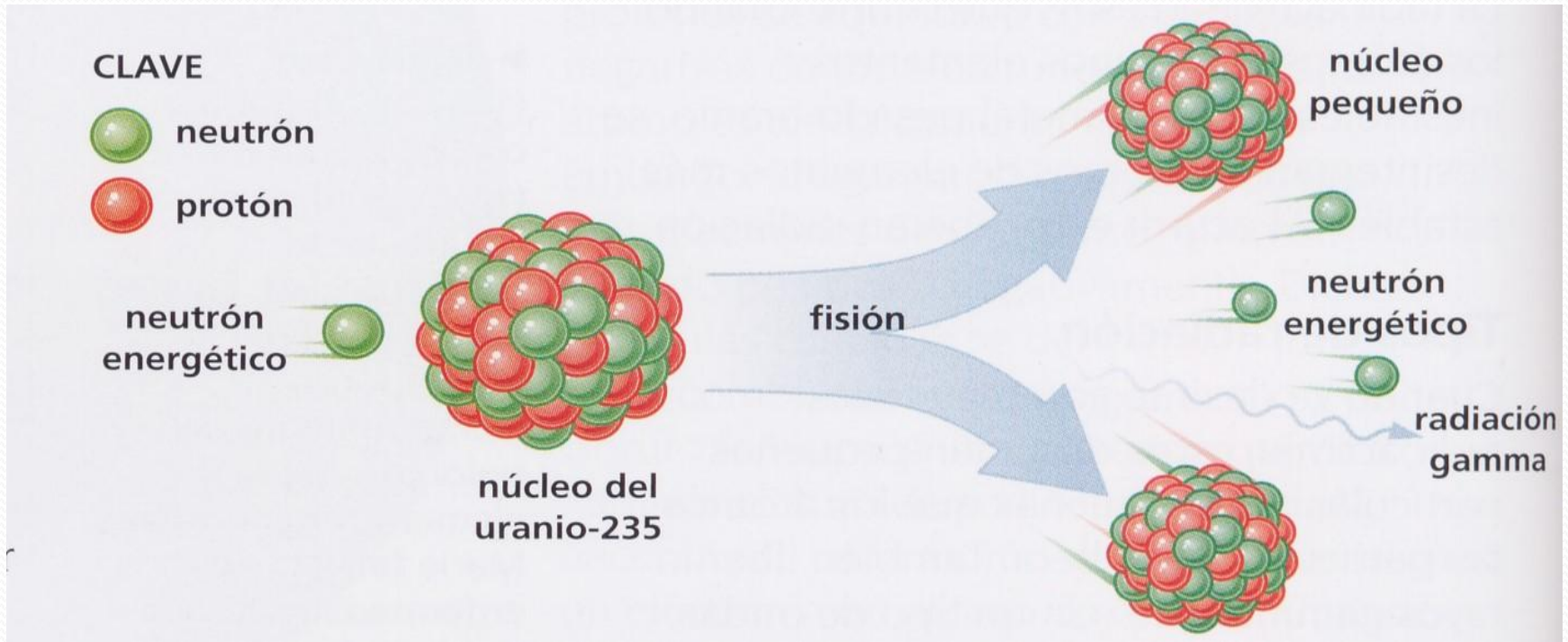




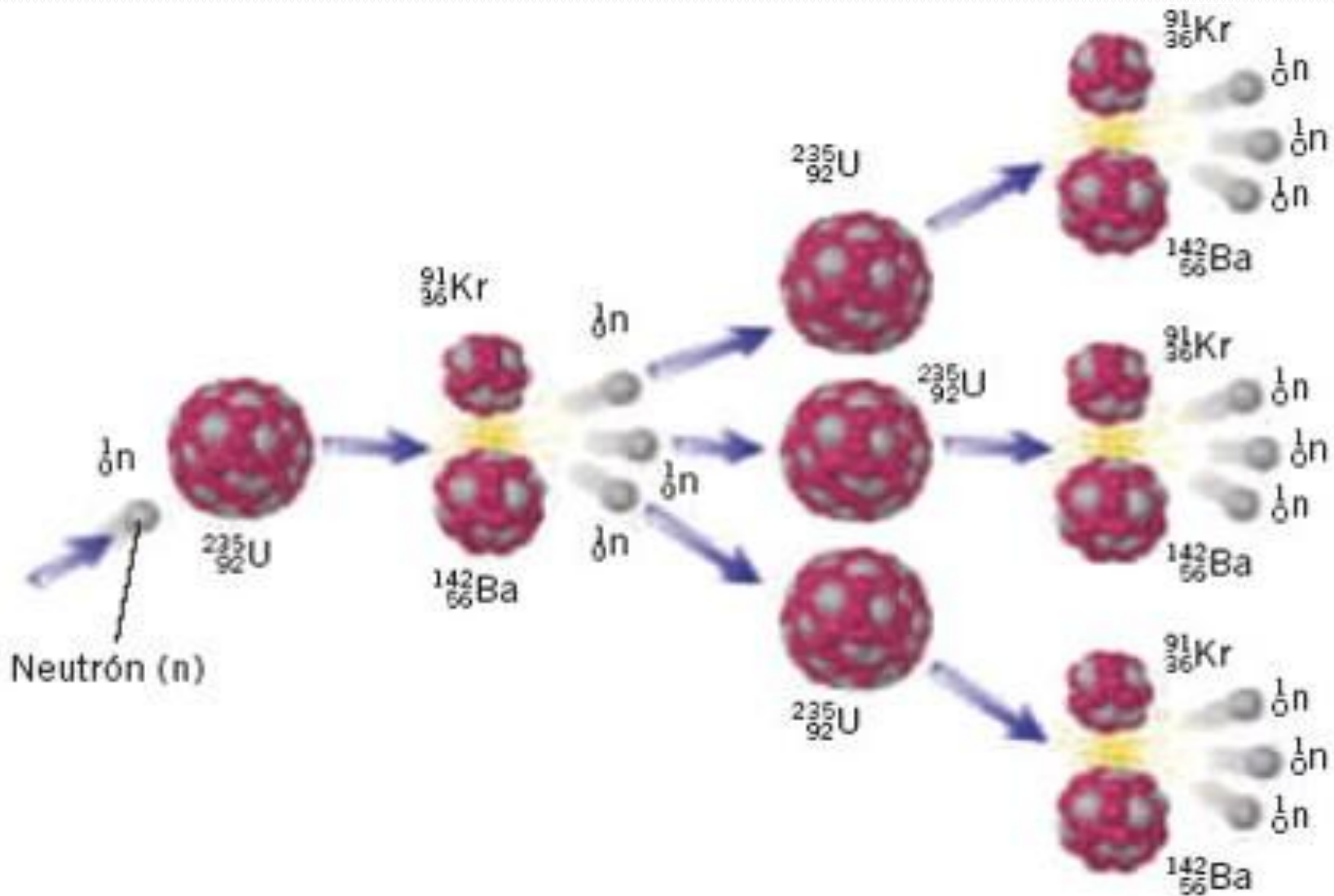
FISICA DEL REACTOR NUCLEAR

Lic. Isaac Poma M.
Carrera de Física – UMSA.
2016

FISION NUCLEAR



CADENA DE FISIONES NUCLEARES



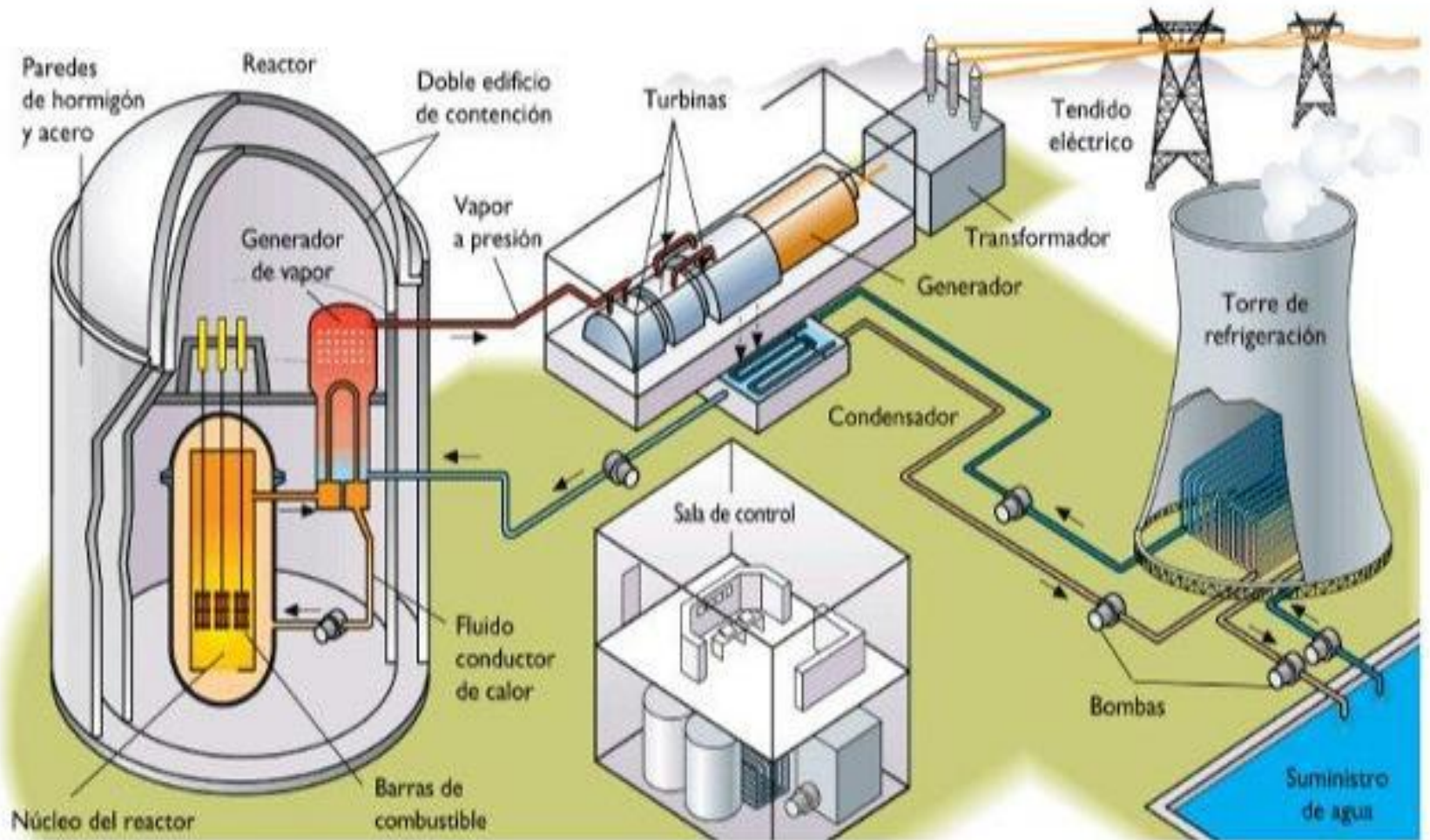
FISIÓN NUCLEAR



REACTOR NUCLEAR

- Es el medio donde se producen las reacciones nucleares de fisión nuclear.
- En cada fisión se libera: energía, 2.5 neutrones y núcleos productos de la fisión que son radioactivos, que a su vez emiten radiaciones ionizantes: beta y gamma; durante su desintegración radioactiva.
- En cada fisión se libera energía alrededor de 200 Mev., que es el resultado del reajuste de la energía de ligadura nuclear, entre el núcleo fisionado y los núcleos productos de la fisión.

REACTOR NUCLEAR



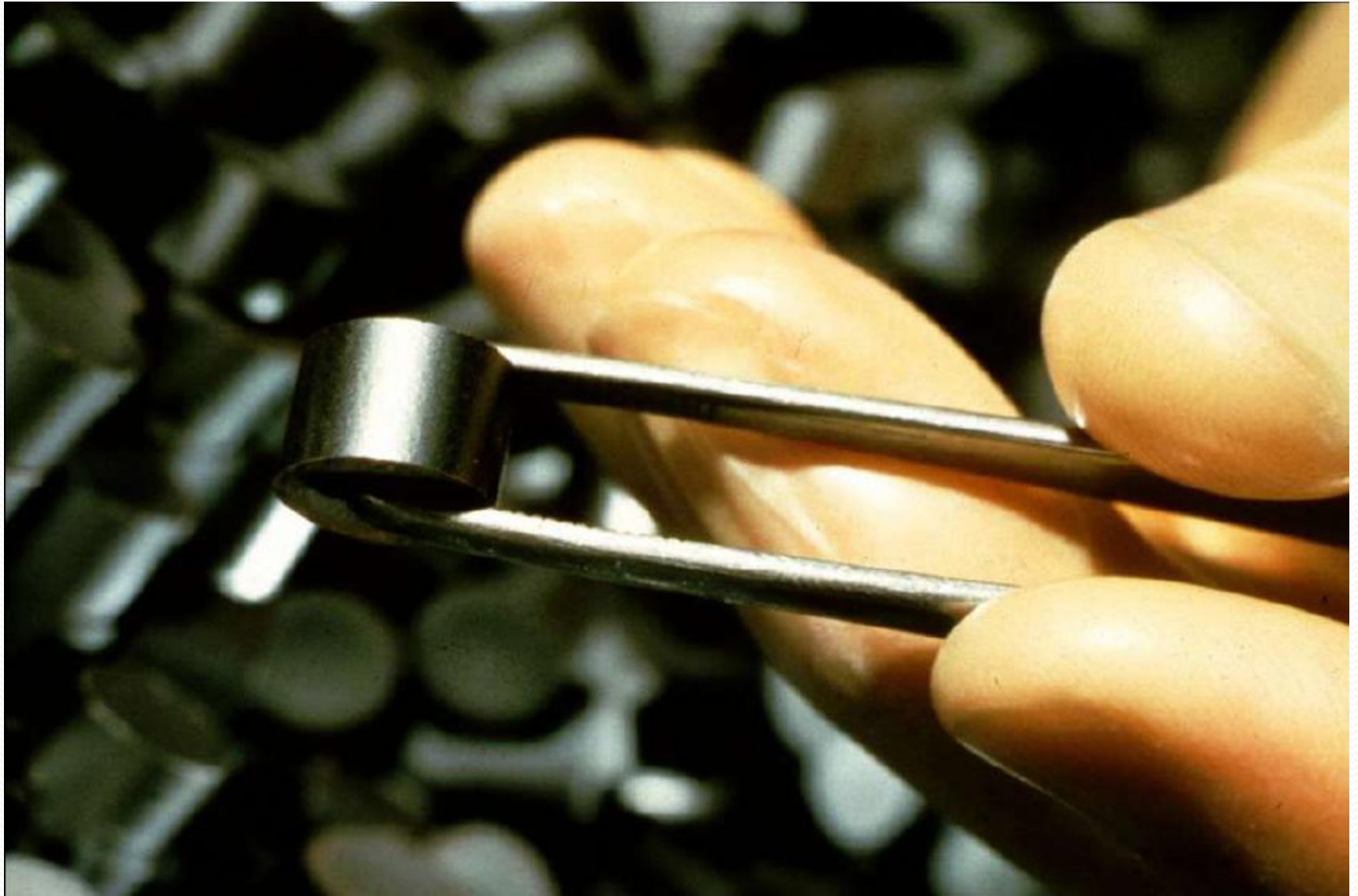
DISEÑO DEL NUCLEO DEL REACTOR

COMPOSICION DEL NUCLEO

- El núcleo del reactor se encuentra en un contenedor denominado “vasija” , de forma cilíndrica para la mayor parte de los reactores de potencia, en la cual se encuentra:
- **Combustible nuclear**
- Las pastillas de combustible tienen un diámetro del orden de 1 cm, estos se agrupan para formar una barra o elemento de combustible, y la agrupación de estos elementos forman un ensamble de combustible, de geometría cuadrada, circular y hexagonal.

VASIJA DEL NUCLEO DEL REACTOR





COMBUSTIBLE NUCLEAR

Vasija e internos

Las pastillas se apilan en varillas o tubos metálicos que se agrupan para formar los ensambles de combustible.

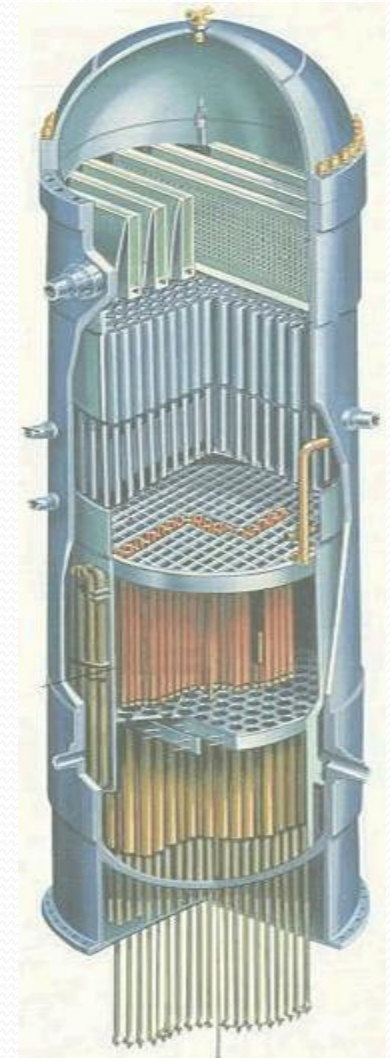
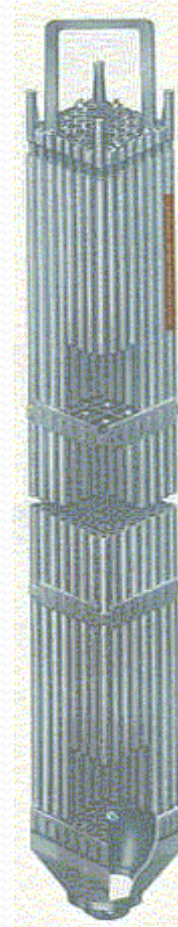
pastilla



barra



ensamble



Barras de control

- El reactor debe contener canales cuidadosamente situados a través de la configuración reticular de los ensambles de combustible que permitan la inserción de las barras de control.
- El material de las barras de control son principalmente de boro, cadmio, hafnio, que son buenos absorbentes de neutrones, para controlar el “factor de multiplicación”, también pueden ser insertados en regiones de moderador entre ensambles.

Refrigerante y moderador

- De acuerdo al tipo de refrigerante y moderador los reactores se clasifican en térmicos y rápidos.

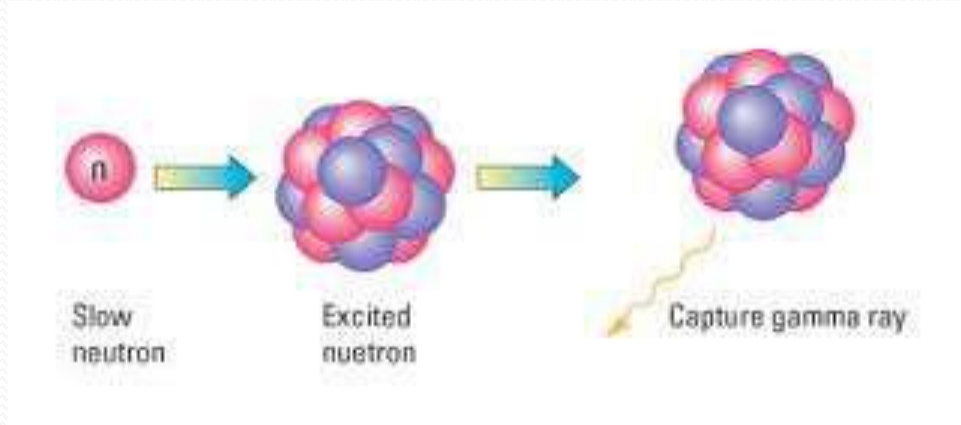
CONDICIONES DE DISEÑO

- Dos criterios juegan un rol dominante en la determinación de la composición del núcleo de un reactor de potencia.
- 1.- LA FISICA DEL NEUTRON, donde la condición de criticidad debe ser mantenido sobre niveles de potencia requerido.
- 2.- EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA, debe permitir que la energía térmica resultante de las fisiones sea extraída fácilmente del núcleo, sin sobrecalentamiento de cualquiera de sus componentes.
- Por lo indicado, los núcleos de los reactores han sido diseñados en una amplia variedad de configuraciones.

LA FISICA DEL NEUTRON

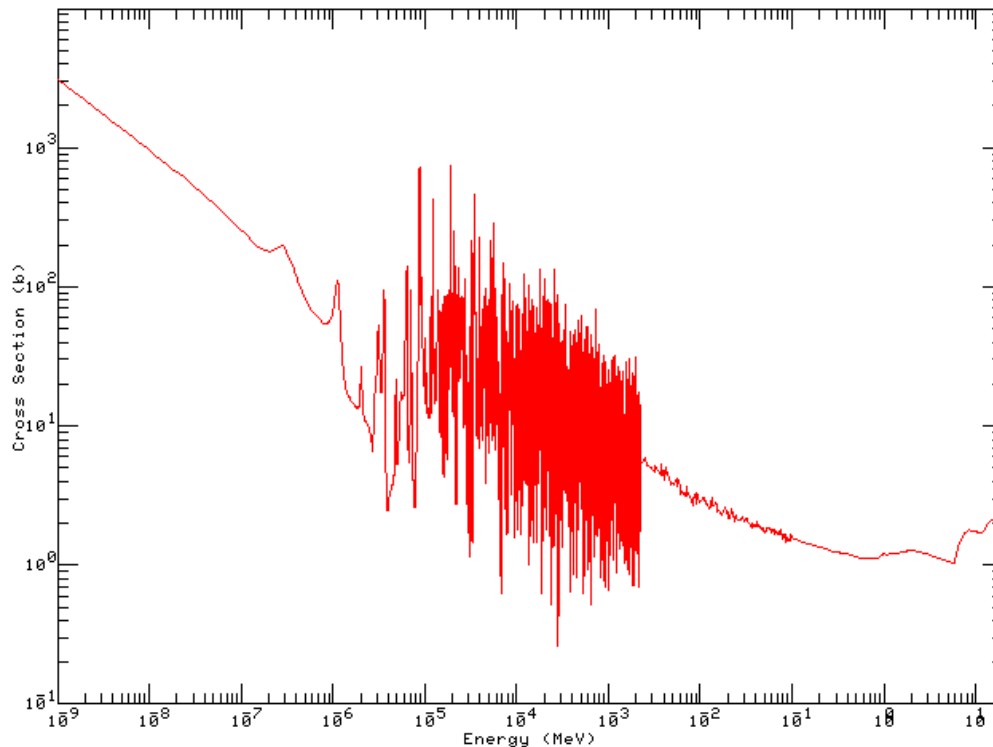
Interacciones del Neutrón

- Absorción – Concepto
- Un Neutrón es Absorbido o Capturado por el Núcleo de un átomo:
 - El Número Másico del átomo aumenta en uno.
 - El átomo fisiona
- La Absorción es mucho más probable a **Bajas Energías**
- La probabilidad de Absorción puede variar mucho de elemento a elemento, y entre isótopos del mismo elemento



Interacciones del Neutrón

- Absorción – Aplicaciones en Reactores
- Absorción más probable a **Baja Energía, Neutrones Lentos**
- Sección eficaz de fisión del U-235 vs. energía del neutrón



Interacciones del Neutrón

- Scattering – Concepto
- **Scattering Elástico con los núcleos de los átomos**
- Los Neutrones pierden energía y cambian de dirección
- La energía es transferida a los átomos colisionados
- En una colisión de Scattering con un átomo de Hidrógeno, el neutrón puede perder toda su energía
- El Scattering con Elementos más pesados produce mucha menos pérdida de energía por colisión
- El Scattering y el proceso de frenado se llama “**Moderación**”

Interacciones del Neutrón

- Scattering – Aplicaciones en Reactores
- ¿Como podemos usar la Moderación en el diseño de un reactor?
- “Moderador” es usado para reducir la velocidad de los neutrones rápidos y aumentar la probabilidad de fisión.
- ¿Qué hace a un moderador bueno?
 - baja masa, gran sección eficaz de scattering y baja de absorción
 - Hidrógeno (requiere en promedio 18 interacciones para frenar un neutrón para fisiónar U-235)

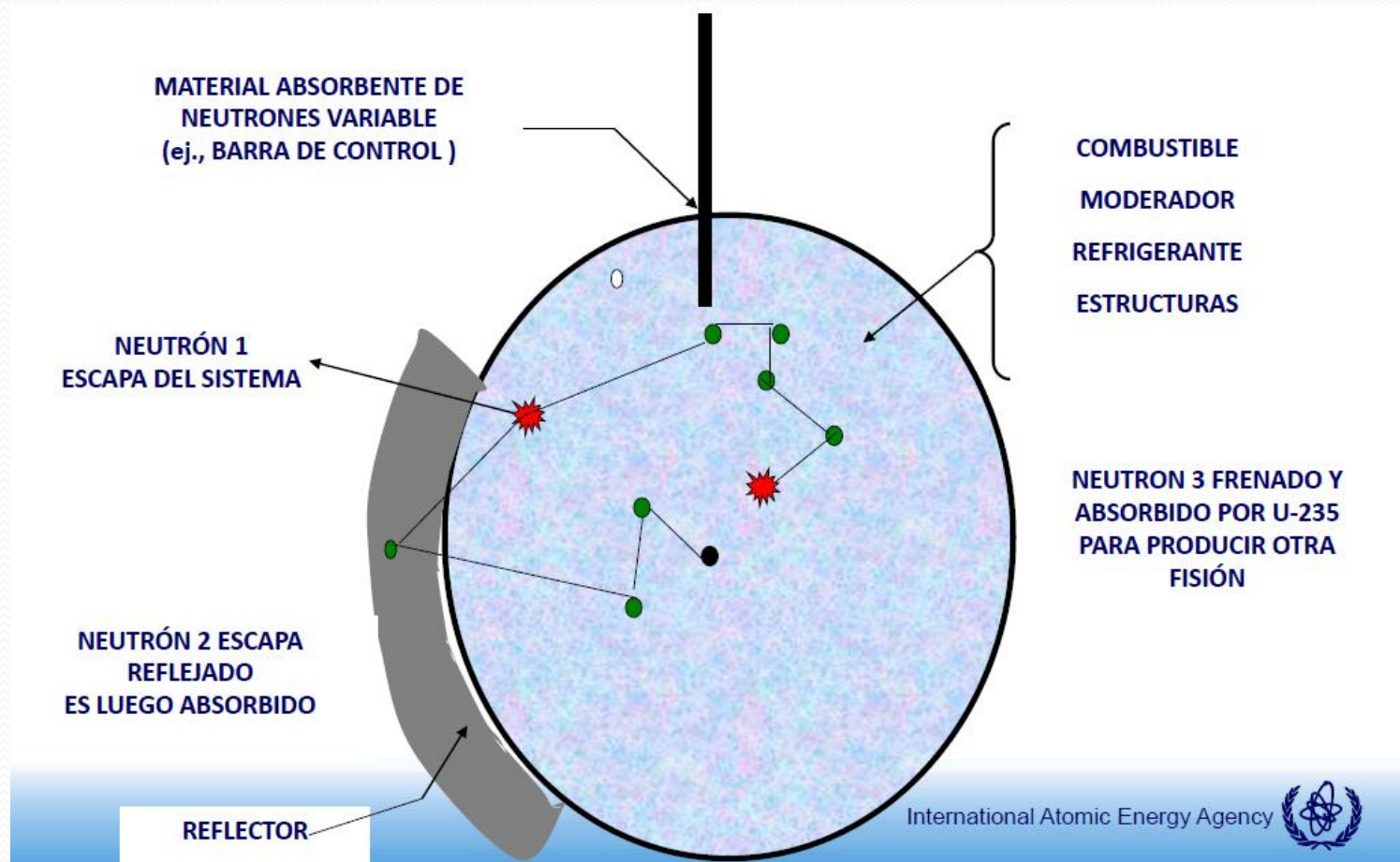
Interacciones del Neutrón

- Scattering – Aplicaciones en Reactores
Moderador
- Agua en la mayoría de los reactores del mundo
- Grafito
- Agua pesada

Ciclo de vida de los Neutrones en un Medio Multiplicativo

- Nacen en Fisiones a 1-2 MeV (8000 millas/seg)
- **SCATTER (COLISIONAN) Y PIERDEN ENERGÍA;**
 - Hasta 100% en colisiones con Hidrógeno
 - Mucho menos con núcleos más pesados
- **PUEDEN IRSE DEL SISTEMA ? FUGA**
 - Ocurre mayormente a altas energías
- **ABSORBIDO POR MATERIALES EN EL MEDIO**
 - Principalmente como neutrones lentos (0,025 eV)
 - Estructuras y refrigerante
 - Materiales de Control (Variable)
 - Algunos absorbidos en U-238

Ciclo de vida de los neutrones en un medio multiplicativo



Multiplicación

- K ES DEFINIDO COMO EL “FACTOR DE MULTIPLICACIÓN”

$$K = \frac{\text{NEUTRONES PRODUCIDOS}}{\text{NEUTRONES ABSORBIDOS + NEUTRONES FUGADOS}}$$

K = 1: LA POBLACIÓN DE NEUTRONES Y LA POTENCIA DEL SISTEMA SON ESTABLES. CONDICIÓN “CRÍTICA”

K > 1: LA POBLACIÓN DE NEUTRONES Y LA POTENCIA DEL SISTEMA AUMENTAN. CONDICIÓN “SUPERCRÍTICA”

K < 1: LA POBLACIÓN DE NEUTRONES Y LA POTENCIA DEL SISTEMA DISMINUYEN. CONDICIÓN “SUBCRÍTICA”

Se define a $K-1$ como la “**REACTIVIDAD**” del sistema.

Control de los Reactores

- K es limitado por diseño y operaciones y es mantenido cercano a 1,0
- La Potencia del Reactor es aumentada subiendo levemente K, permitiendo aumentar la población de neutrones. Luego de alcanzar el nivel deseado se reestablece $K = 1$.
- El operador puede cambiar K agregando/removiendo absorbentes neutrónicos
 - Barras absorbentes
 - Concentración de absorbentes químicos en el refrigerante (ej., boro)

TIPOS DE REACTORES TÉRMICOS

- Reactores moderados por agua ligera.
 - Reactores tradicionales
 - LWR (Light Water Reactor) De diseño occidental
 - PWR (Pressurized Water Reactor)
 - BWR (Boiling Water Reactor)
 - VVER De diseño ruso.
- Reactores moderados por agua pesada
PHWR–CANDU (Canadian Natural Deuterium Uranium)

REACTORES TÉRMICOS

- Reactores moderados con grafito

- Reactores tradicionales (generalmente refrigerados por gas)

- RBMK el de Chernobil refrigerado por agua

- MAGNOX de diseño inglés

- GCR (Gas Carbon Reactor) de diseño francés

- Reactores avanzados

- AGR (Advanced Gas Reactor) reactor avanzado basado en el GCR

- HTGR (High Temperature gas reactor)

REACTORES RÁPIDOS

FBR (fast breeder reactors):

- Refrigerados por metales líquidos
 - sodio
 - plomo
 - plomo-bismuto

PROPIEDADES REPRESENTATIVAS DEL REACTOR

- Para el diseño del núcleo del reactor se deben tomar los siguientes parámetros típicos:
- - La tasa de calor lineal promedio q' (kW/m).
- - La relación de Volumen de refrigerante y/o moderador V_x a Volumen de combustible V_f , dado como V_x/V_f .
- - La densidad de potencia promedio P''' (MW/m³).
- - El enriquecimiento del combustible en (peso %) e .
- En la siguiente Tabla se presentan estos parámetros típicos para diferentes clases de reactores.

TABLE 4.1
Representative Reactor Lattice Properties

	<i>PWR</i> <i>Pressurized-</i> <i>H₂O Reactor</i>	<i>BWR Boiling-</i> <i>H₂O Reactor</i>	<i>PHWR</i> <i>CANDU-D₂O</i> <i>Reactor</i>	<i>HTGR</i> <i>C-Moderated</i> <i>Reactor</i>	<i>SFR</i> <i>Na-Cooled</i> <i>Fast Reactor</i>	<i>GCFR</i> <i>He-Cooled</i> <i>Fast Reactor</i>
\bar{q}' (kW/m) average linear heat rate	17.5	20.7	24.7	3.7	22.9	17.0
V_x/V_f volume ratio ^a	1.95	2.78	17	135	1.25	1.93
\bar{P}''' (MW/m ³) average power density	102	56	7.7	6.6	217	115
V (m ³) volume 3000 MW(t) reactor	29.4	53.7	390	455	13.8	26.1
\tilde{e} (weight %) enrichment	4.2	4.2	0.7	15	19	19

^a x =moderator for a thermal reactor and coolant for a fast reactor, f =fuel.

Source: Data courtesy of W. S. Yang, Argonne National Laboratory.

LA CENTRAL NUCLEAR

- Es una instalación industrial empleada para generar electricidad a partir de la fisión nuclear
- El calor generado producto de las fisiones da inicio al ciclo termodinámico empleado por las centrales nucleares
- Existen muchos tipos de centrales nucleares cada una con sus propias ventajas e inconvenientes.
- Los reactores de fisión se dividen en térmicos y rápidos. La diferencia principal entre estos dos tipos de reactores es que los primeros presentan moderador y los últimos no.

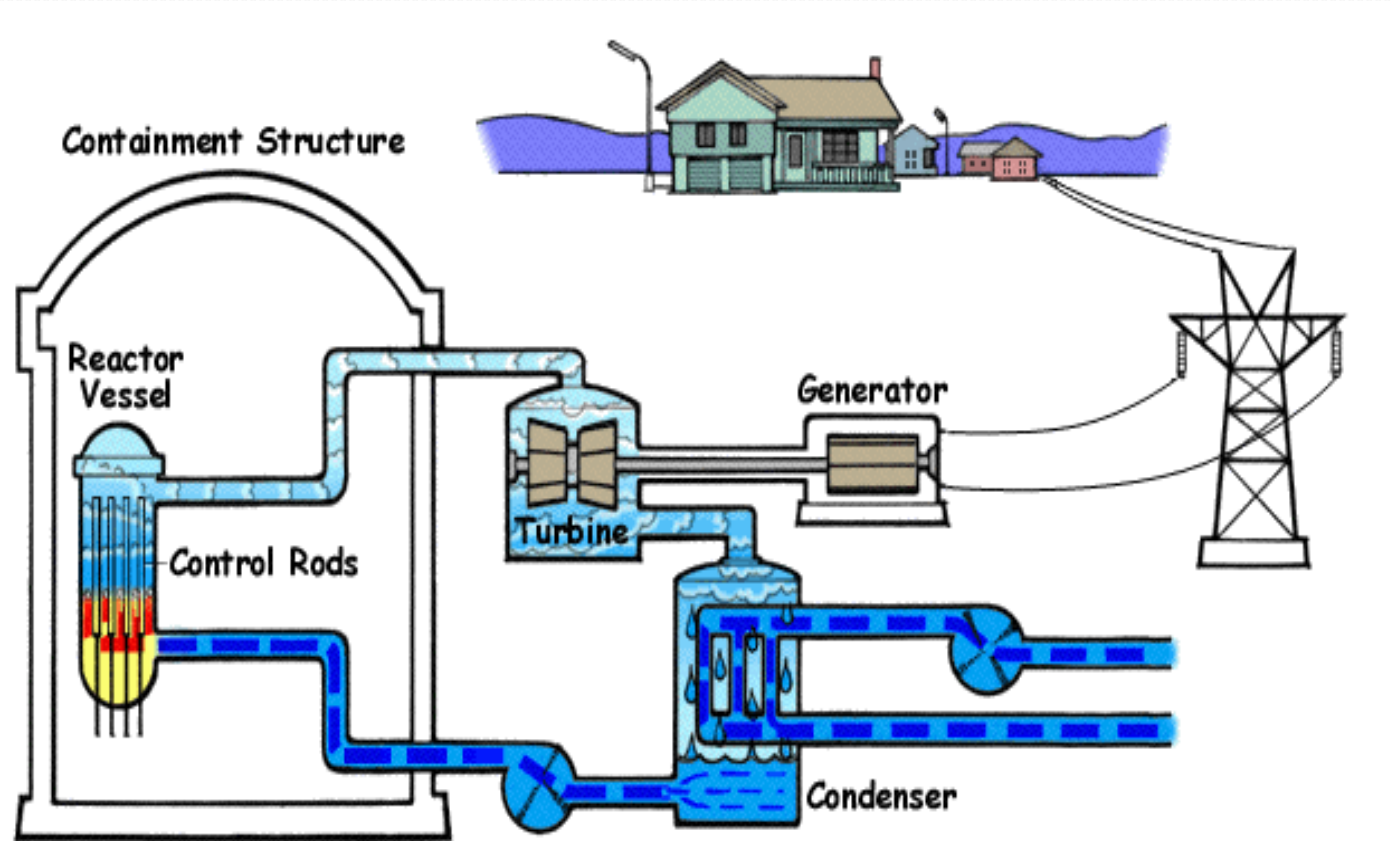
CICLO TERMODINÁMICO

☐ El calor producido es removido por el agua que sirve como refrigerante hasta hervir y convertirse en vapor, en un reactor de agua en ebullición; en el caso de un reactor de agua a presión el agua transfiere su calor a través de un intercambiador de calor y el agua del circuito secundario es la que hierve.

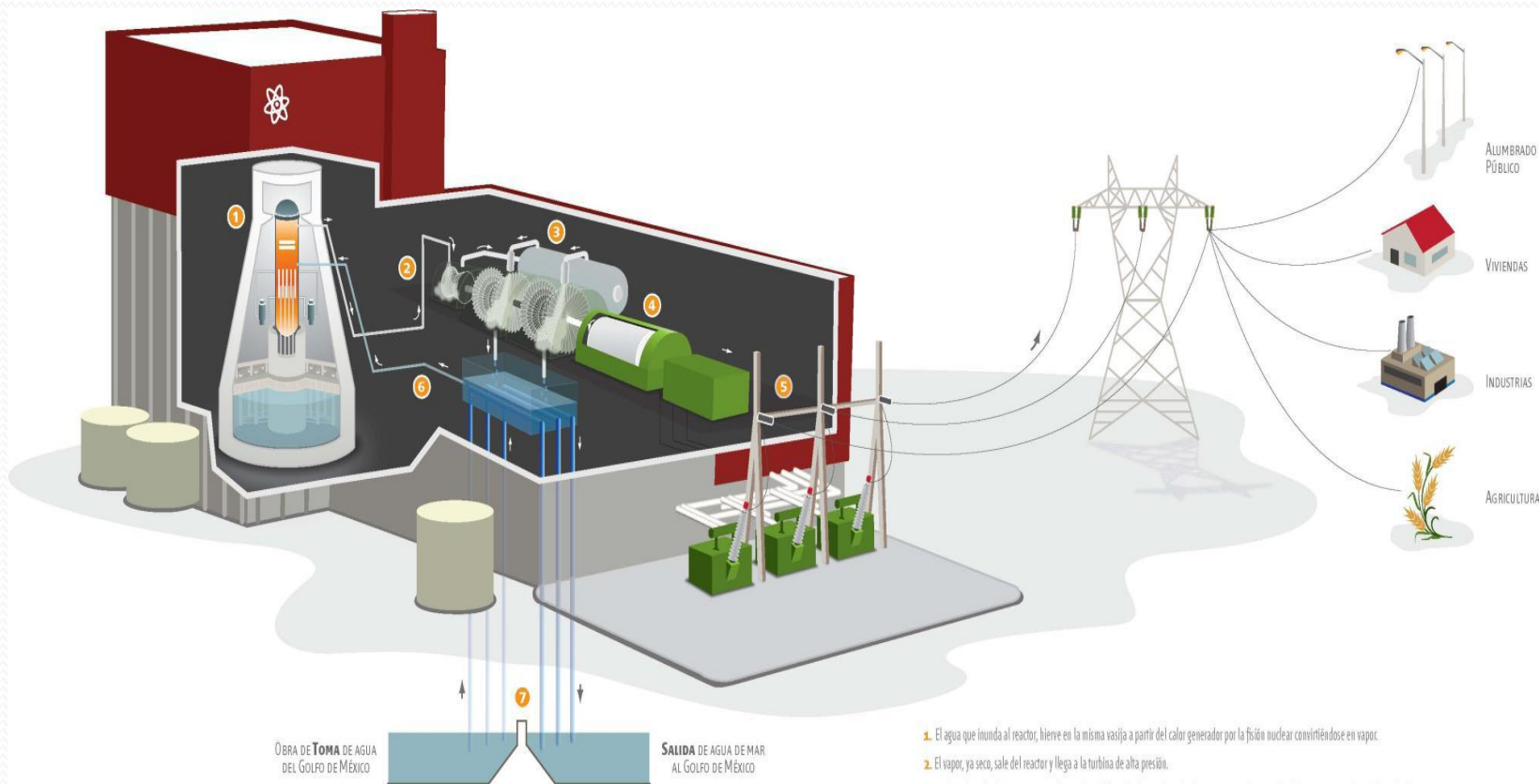
☐ El vapor pasa a las turbinas que mueven al generador eléctrico y éste produce electricidad que pasa a los transformadores para ser incorporada al Sistema Eléctrico.

☐ Luego de mover las turbinas, el vapor pasa al condensador, enfriándose con agua de mar (o mediante torres de enfriamiento) para convertirse en líquido y volver al reactor.

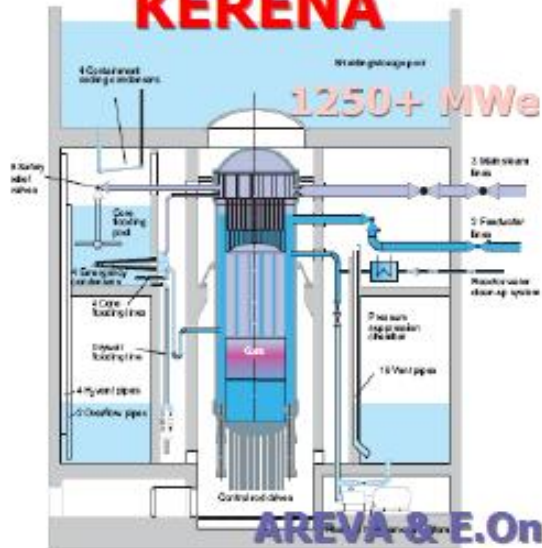
CICLO TERMODINÁMICO REACTOR BWR



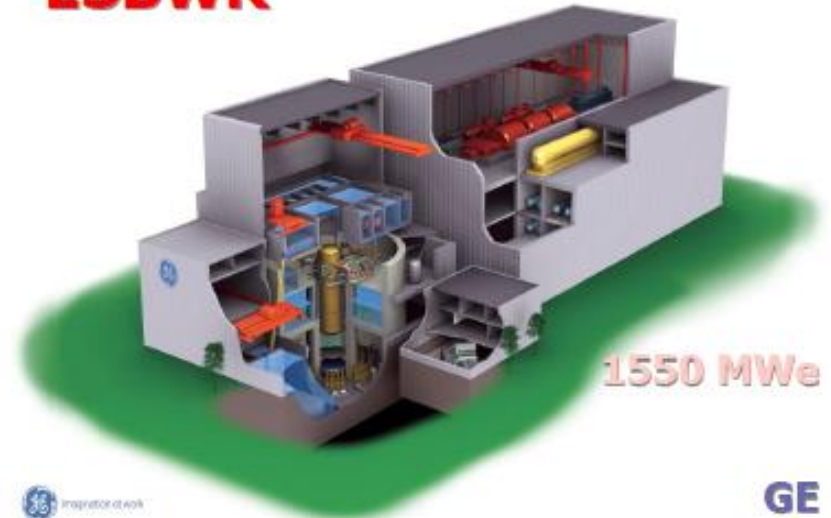
CICLO TERMODINÁMICO REACTOR BWR



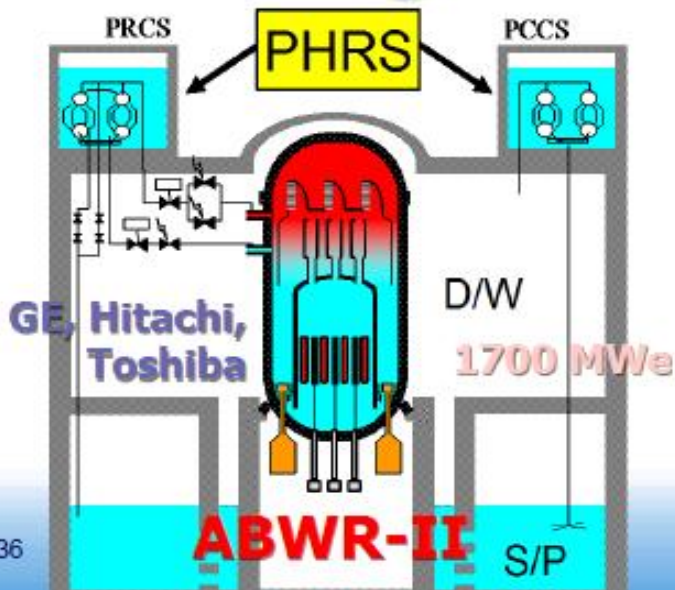
KERENA



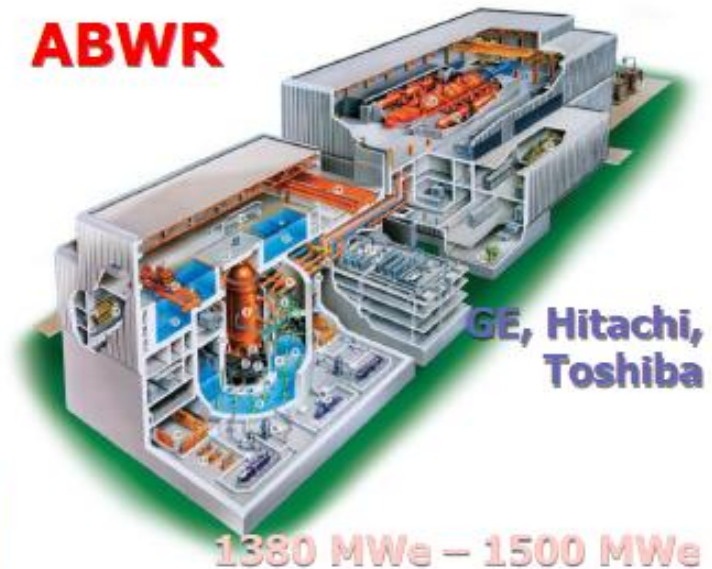
ESBWR



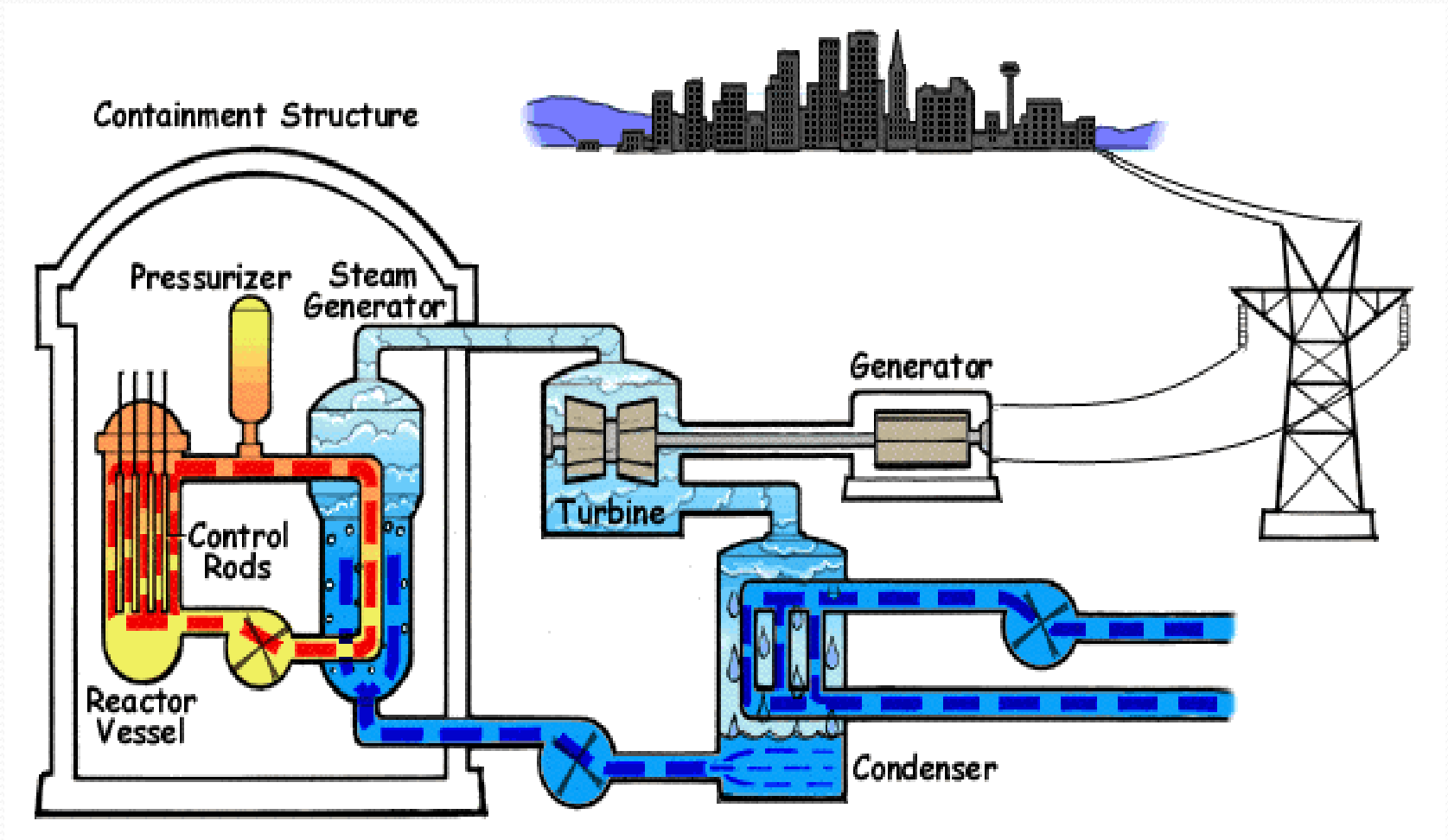
Boiling Water Reactors (BWR)



ABWR



CICLO TERMODINÁMICO REACTOR PWR



APR-1400



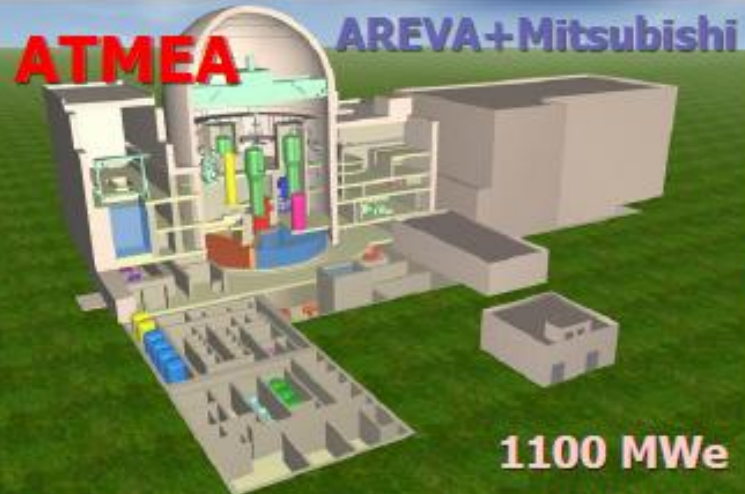
1400 MWe

KHNP

WWER-1000/1200



Gidropress
1000 – 1200 MWe



1100 MWe

Water Reactors



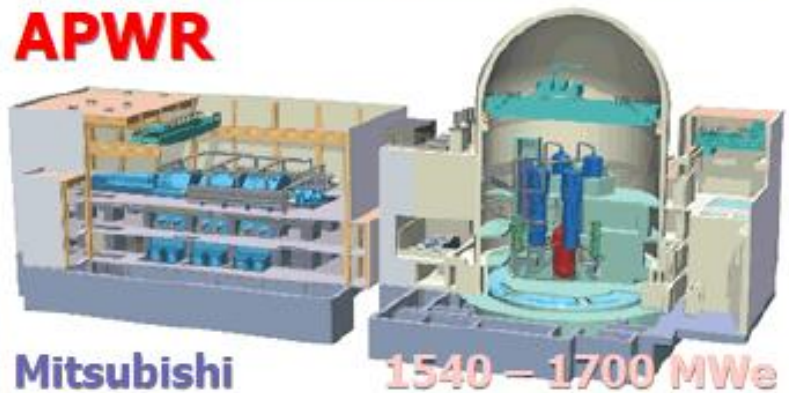
1100 MWe

Westinghouse



1600+ MWe

APWR

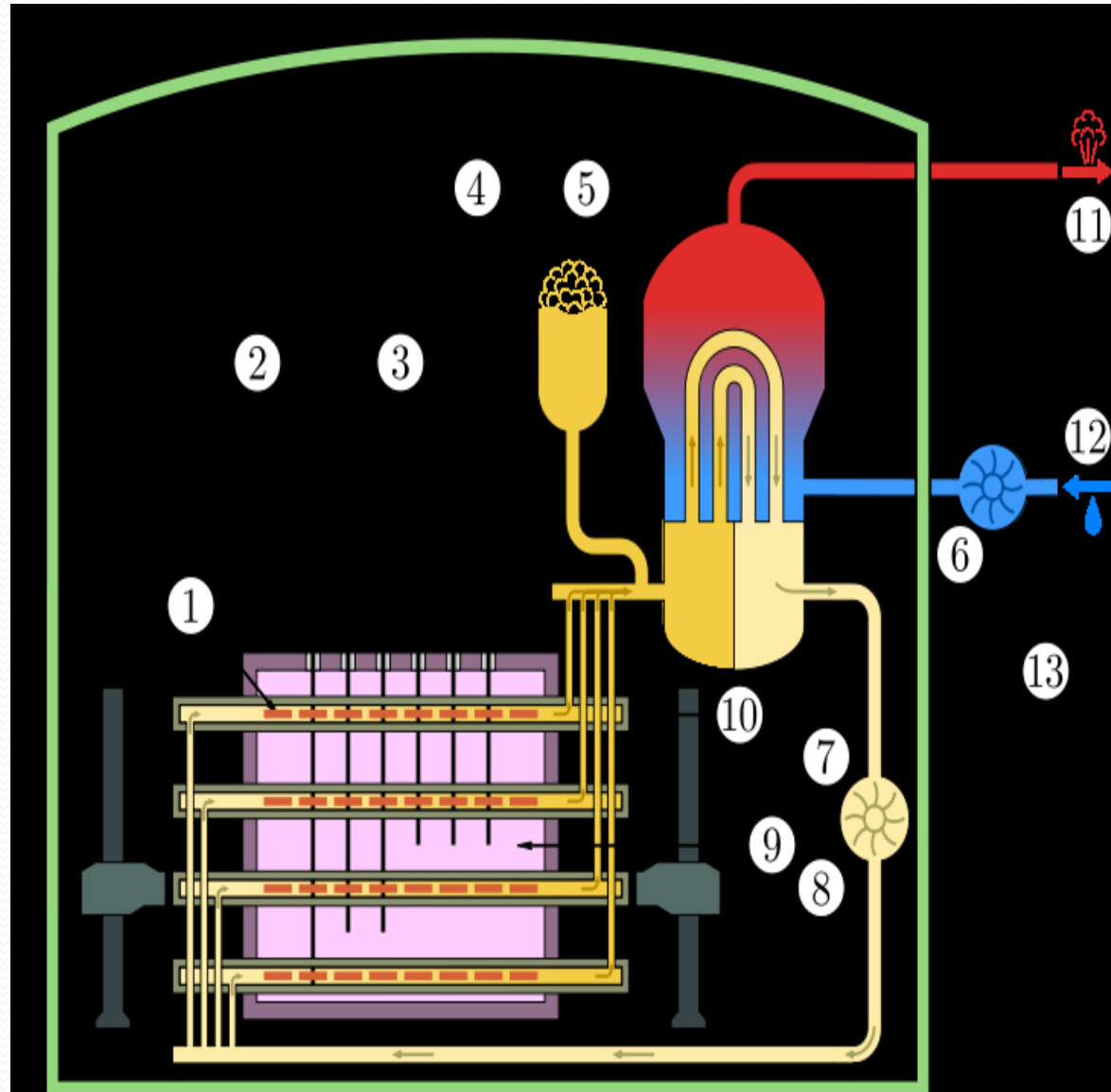


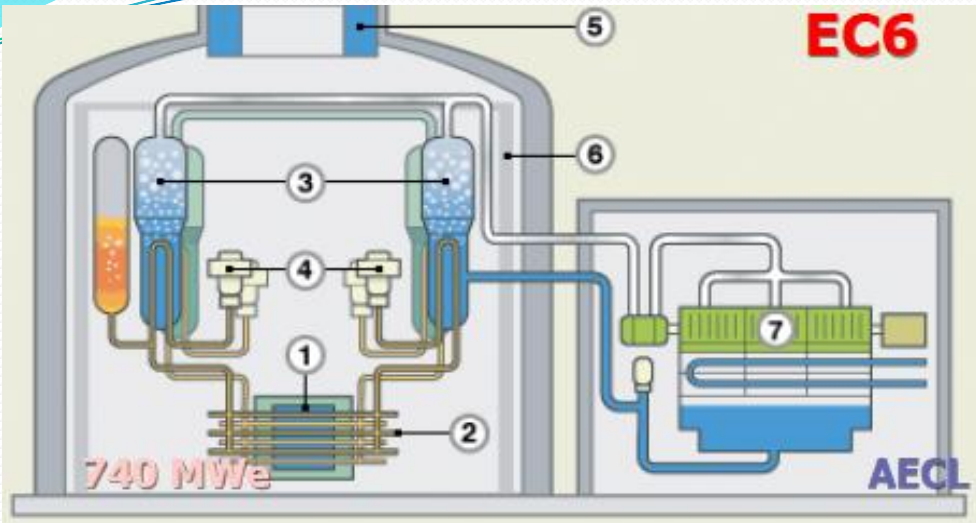
Mitsubishi

1540 – 1700 MWe

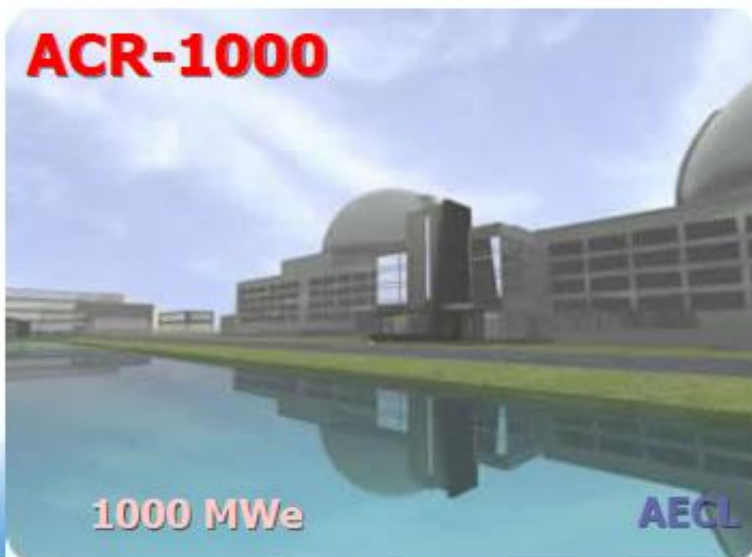
Reactor de agua pesada a presión (PHWR)

- 1. Barra de combustible nuclear
- 2. Calandria
- 3. Barras de control
- 4. Presurizador
- 5. Generador de vapor
- 6. Bomba de agua ligera condensada
- 7. Bomba de agua pesada
- 8. Máquina de cargamento del combustible nuclear
- 9. Moderador de agua pesada
- 10. Tubos de presión
- 11. Vapor
- 12. Agua condensada
- 13. Contención

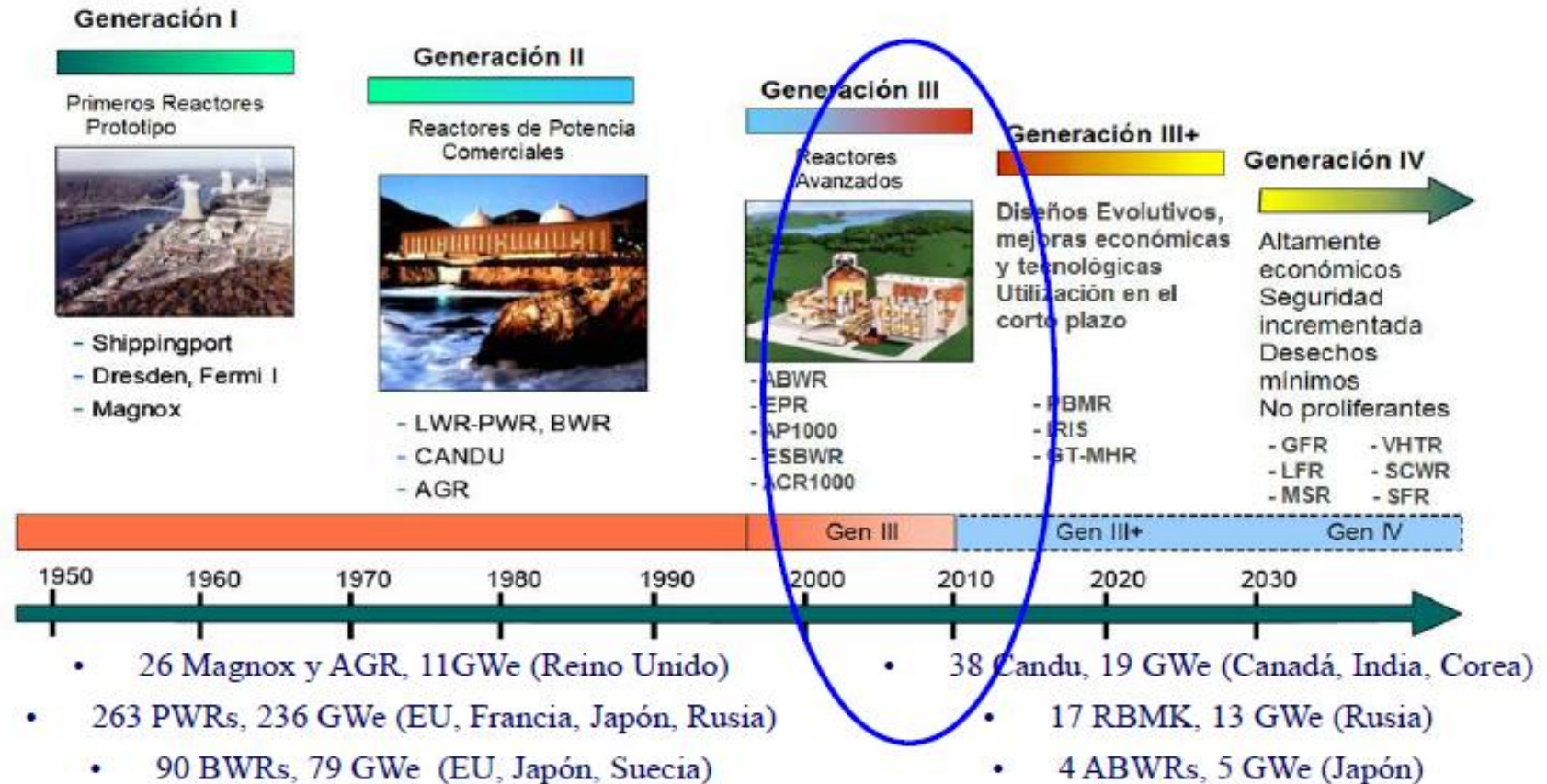




Heavy Water Reactors (HWR)



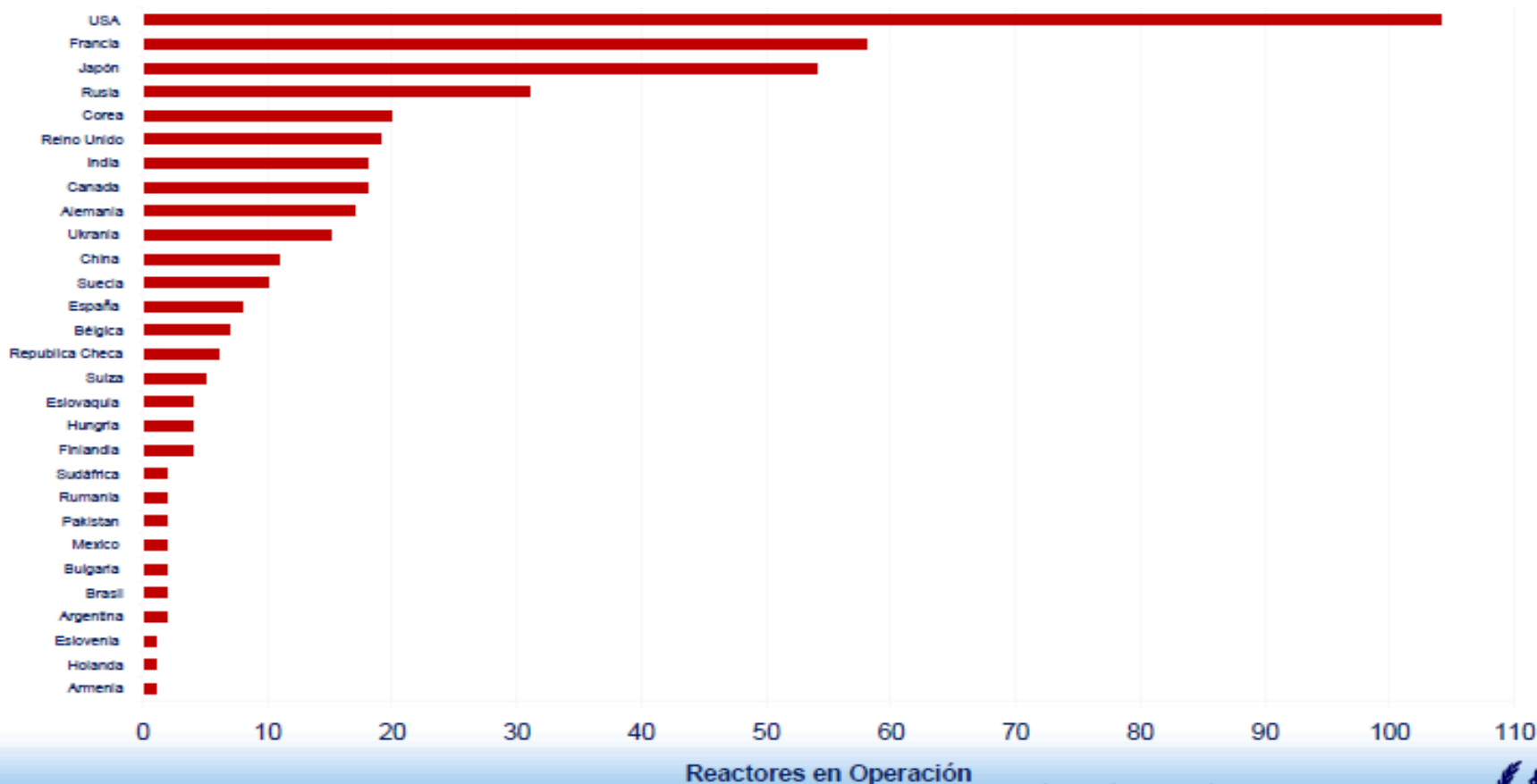
Evolución de la Energía Nuclear



El primer reactor nuclear inició operación comercial en la década de 1950, al día de hoy 14,512 años-reactor de experiencia. Además, 56 países operan un total de 284 reactores de investigación y 220 barcos y submarinos nucleares.

Situación Mundial

- 443 reactores nucleares de potencia en 29 países, con una capacidad combinada de 370 GWe, que generaron 2,658 TWh en 2010 lo cual representó el 14.7% de la electricidad mundial generada en 2010.



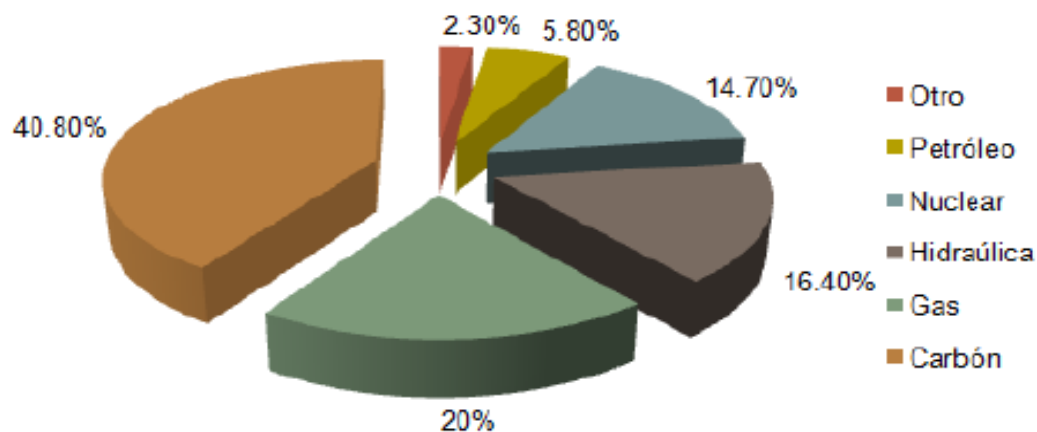
Reactores en Operación

International Atomic Energy Agency

Fuente: World Nuclear Association



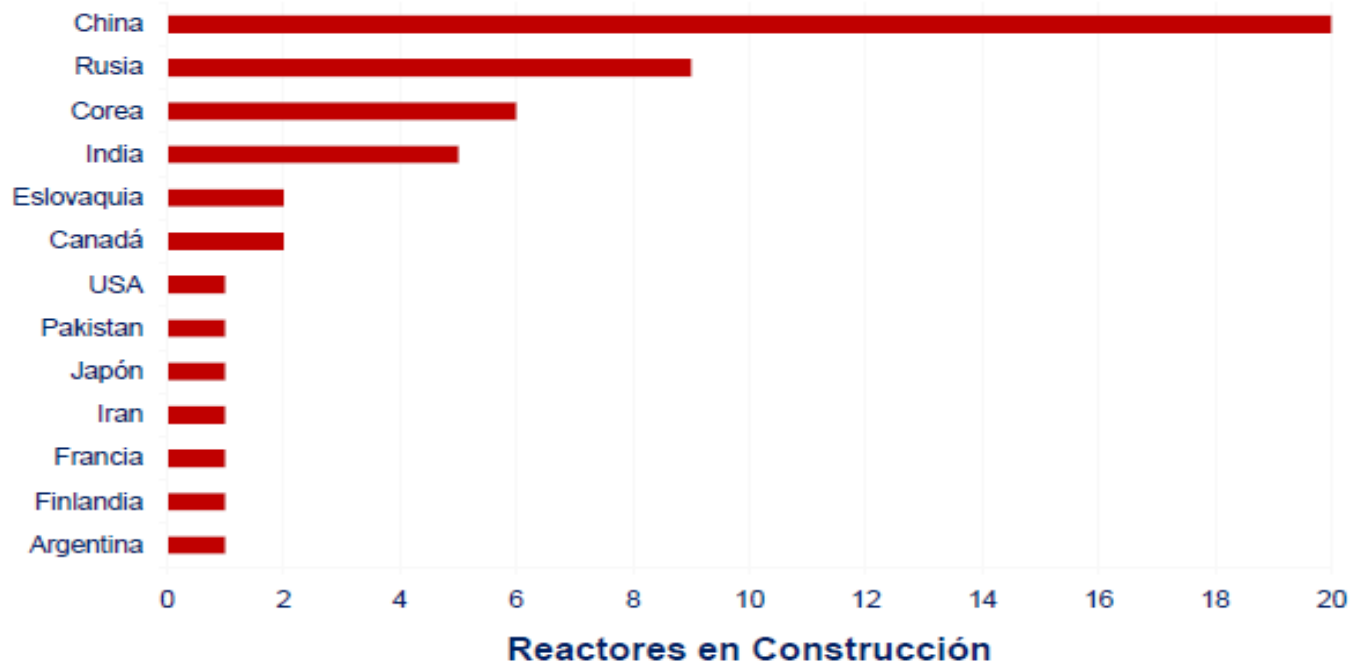
Generación de Electricidad por Tipo de Fuente en 2010



La energía eléctrica de origen nuclear ahorra 1600 millones de toneladas de CO₂ al año.

Reactores en Construcción

- Se están construyendo 53 nuevos reactores nucleares en 13 países, principalmente en Asia.





FIN