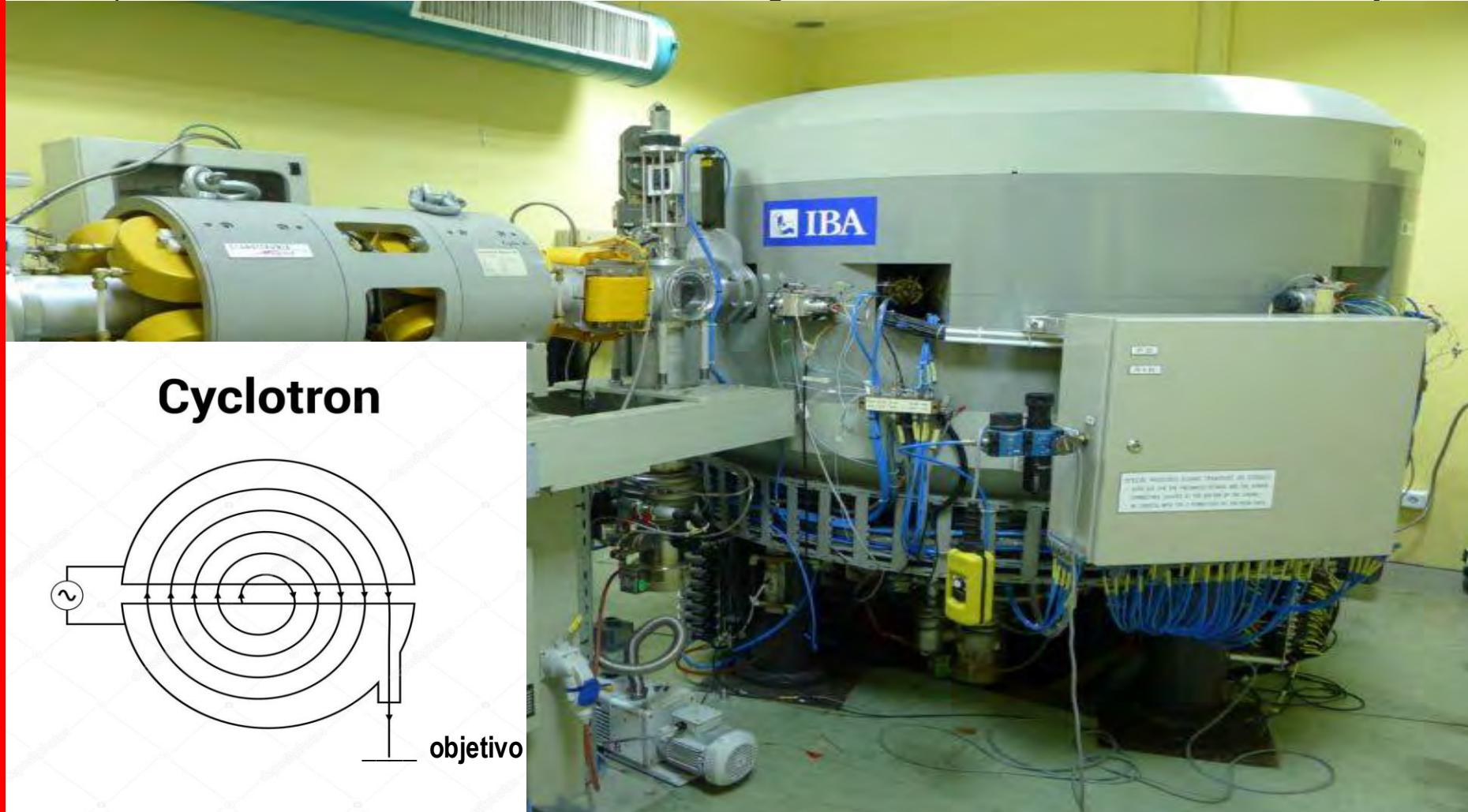


RVACS: Reactor Vessel Auxiliary Cooling

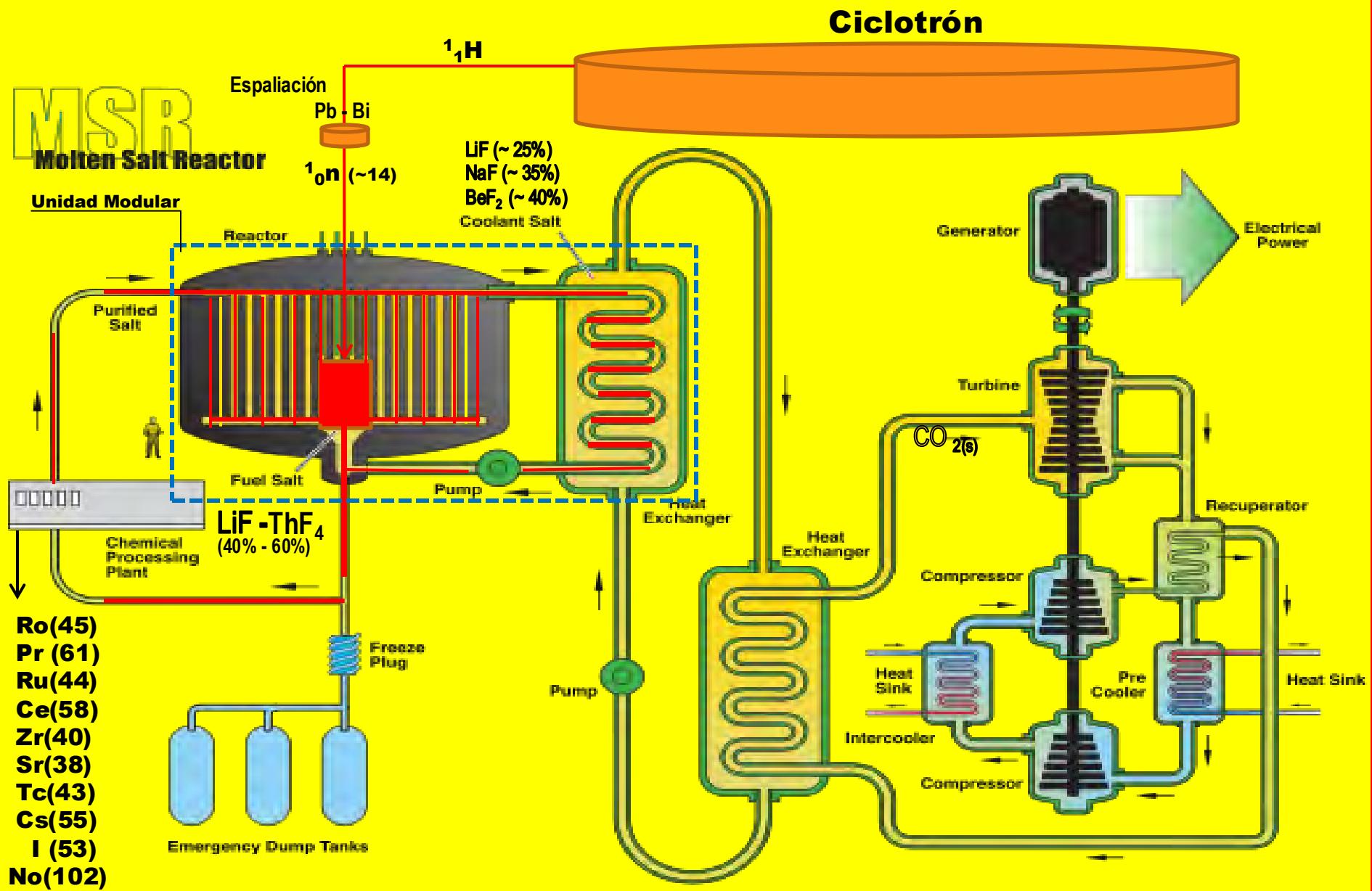
IAC: Intermediate Air Cooling

Nuclear Spallation (Espalación Nuclear)

Nuclear spallation produces neutrons from a beam of protons (~1 GeV) shot to a target plate of Pb and Bi. When the spallated nuclei is excited, ~14 neutrons are expelled per target nucleus and the beam can be pulsed with relative ease. Neutron gain via spallation energetic cost is six times lower than one via nuclear fission and can't trigger additional spallation or fission processes to produce more neutrons. This process cannot produce an uncontrolled chain reactions, making it a non-critical and is considered "Normally Cold"

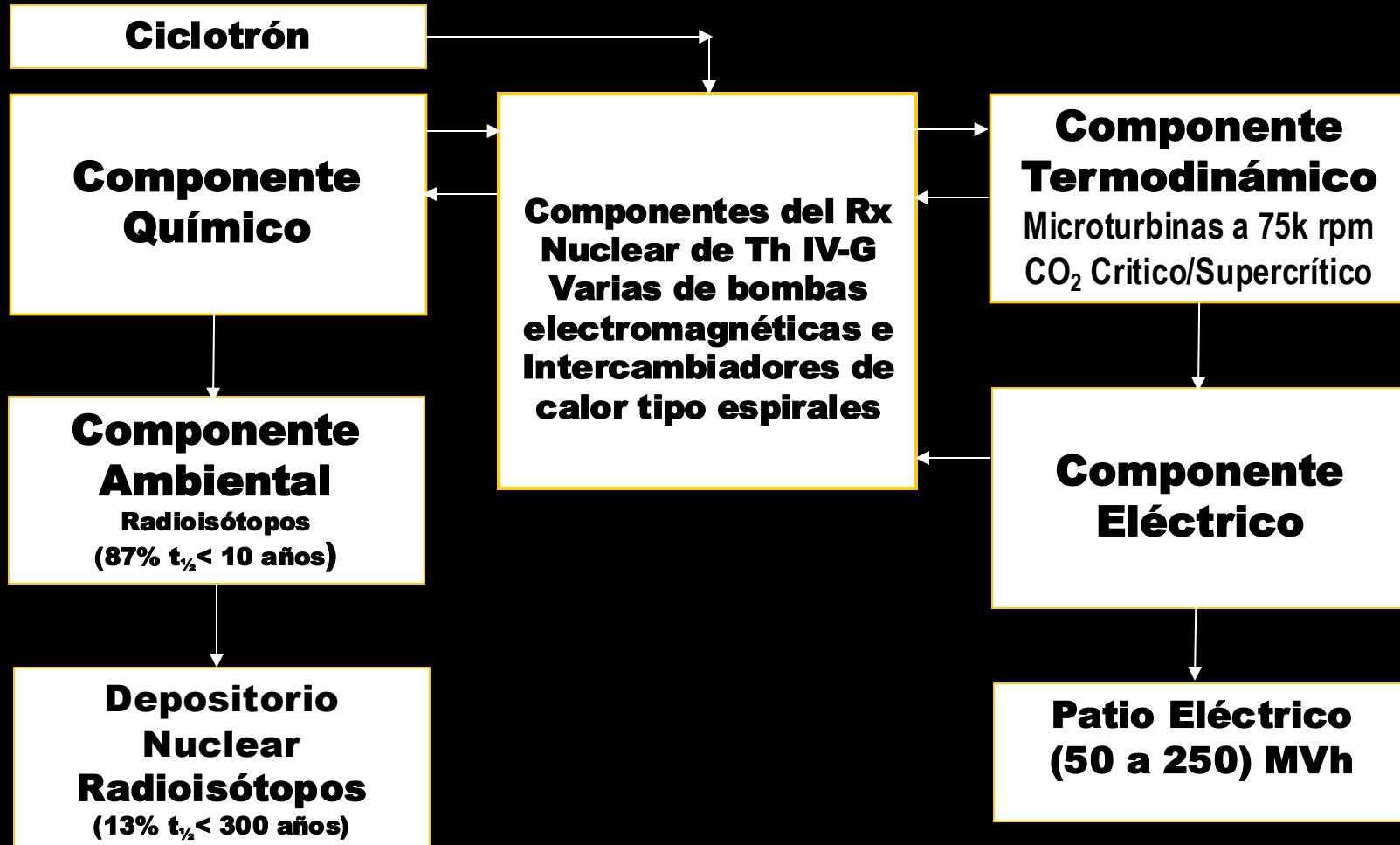


Prototipo de Reactor Nuclear G-IV Asistido (Rubbiatrón)

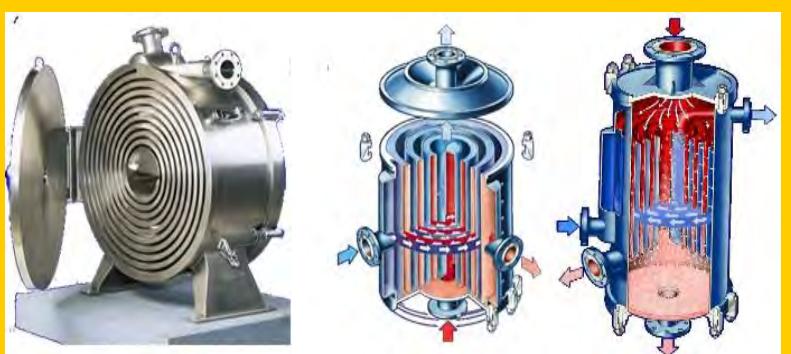


Componentes Fundamentales del Reactor Nuclear Asistido de Torio de Cuarta Generación

(Boricuatrón)



Intercambiadores Espirales de Calor

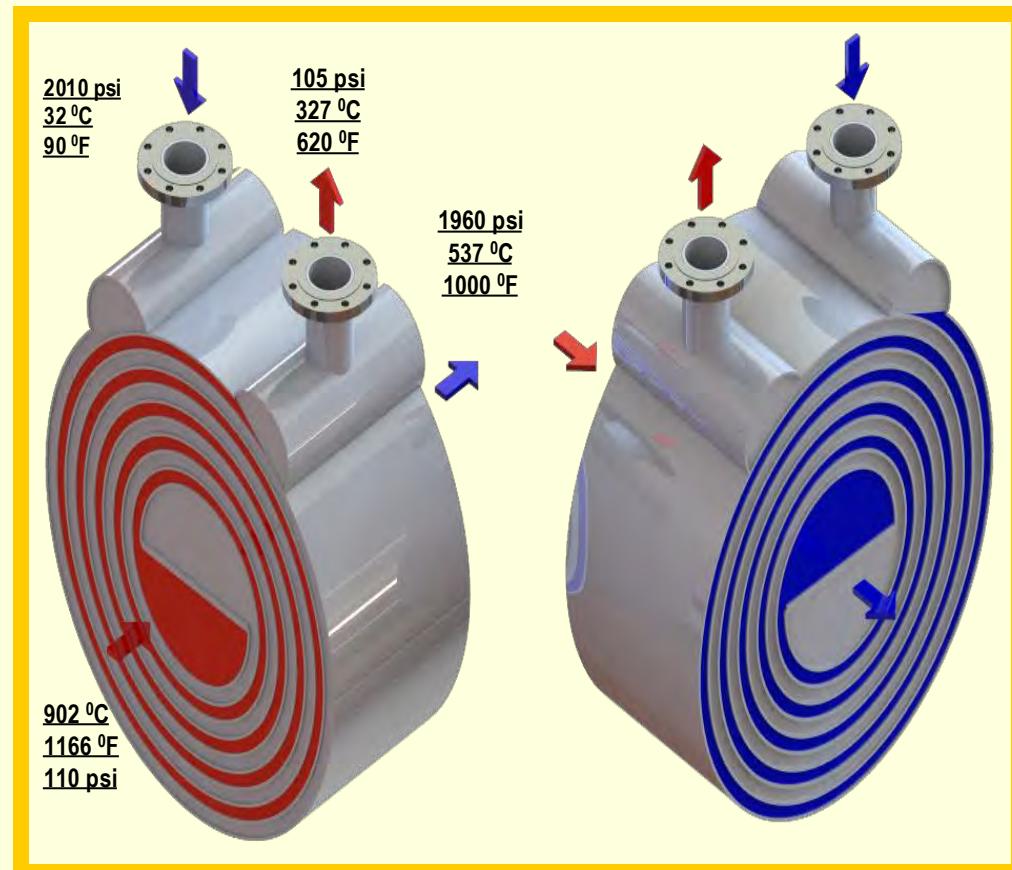


E-IV
2010 psi
890 °F

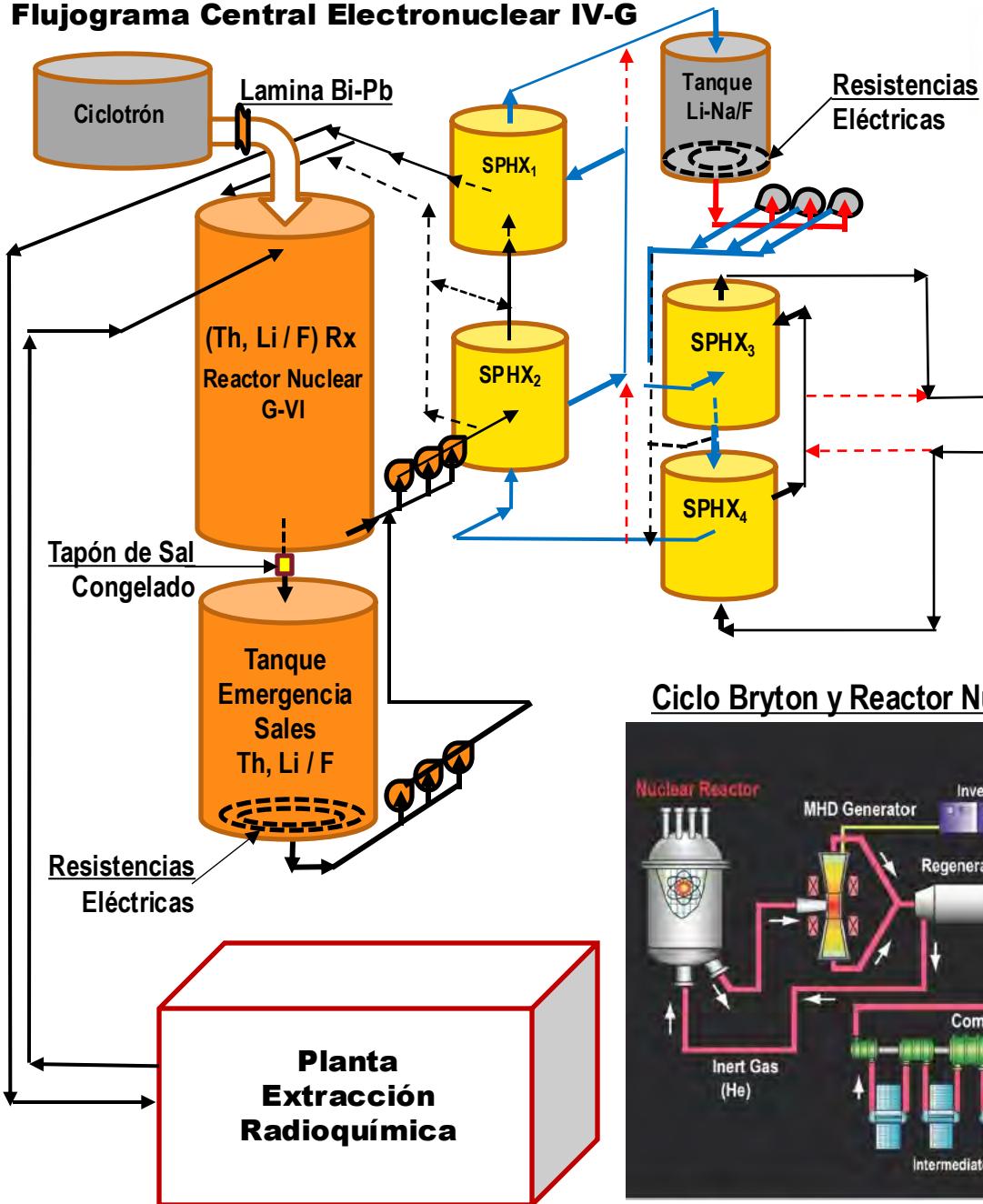
E-III
1115 psi
80 °F

E-II
1144 psi
890 °F

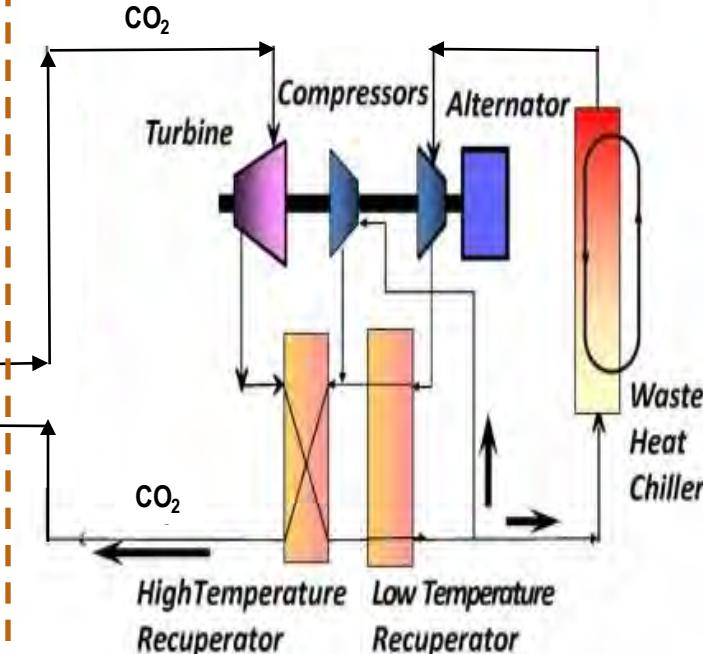
E-I
1960 psi
1000 °F



Flujograma Central Electronuclear IV-G



Ciclo Termodinámico Brayton de CO₂ Crítico//Supercrítico



Ciclo Brayton y Reactor Nuclear G-III+ del Laboratorio Espacial y Antártica

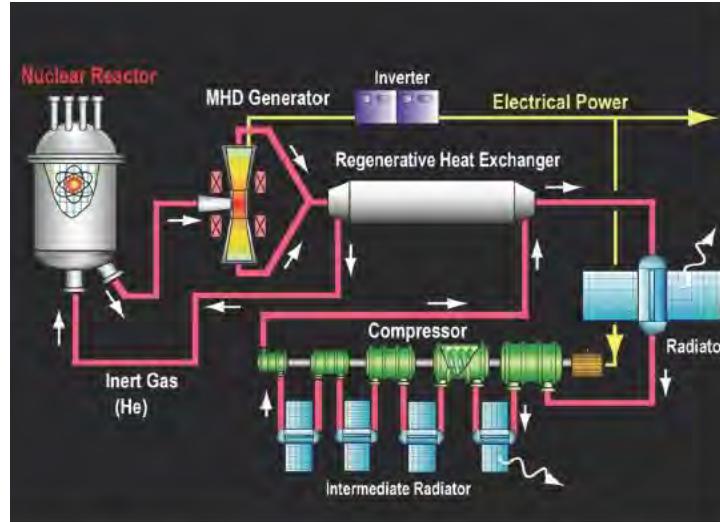


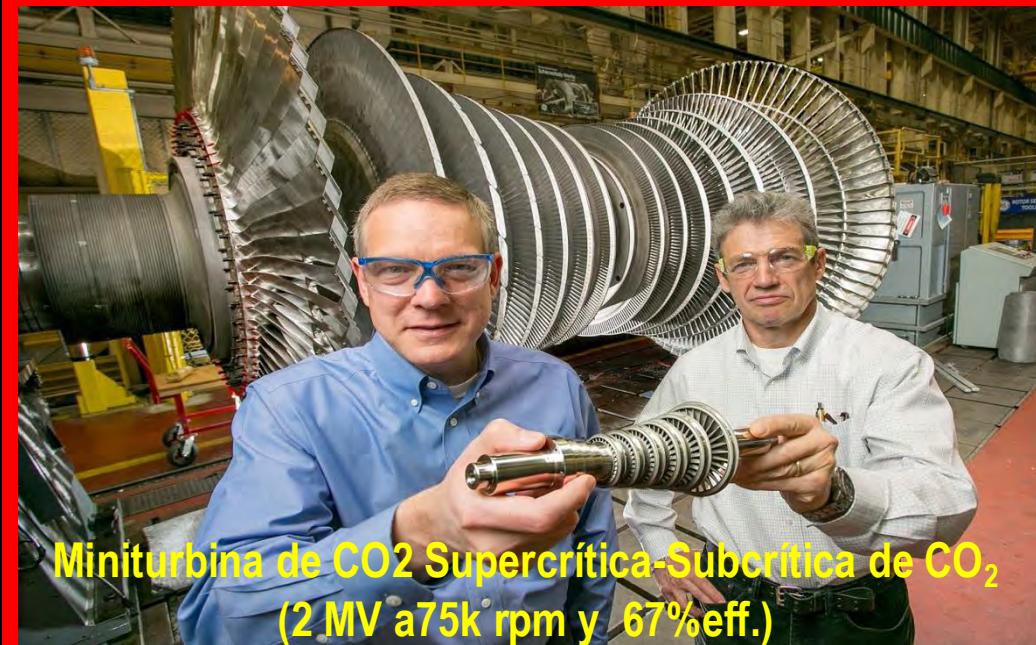
Table 1. Baseline performance characteristics

NFR	5 1,800	1,000 K	MWth MPa
Thermal input power			
Reactor output temperature	0.4		
Reactor output pressure	2.5		
Pressure loss			%
MHD generator			
Enthalpy extraction ratio	35		%
Isentropic efficiency	80		%
Heat loss	1		%
Compressor			
Isentropic efficiency	85		%
Pressure loss	1		%
Number of stages	1–6		stages
Radiation cooler			
Temperature	300		K
Pressure loss	1		%
Regenerator			
Efficiency	1		%
Heat loss	1		%
Pressure loss	1		%
Pre-ionizer			
Efficiency	50		%
Systems analysis summary			
Thermal Input to MHD generator	12.89		MWth
Electric output power	4.51		MWe
Compressor power	1.67		MWe
Pre-ionization power	0.08		MWe
Net output electrical power	2.76		MWe
Total plant efficiency	55.2		%

FIGURE 1. Schematic of nuclear Brayton CCMHD space power system.

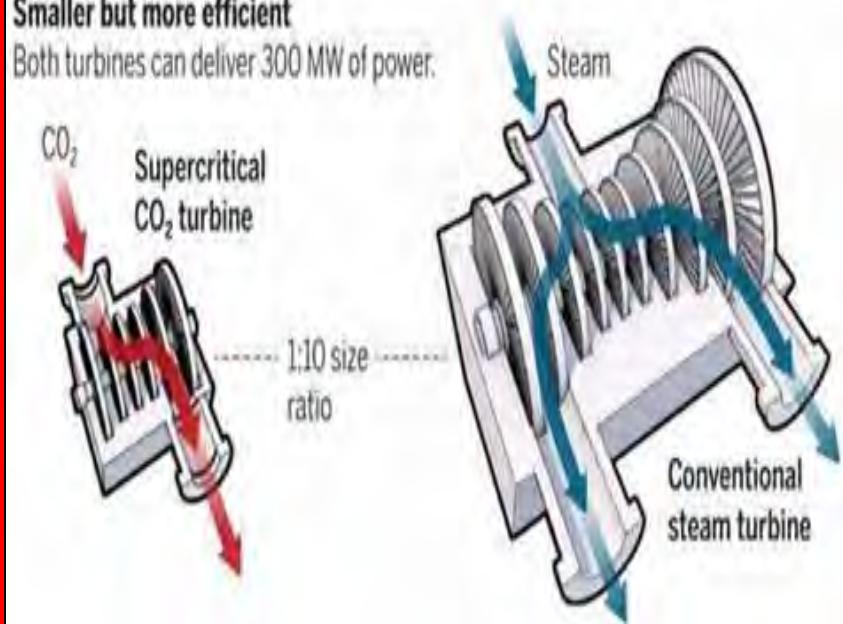
Ing. Doug Hofer, PE/PhD
“Senior Principal Engineer,
Aero Thermal Systems,
GE Global Research”

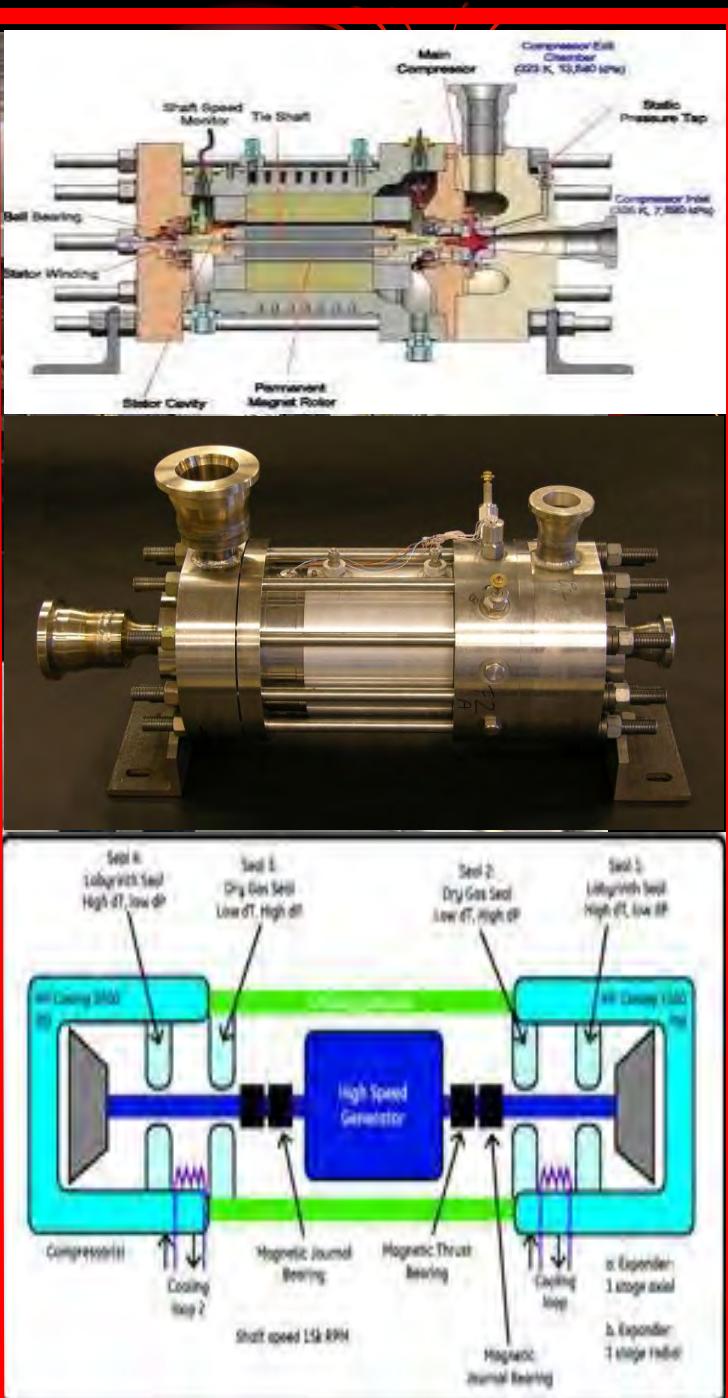
Rotor de Turbina Supercrítica-Subcrítica de CO₂
(~250MW a 75k rpm y 67% n).

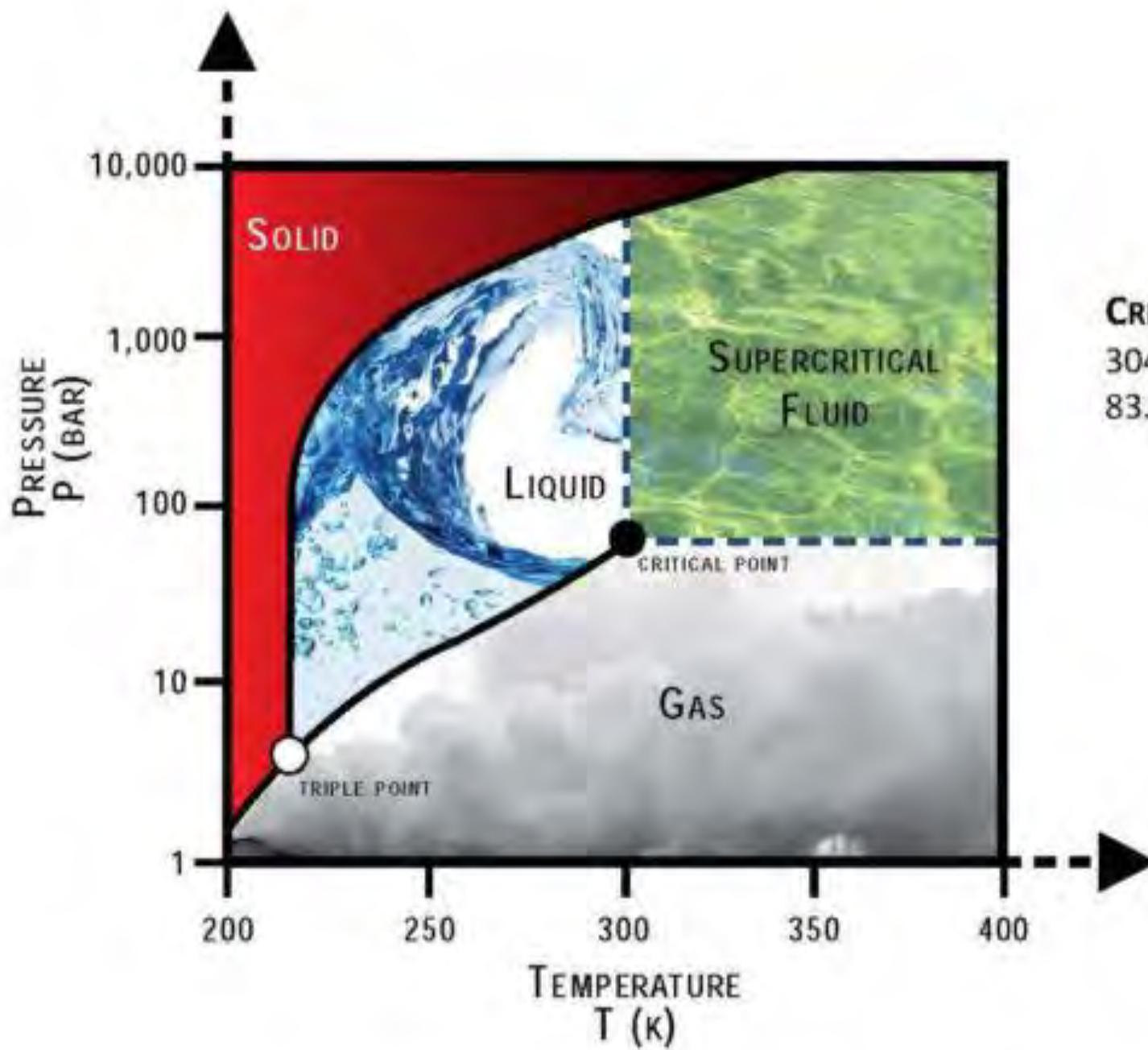


Miniturbina de CO₂ Supercrítica-Subcrítica de CO₂
(2 MW a 75k rpm y 67% eff.)

Smaller but more efficient
Both turbines can deliver 300 MW of power.



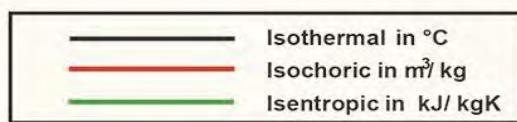
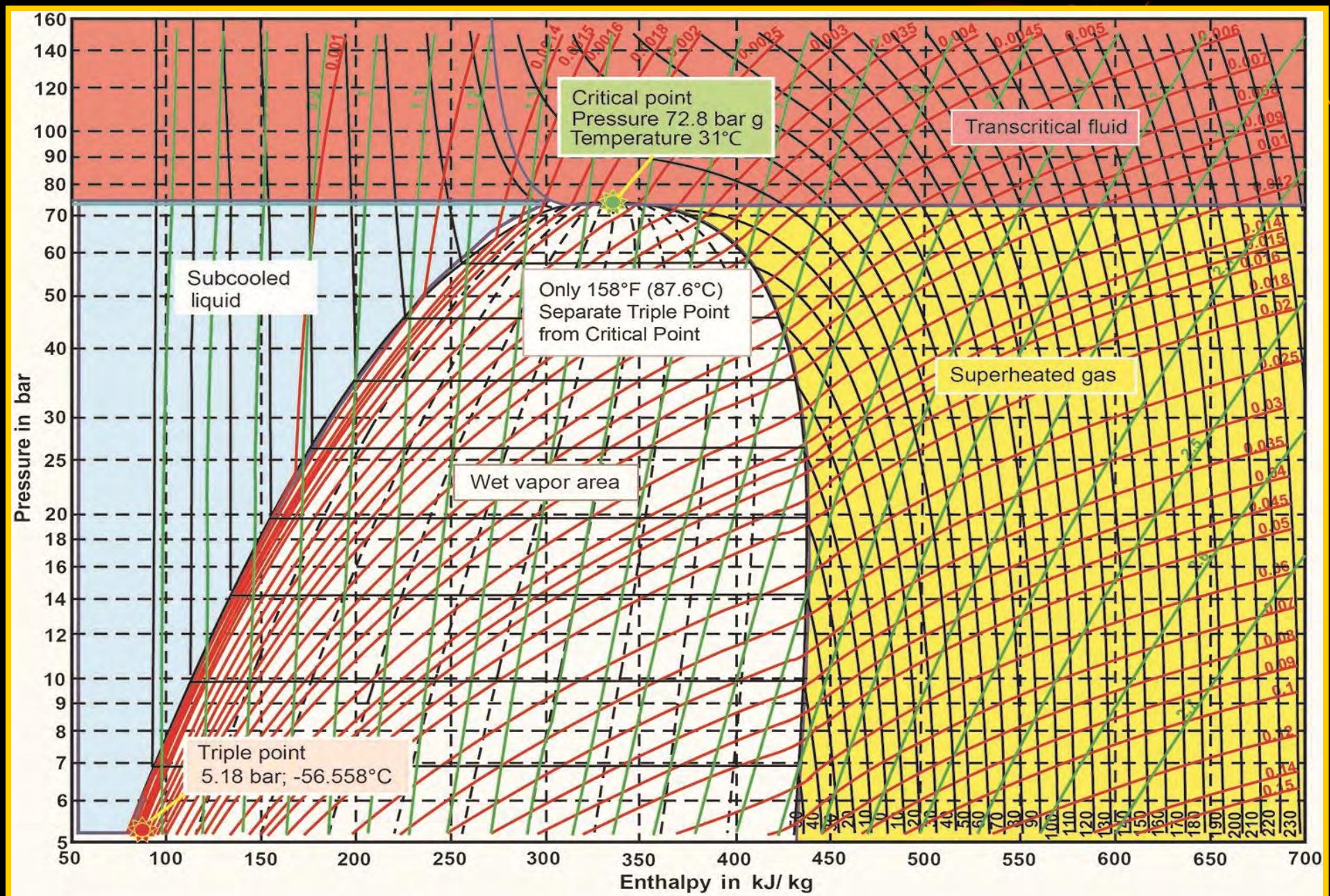




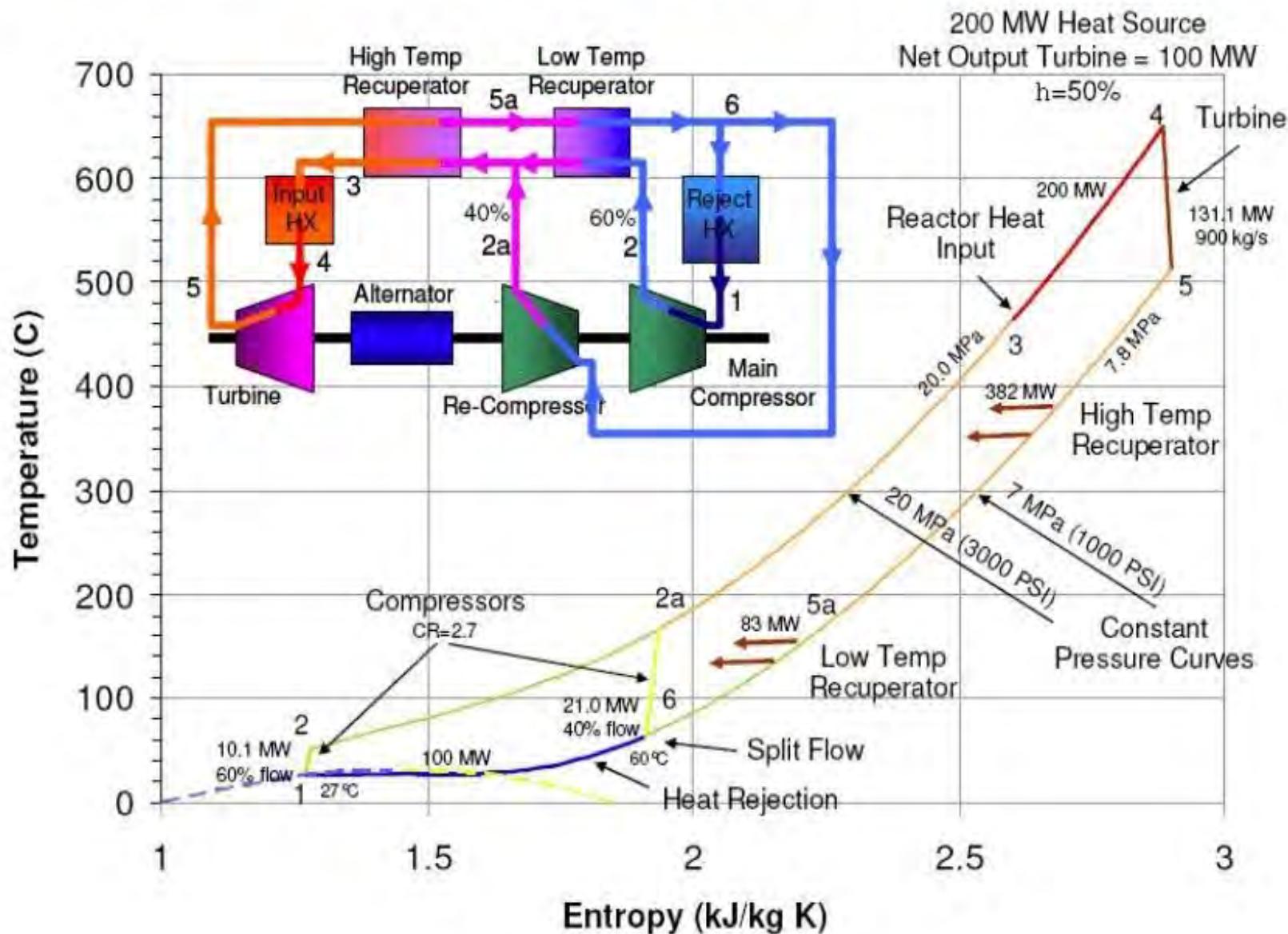
CRITICAL POINT

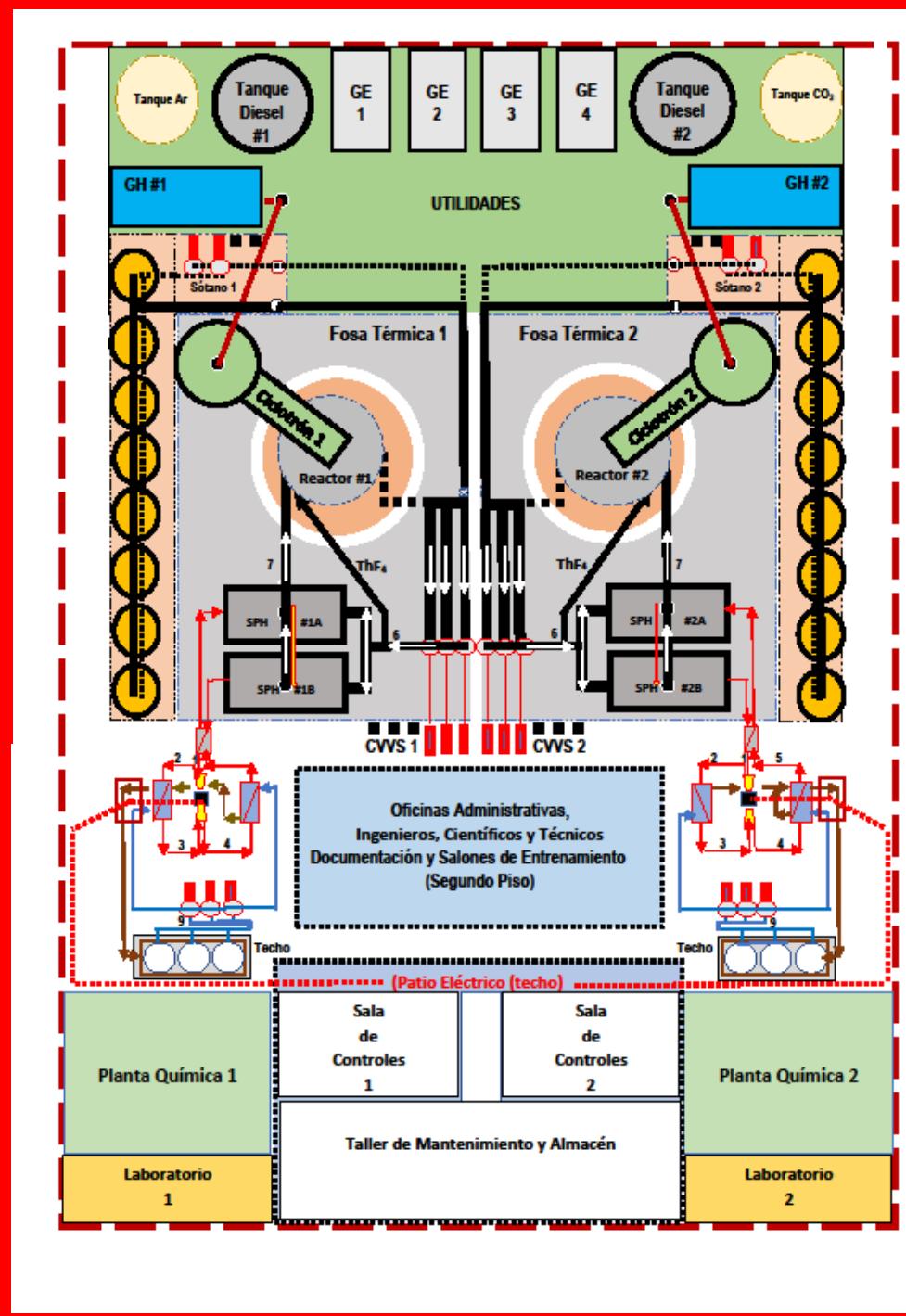
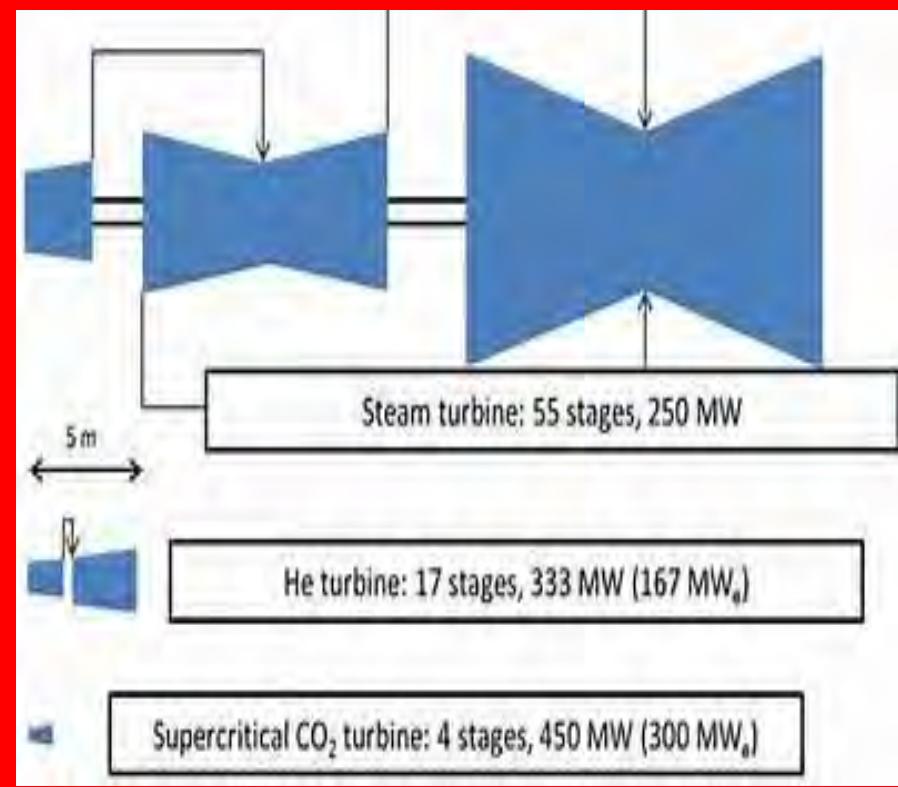
$304^{\circ}\text{ K} = 31^{\circ}\text{ C} = 88^{\circ}\text{ F}$

$83.8 \text{ bar} = 8.38 \text{ Mpa}$
 $= 1,070 \text{ psi}$

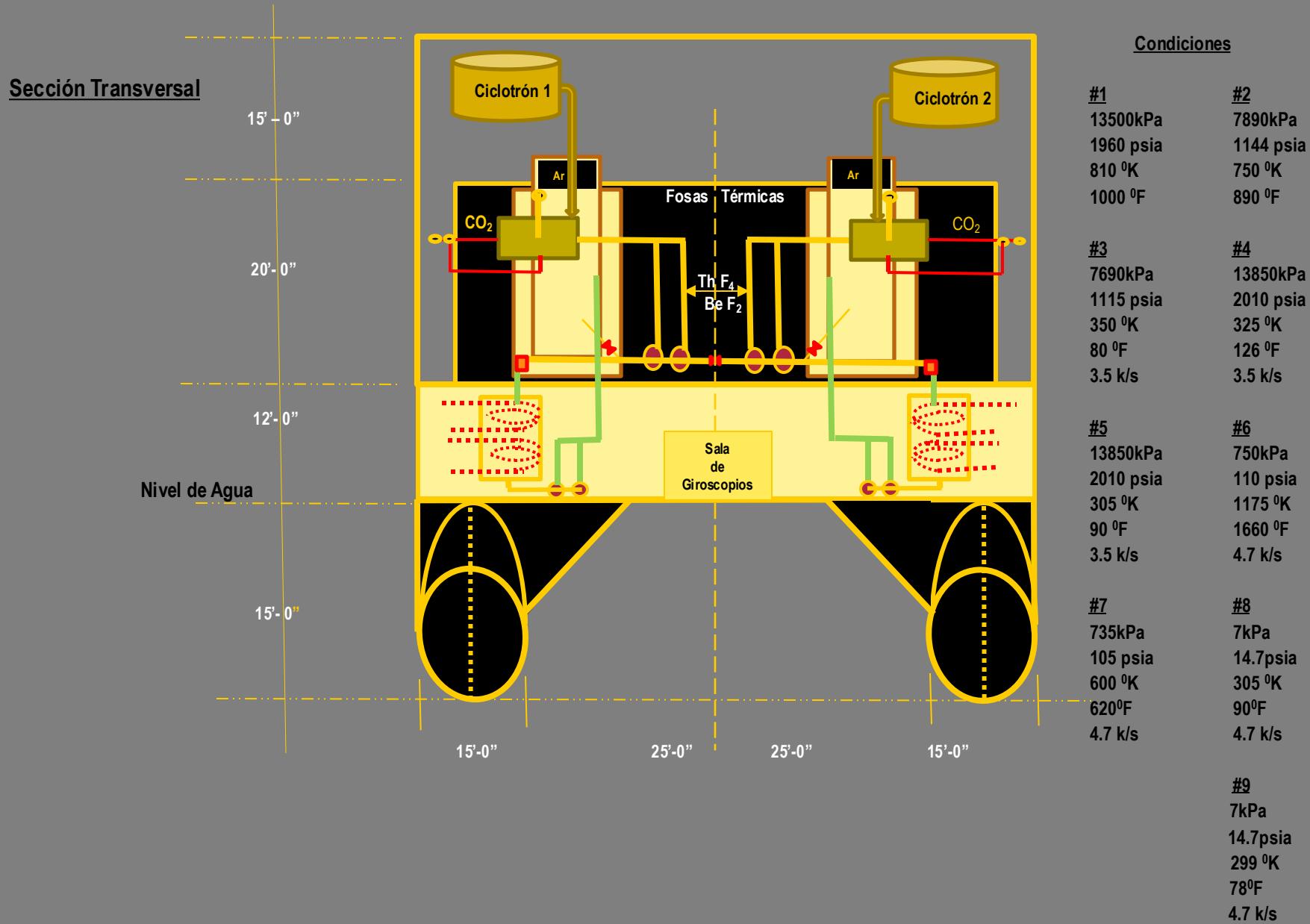


Supercritical CO₂ Brayton Cycle





Sección dimensionada del Boricuatrón





Empleado del Mes



Prototipo de la Sala de Controles
Central Electronuclear de Cuarta Generación
de reactores de Torio asistidos

Realidades de PR a 2025



- 1- Deuda de \$72 millardos, donde el 10% es de la AEE (\$7.2 millardos)
- 2- El margen prestatario de PR es \$ 0.00 y está bajo sindicatura (JSF).
- 3- La AEE tiene equipos viejos con restante poca vida útil y las propuestas viables de restitución incrementable son improbables.
- 4- La O y M de centrales con tecnologías obsoletas e ineficientes resultan muy costosas.
- 5- La falta de incentivos industriales efectivos, 15% contribución mínima global, un alto costo energético, la desconfianza en la continuidad del servicio eléctrico por los frecuentes apagones y las políticas del gobierno de Trump crean incertidumbre.
- 6- Falta de conciencia energética a la conservación y optimización de sistemas y procesos.
- 7- Efecto de la desconexión parcial o neta por baterías y paneles solares residenciales.
- 8- Electrificación de la transportación (6 GV adicionales a la actual demanda ➔ 9 GV).
- 9- Computación Cuántica e IA - Si no nos insertarnos (2030), nos quedamos atrás (1 GV).

Conclusión

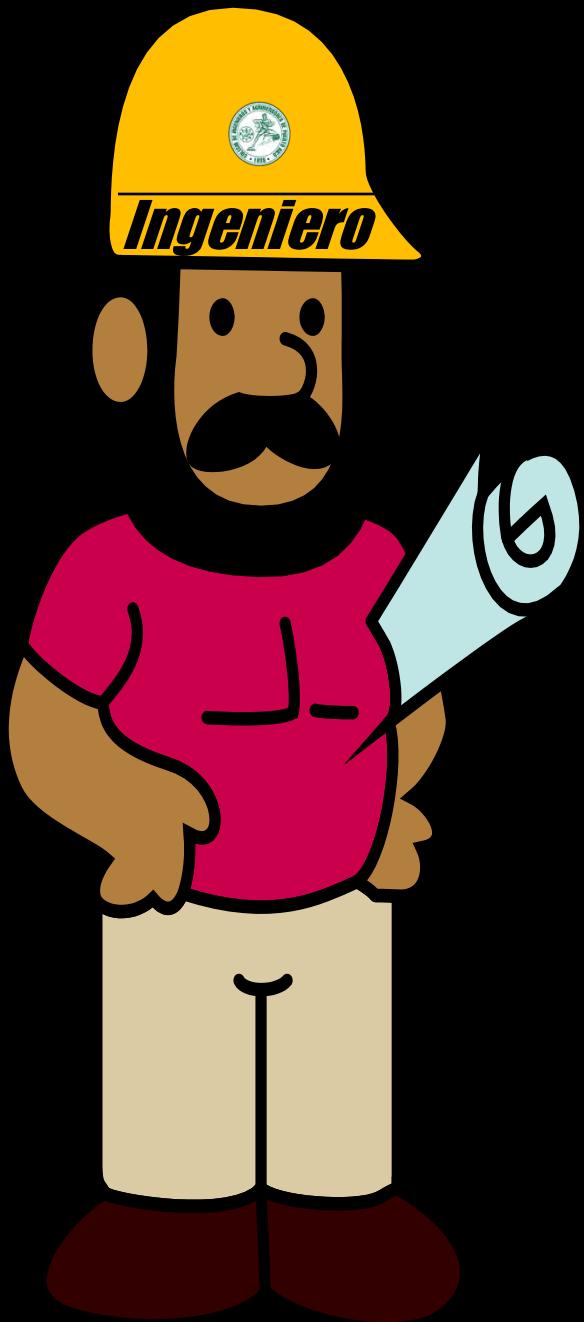
Las minicentrales electronucleares (50 MV a 250 MV) modulares flotantes de reactores G-IV asistidos usando sales derretidas de Flúor de Torio con ciclos Bryton de CO₂ críticos-supercríticos para la generación eléctrica es la alternativa a las propuestas centrales termoeléctricas de gas y ser el complemento costoefectivo, continuo y seguro a las intermitentes fuentes renovables.



Los imperios del futuro serán los imperios del conocimiento.

Sir Winston Churchill (1874-1965)

Iván Nicolau Nin - PE
13 de marzo de 2025



¿ **Preguntas** ?

Ivan Nicolau Nin - PE
13 de marzo de 2025