

LA ENERGÍA NUCLEAR

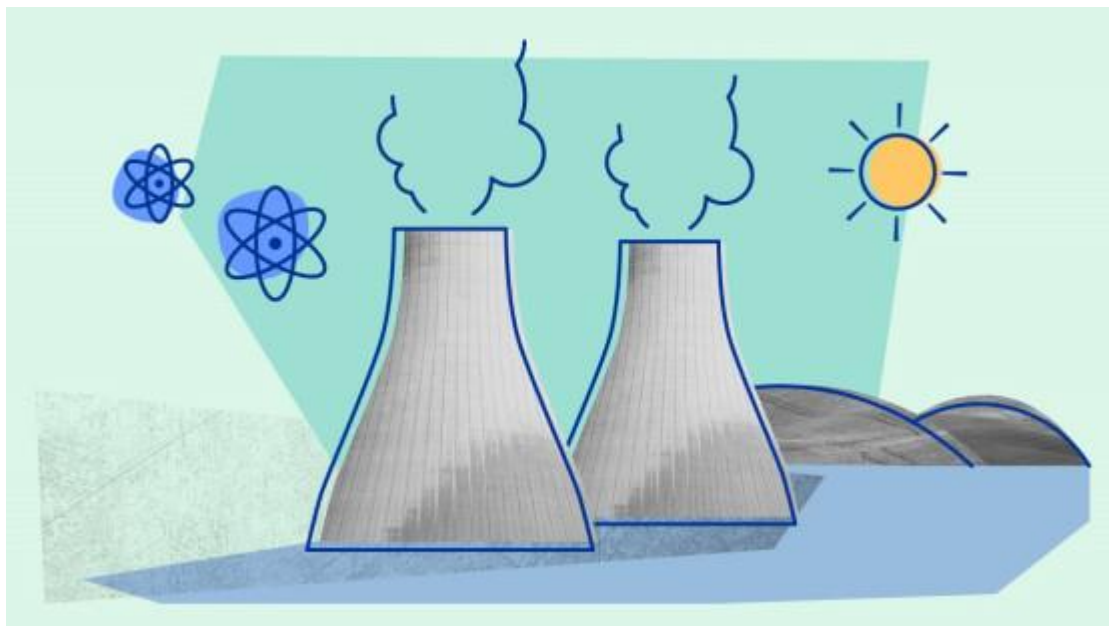
¿QUÉ ES LA ENERGÍA NUCLEAR?

La energía nuclear es un tipo de **energía limpia, aunque no renovable**, que cuenta con importantes ventajas que la hacen una firme candidata para participar en la transición energética a nivel mundial. Sin embargo, los riesgos que se le atribuyen son tan graves que ponen en tela de juicio su viabilidad. La energía nuclear es una forma de energía que **se libera desde el núcleo o parte central de los átomos, que consta de protones y neutrones**.

Esta fuente de energía **puede producirse de dos maneras**:

- **mediante fisión**: cuando los núcleos de los átomos se dividen en varias partes
- o **mediante fusión**: cuando estos se fusionan.

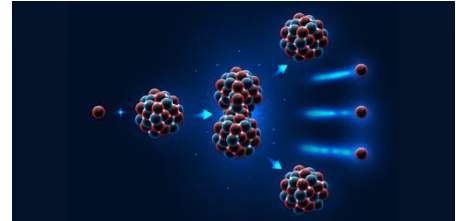
La fisión nuclear es el método que se utiliza hoy día en todo el mundo para producir electricidad a partir de energía nuclear, mientras que la tecnología para generar electricidad a partir de la **fusión** se encuentra en fase de I+D.



TIPOS DE ENERGÍA NUCLEAR

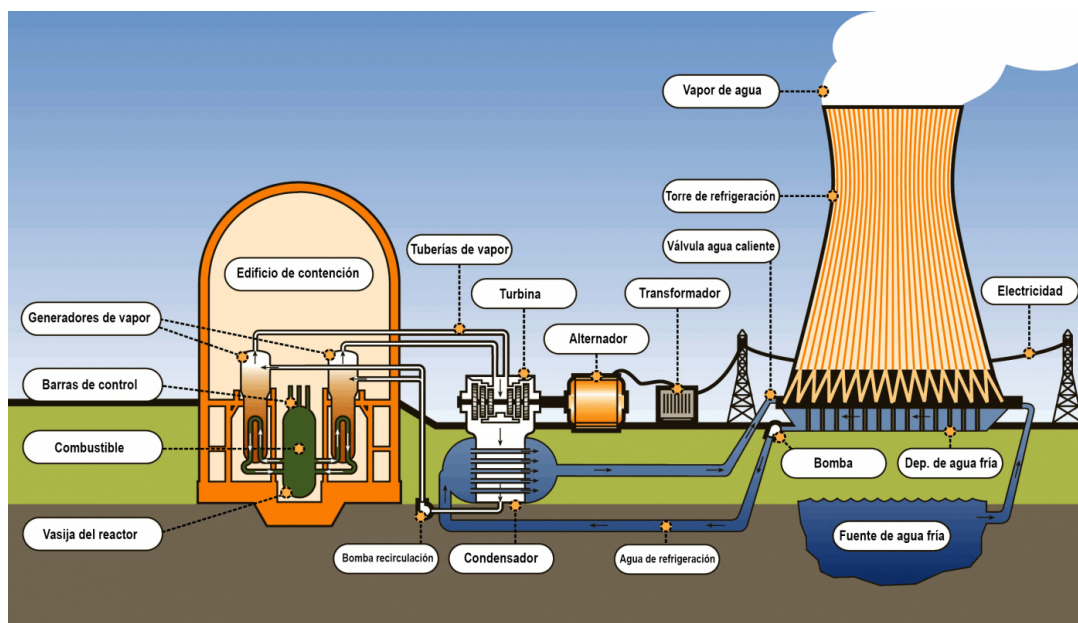
Existen varios tipos de energía nuclear:

- **Energía nuclear de fisión:** es la forma más común utilizada actualmente. Se basa en la fisión nuclear, donde los núcleos de átomos pesados, como el uranio o el plutonio, se dividen en dos núcleos más pequeños liberando una gran cantidad de energía.
- **Energía nuclear de fusión:** este tipo de energía aún está en desarrollo y se basa en la fusión nuclear, donde los núcleos ligeros, como los isótopos de hidrógeno, se fusionan para formar un núcleo más pesado, liberando una enorme cantidad de energía. La fusión nuclear es el proceso que ocurre naturalmente en el sol.
- **Energía nuclear de desintegración radiactiva:** algunos materiales radiactivos, como el plutonio-238 o el americio-241, emiten radiación durante su desintegración, lo que puede ser aprovechado para generar electricidad en dispositivos llamados generadores termoeléctricos de radioisótopos.



Estos son los principales tipos de energía nuclear que se conocen y se han explorado hasta ahora. Cada uno tiene sus propias características y desafíos asociados en términos de tecnología, seguridad y aplicaciones prácticas.

ELEMENTOS DE UNA CENTRAL NUCLEAR



El agua de refrigeración se toma de un río, un embalse o el mar y se utiliza para licuar el vapor de agua en el condensador

PRESIONADOR

Componente del circuito de refrigeración primario, en el que se mantienen en equilibrio la fase líquida y la fase vapor en condiciones de saturación, con el fin de controlar la presión del mismo.

VASIJA DEL REACTOR

Vasija de acero en la que se aloja el reactor nuclear, componente principal de la central nuclear en la que se produce la reacción de fisión en cadena. Su núcleo está formado por los elementos de combustible.

El reactor es la instalación donde se aloja el combustible nuclear. Sus componentes principales son:

- **Combustible.** Material en el que tiene lugar las reacciones de fisión, normalmente se emplea dióxido de uranio enriquecido. Se utiliza simultáneamente como fuente de energía y de neutrones para mantener la reacción en cadena. Se presenta en estado sólido en forma de pastillas cilíndricas encapsuladas en varillas metálicas de unos cuatro metros de longitud.



- **Moderador.** Agua que hace disminuir la velocidad de los neutrones rápidos generados en la fisión, lo que posibilita nuevas fisiones y el mantenimiento de la reacción en cadena.
- **Refrigerante.** Es la misma agua que hace las funciones de moderador, y sirve para extraer el calor generado por la reacción de fisión del uranio del combustible.
- **Barras de control.** Son los elementos de control del reactor y actúan como absorbentes de neutrones. Son barras de indio-cadmio o carburo de boro, que Permiten controlar en todo momento la población de neutrones y mantener estable el reactor y también su parada cuando es necesario.
- **Blindaje.** Evita que las radiaciones y los neutrones del reactor se escapen al exterior. Por lo general, se utiliza hormigón, acero o plomo.

- **Elementos de seguridad.** Todas las centrales nucleares disponen de múltiples sistemas de seguridad para evitar que se libere radiactividad al exterior, entre los que se encuentra el edificio de contención.

COMBUSTIBLE

Material en el que tiene lugar las reacciones de fisión, normalmente se emplea dióxido de uranio enriquecido. Se utiliza simultáneamente como fuente de energía y de neutrones para mantener la reacción en cadena. Se presenta en estado sólido en forma de pastillas cilíndricas encapsuladas en varillas metálicas de unos cuatro metros de longitud.

GENERADORES DE VAPOR

Son intercambiadores de calor en los que el agua de refrigeración del circuito primario, que circula por el interior de los tubos con forma de U invertida, cede su energía al agua del circuito secundario, transformándose ésta en vapor de agua.

EDIFICIO DE CONTENCIÓN



Recinto que alberga el sistema de refrigeración del reactor y diversos sistemas auxiliares. Sirve de blindaje en operación normal e impide la fuga de productos contaminantes al exterior. Tiene la responsabilidad funcional, junto con otros sistemas de salvaguardias, de impedir la liberación, en último término, de productos de fisión a la atmósfera en caso de accidente.

TURBINA

Instalación a la que llega el vapor de agua proveniente de los generadores de vapor, cuya energía se transforma, a través de los álabes, en energía mecánica de rotación. Existen varias secciones para la expansión del vapor. Su eje está solidariamente unido al eje del alternador.

ALTERNADOR

Equipo que produce la electricidad al convertir la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica de media tensión y alta intensidad.

TRANSFORMADOR

Equipo que eleva la tensión de la electricidad producida en el alternador para minimizar las pérdidas en su transporte hasta los puntos de consumo.

AGUA DE REFRIGERACIÓN

Agua que se toma de un río, un embalse o el mar y que se utiliza para licuar el vapor de agua en el condensador. Puede ser devuelta directamente al origen (ciclo abierto) o reutilizarse a través de la torre de refrigeración (ciclo cerrado).

TORRE DE REFRIGERACIÓN

Instalación que permite ceder a la atmósfera, que actúa como foco frío, una parte del calor residual producido en la generación de electricidad. Se utiliza para enfriar el agua que circula por el condensador, formando parte del circuito auxiliar de refrigeración de la central.

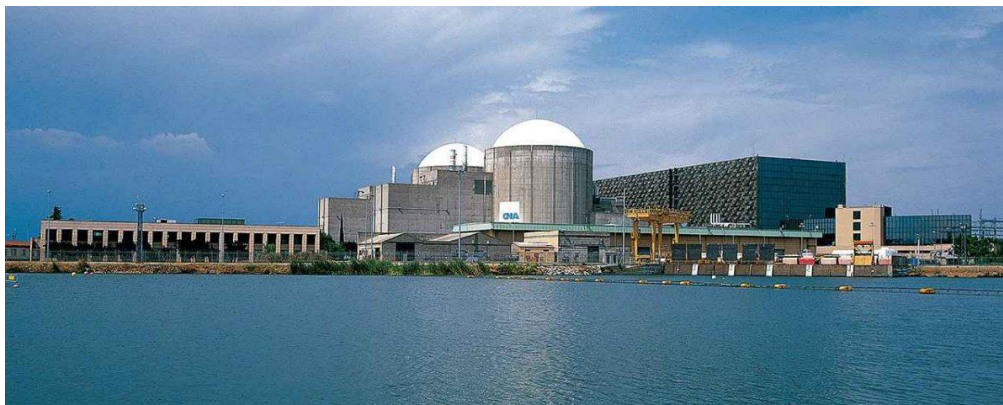
CONDENSADOR

Intercambiador de calor formado por un conjunto de tubos por los que circula el agua de refrigeración. El vapor de agua que entra en el condensador procedente de la turbina se licúa pasando a fase líquida. Esta conversión produce un vacío que mejora el rendimiento de la turbina.



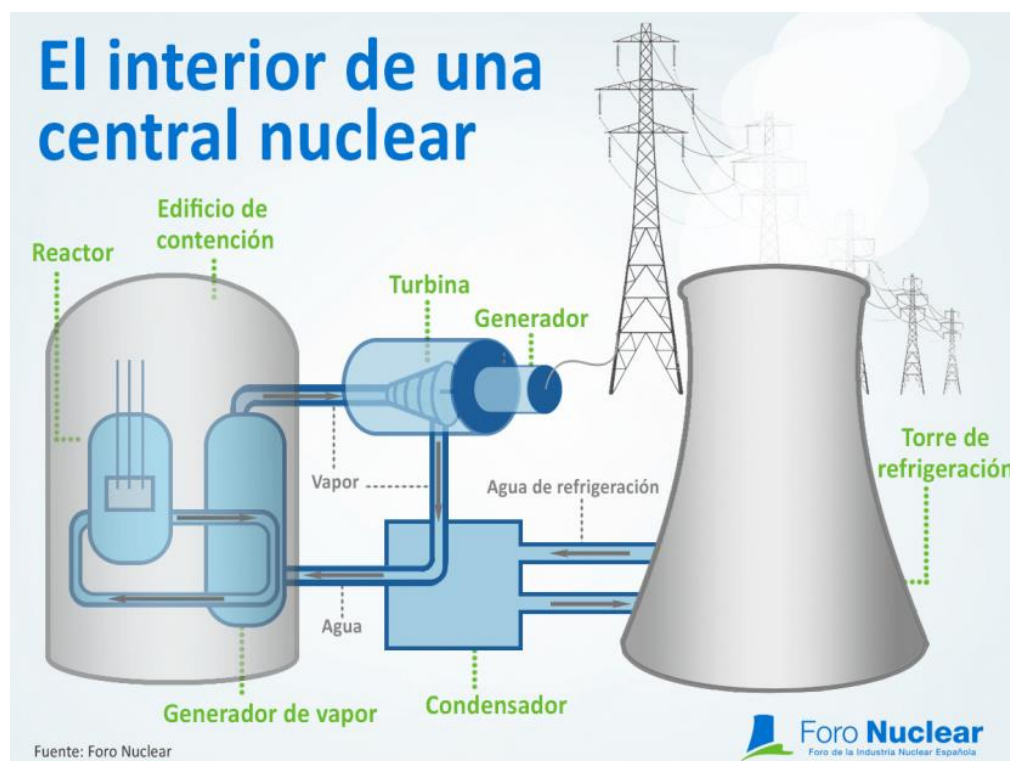
Central Nuclear Cofrentes, España

¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA UNA CENTRAL NUCLEAR?



Una central nuclear es una instalación industrial en la que se genera electricidad a partir de energía térmica producida mediante reacciones de fisión en la vasija de un reactor nuclear.

El calor producido en el reactor de la central calienta agua hasta generar vapor a alta presión y temperatura. Ese vapor acciona una turbina acoplada a un generador eléctrico, que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica.



Dentro de las centrales nucleares, los reactores nucleares y su equipo contienen y controlan las reacciones en cadena, por lo general alimentadas por **uranio 235**, a fin de producir **calor**

mediante fisión.

El calor aumenta la temperatura del refrigerante del reactor, que suele ser agua, para producir vapor. Este se encauza para hacer girar las turbinas, que activan un generador eléctrico con el que se produce **electricidad con bajas emisiones de carbono**.

Cómo funciona una central nuclear en un minuto: <https://youtu.be/cKshqTmSY90>

El funcionamiento de una central nuclear se puede simplificar en estas fases:

1.- La fisión del uranio se lleva a cabo en el reactor nuclear, liberando una gran cantidad de energía que calienta el agua de refrigeración que circula a gran presión. Esta agua se lleva mediante el circuito primario a un intercambiador de calor (generador de vapor), en el que se produce vapor de agua.

Este vapor se transporta al conjunto turbina–generador mediante un circuito secundario.

2.- Una vez ahí, los álabes o palas de la turbina giran por la acción del vapor. El eje de la turbina mueve el alternador, que transforma la energía mecánica en electricidad.

3.- Cuando el vapor de agua ha pasado por la turbina, se envía a un condensador donde se enfría y se convierte de nuevo en agua líquida.

Después, el agua se transporta de nuevo al generador de vapor para volver a conseguir vapor, en circuito cerrado.

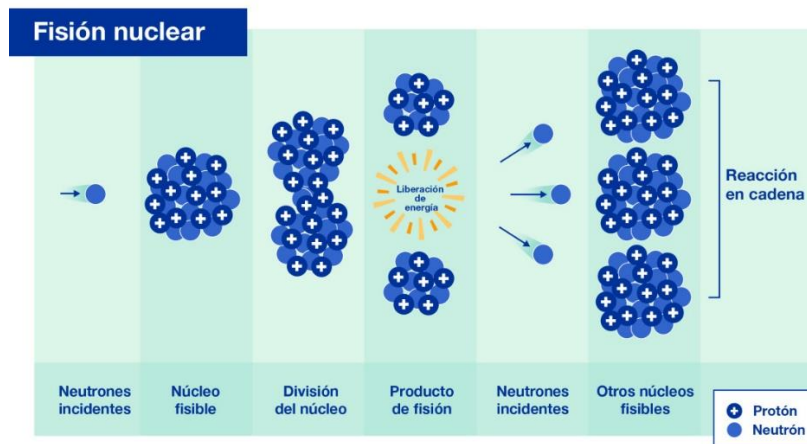
¿QUÉ ES LA FISIÓN NUCLEAR?

La fisión nuclear es una reacción por la que el núcleo de un átomo se divide en dos o más núcleos más pequeños, **liberando** al mismo tiempo **energía**.

Así, cuando un neutrón golpea el núcleo de un átomo de uranio 235, este se divide en dos núcleos más pequeños, por ejemplo, un núcleo de bario y un núcleo de criptón, y se liberan dos o tres neutrones. Estos neutrones adicionales golpearán otros átomos de uranio 235 colindantes, que también se dividirán y generarán, a su vez, más neutrones en un efecto multiplicador, desatando así una **reacción en cadena** en una fracción de segundo.

Cada vez que se produce esta reacción **se libera energía en forma de calor y radiación**.

Ese calor puede transformarse en electricidad en una central nuclear, en un proceso similar al que se emplea para generar electricidad a partir del calor de combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo.



EXTRACCIÓN, ENRIQUECIMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DEL URANIO

El uranio es un metal que se encuentra en rocas de todo el mundo. Tiene varios isótopos de origen natural, es decir, formas de un elemento distintas en términos de masa y propiedades físicas, pero con las mismas propiedades químicas. Sus isótopos primordiales son el **uranio 238** y el **uranio 235**. La mayor parte del uranio que hay en el mundo es uranio 238, que no puede producir una reacción de fisión en cadena, mientras que el uranio 235 sí se puede utilizar para producir energía de fisión, pero representa menos del 1 % del uranio mundial.

A fin de que el uranio natural tenga más probabilidades de fisionarse, es necesario incrementar la cantidad de **uranio 235** en una determinada muestra, mediante un proceso denominado **enriquecimiento de uranio**. Una vez enriquecido, el uranio puede utilizarse eficazmente como **combustible nuclear** en una central durante un período de entre 3 y 5 años, tras lo cual sigue siendo radiactivo y ha de procederse a su disposición final de acuerdo con unas directrices estrictas a fin de proteger a las personas y el medio ambiente. Asimismo, el combustible usado, que también recibe el nombre de combustible gastado, puede reciclarse para dar lugar a otros tipos de combustible y utilizarse como combustible nuevo en centrales nucleares especiales.

¿QUÉ ES EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR?

El ciclo del combustible nuclear es un proceso industrial, integrado por varias etapas, por el que se produce electricidad a partir de uranio en reactores nucleares de potencia. El ciclo comienza con la extracción del uranio y termina con la disposición final de los desechos nucleares.

DESECHOS NUCLEARES

La explotación de centrales nucleares produce desechos de diverso grado de radiactividad, que se gestionan de manera diferente según su nivel de radiactividad y su propósito.

Contienen radiactividad únicamente natural y son los materiales de desecho:

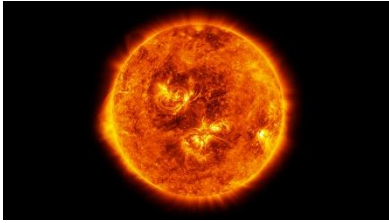
- a) de la minería del uranio
- b) de la separación del uranio, de los minerales extraídos, en las plantas de fabricación de concentrados (torta amarilla)
- c) del enriquecimiento en uranio-235 para aumentar la concentración del isótopo fisionable

GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

Los desechos radiactivos constituyen una pequeña parte de todos los desechos. Se trata de un subproducto procedente de los millones de procedimientos médicos realizados anualmente, las aplicaciones industriales y agrícolas que emplean radiación y los reactores nucleares que generan alrededor del 10 % de la electricidad mundial.

La próxima generación de centrales nucleares, también llamadas reactores avanzados innovadores, generará muchos menos desechos nucleares que los reactores actuales. Se prevé que estas centrales podrían estar construyéndose para 2030.

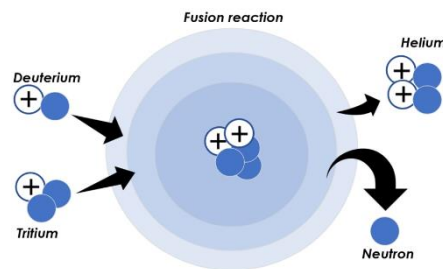
¿QUE ES LA FUSIÓN NUCLEAR?



La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, generalmente liberando partículas en el proceso. Estas reacciones pueden absorber o liberar energía, según si la masa de los núcleos es mayor o menor que la del hierro, respectivamente.

Un ejemplo de reacciones de fusión son las que tienen lugar en el sol, en las que se produce la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio, liberando en el proceso una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que alcanza la superficie terrestre y que percibimos como luz y calor.

Para que tenga lugar una reacción de fusión, es necesario alcanzar altas cotas de energía que permitan que **los núcleos se aproximen a distancias muy cortas en las que la fuerza de atracción nuclear supere las fuerzas de repulsión electrostática**. Para ello, se deben cumplir los siguientes requisitos:



- Para lograr la energía necesaria se pueden utilizar aceleradores de partículas o recurrir al calentamiento a temperaturas muy elevadas. Esta última solución se denomina fusión térmica y consiste en calentar los átomos hasta lograr una masa gaseosa denominada plasma, compuesta por electrones libres y átomos altamente ionizados.
- Asimismo, es necesario garantizar el confinamiento y control del plasma a altas temperaturas en la cavidad de un reactor de fusión el tiempo necesario para que se produzca la reacción.
- También es necesario lograr una densidad del plasma suficiente para que los núcleos estén cerca unos de otros y puedan dar lugar a las reacciones de fusión.

Sin embargo, los confinamientos convencionales, como las paredes de una vasija, no son factibles debido a las altas temperaturas. Por este motivo, se encuentran en desarrollo dos métodos de confinamiento:

- **Fusión por Confinamiento Inercial (FCI):** Consiste en **crear un medio tan denso que las partículas no tengan casi ninguna posibilidad de escapar sin chocar entre sí.** Para ello **se impacta una pequeña esfera compuesta por deuterio y tritio por un haz de láser provocando su implosión.** Así, se hace cientos de veces más densa que en su estado sólido normal permitiendo que se produzca la reacción de fusión. Actualmente hay reactores de investigación con el objetivo de producir energía a través de este proceso.

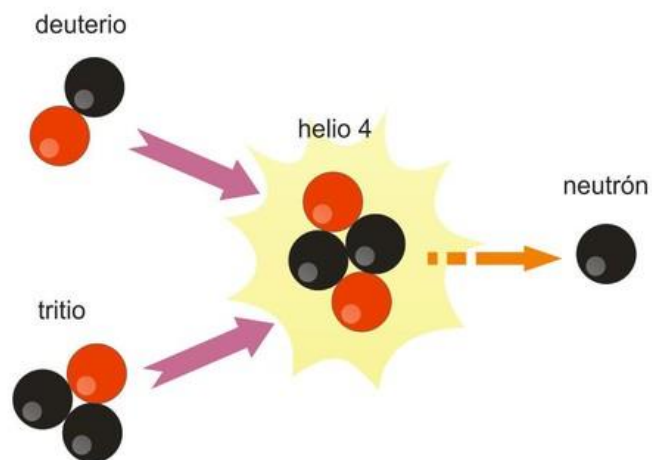
Un reactor de fusión por **confinamiento inercial** estará formado por:

- Una cámara de reacción de menor tamaño que la anterior, también limitada por una pared metálica.
 - Una cubierta de litio.
 - Unas penetraciones para facilitar el paso de la luz procedente de un láser, o las partículas de un haz de iones.
 - Protección contra las radiaciones.
-
- **Fusión por Confinamiento Magnético (FCM):** Las **partículas eléctricamente cargadas del plasma son atrapadas en un espacio reducido por la acción de un campo magnético.** El dispositivo más desarrollado tiene forma toroidal y se denomina Tokamak.

Un reactor de fusión por **confinamiento magnético** está formado por:

- Una cámara de reacción, limitada por una pared metálica.
- Una cubierta de material formada por litio, que sirva tanto para extraer el calor de la pared metálica y para la producción de tritio, suponiendo que el combustible de la cámara de reacción sea deuterio-tritio.
- Unas grandes bobinas para generar el campo magnético.
- Protección contra las radiaciones.

FUSIÓN NUCLEAR:



<https://www.bbc.com/mundo/articles/cp6ppzdr1e2o>

TIPOS DE INSTALACIONES NUCLEARES

Se consideran instalaciones nucleares:

- a) **Las centrales nucleares**, es decir, instalaciones fijas cuya función principal es la producción de energía mediante un reactor nuclear.
- b) **Los reactores nucleares**, son las estructuras que permiten la disposición del combustible nuclear de tal modo que dentro de ellos pueda tener lugar un proceso automantenido de fisión nuclear, sin necesidad de una fuente adicional de neutrones.
- c) **Las fábricas** que utilizan sustancias nucleares para producir combustibles nucleares u otras fábricas de tratamiento de sustancias nucleares, como las instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados.
- d) **Las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares**, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte.

e) Los **dispositivos e instalaciones que utilicen reacciones nucleares de fusión o fisión para producir energía** o con vistas a la producción o desarrollo de **nuevas fuentes energéticas**.

TIPOS DE REACTORES NUCLEARES

El **Reactor Nuclear** es el lugar donde se lleva a cabo la fisión nuclear y es el corazón de la Central Nucleoeléctrica.

De acuerdo al tipo de Central Nuclear coexisten diferentes circuitos: primario, secundario y refrigeración para condensar el vapor de agua a la salida de la turbina de vapor. Por cuestiones de seguridad, en las centrales nucleares la temperatura y presión son más bajas que en una fósil.

Los reactores y por lo tanto las centrales, se clasifican en térmicos y rápidos, de acuerdo a la velocidad de los neutrones que producen las reacciones de fisión.

➤ **Reactores Térmicos**

Los reactores nucleares térmicos **son los más comunes y se clasifican de acuerdo al tipo de moderador empleado**, en **reactores de agua ligera**, **agua pesada** y **grafito**. Algunos de estos tipos de reactores en operación son:

- **LWR - Light Water Reactor (Reactor de agua ligera)**, que utiliza **agua ligera como refrigerante y moderador y U enriquecido como combustible**. Los más utilizados son:
 - **BWR** (Boiling Water Reactor o reactor de agua en ebullición)
 - **PWR** (Pressure Water Reactor o reactor de agua a presión)
- **PHWR - (Pressure Heavy Water Reactor o reactor de agua pesada a presión)**, **es del tipo PWR, pero utiliza agua pesada como refrigerante y moderador y U natural o ligeramente enriquecido como combustible**. Uno de estos reactores es el **CANDU (Canada Deuterium Uranium)**.
- **AGR - Advanced Gas-cooled Reactor (reactor avanzado refrigerado por gas)**, que utiliza **U como combustible, CO₂ como refrigerante y grafito como moderador**.
- **LWGR-RBMK - Reactor Bolshoy Moshchnosty Kanalny (reactor de canales de alta potencia)**, es un **reactor en ebullición**. Su principal función es la producción de plutonio y como subproducto la generación de energía eléctrica. **Utiliza grafito**

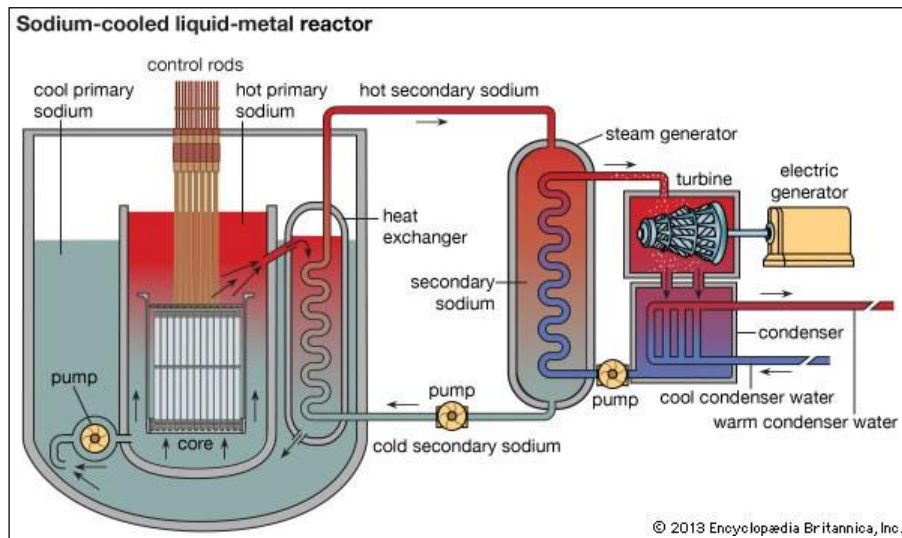
como moderador, agua como refrigerante y U enriquecido como combustible.
Puede recargarse en marcha. El reactor de Chernóbyl era de este tipo.

➤ Reactores Rápidos

En este tipo de reactor la reacción de fisión es mantenida por los neutrones rápidos, por esta razón no existe el elemento moderador (diferencia con el reactor térmico). El **combustible** de la zona central, formado por un **óxido de U y Pu** (plutonio), se rodea de una zona de **óxido de U empobrecido** (presenta menor contenido de ^{235}U que el que se encuentra en el U natural). Con esta disposición y usando un **refrigerante** que no produzca la moderación de neutrones (**normalmente se emplea sodio líquido**), se puede conseguir que en la capa de ^{238}U que rodea al combustible se genere más Pu que el que se consume en la zona central. De esta forma, al mismo tiempo que se está generando energía térmica, se está produciendo combustible en forma de ^{239}Pu que puede usarse en cualquier tipo de reactor, tanto rápido como térmico. A este tipo de reactores también se los conoce por reactores reproductores, y su importancia es enorme, ya que permiten obtener un mejor aprovechamiento de los recursos existentes de U. Un reactor de este tipo es el **FBR (Fast Breeder Reactors - Reactores Rápidos Reproductores)**.

La **generación IV de reactores rápidos** del futuro, serán del tipo:

- **Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR)**. Reactores **enfriados por sodio**, pertenecientes a la clase **LMFBR (Liquid Metal Fast Breeder Reactor)** con diseños de reactores integrados.
- **Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)**. Reactores enfriados por helio
- **Lead-Cooled Fast Reactor (LFR)**. Reactores **enfriados por plomo**, basados en la propulsión nuclear de unidades navales soviéticas.

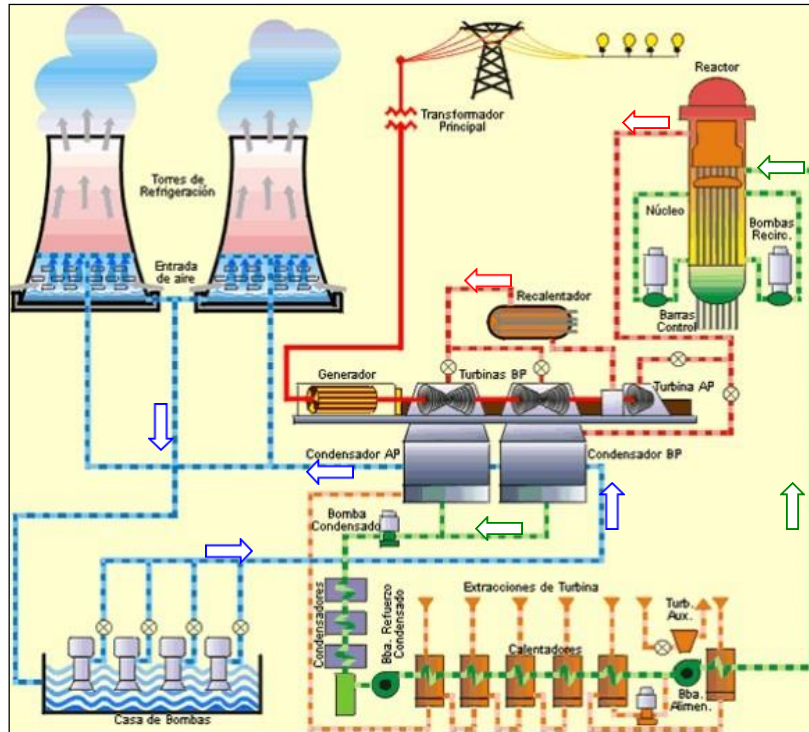


Central nuclear con reactor tipo LMFBR enfriado con sodio

REACTORES TÉRMICOS

a) Reactor de Agua en Ebullición (BWR-Boiling Water Reactor)

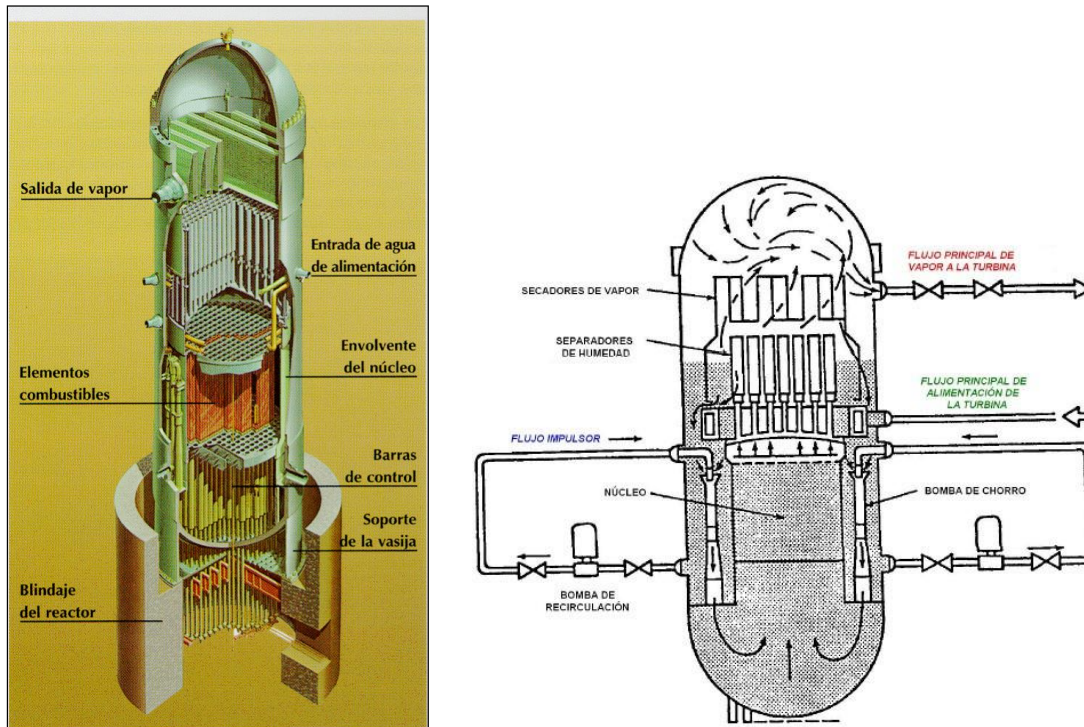
Fue la empresa General Electric la que desarrolló los reactores de agua ligera tipo BWR. Es un reactor muy usado ($\approx 15\%$ de todos los reactores). **Emplea UO_2 enriquecido como combustible y agua ligera como moderador, refrigerante y fluido de trabajo.** Consta de dos circuitos, el primario (línea verde y roja con puntos) y el de refrigeración para condensar vapor de agua (línea azul).



Central con BWR, con su circuito primario y de refrigeración para condensar

- **Circuito primario:** La fisión del U contenido en el interior de la vasija crea un foco de calor, cuya energía es recogida y transportada por el refrigerante que fluye por el sistema de tuberías de este circuito impulsado por una bomba. El refrigerante del reactor no trabaja a gran presión (≈ 75 atm, la mitad de un PWR) por lo que alcanza la temperatura de ebullición (≈ 280 °C) al pasar por el núcleo del reactor y parte del líquido se transforma en vapor, al que luego de separarlo y reducirle su contenido de humedad, se conduce el vapor seco directamente hacia la turbina de vapor.
- **Circuito de refrigeración para condensar vapor de agua:** Para conseguir la condensación del vapor a la salida de la turbina, se necesita un circuito con agua que al fluir por el interior del condensador logre la extracción del calor del vapor. Para mantener la temperatura de esta agua a los niveles deseados, se utiliza un sistema de ciclo abierto (torres de tiro natural), cuya fuente de agua es un río o una represa. Esta agua es impulsada por bombas al condensador, retornando luego nuevamente al río.

Algunas Características: Las barras de control se introducen por la parte inferior de la vasija, dado que el acceso al núcleo del reactor desde la parte superior de la vasija es imposible, debido a la presencia de los separadores y secadores de vapor. Los principales constituyentes del reactor, así como el camino que sigue el fluido de trabajo.

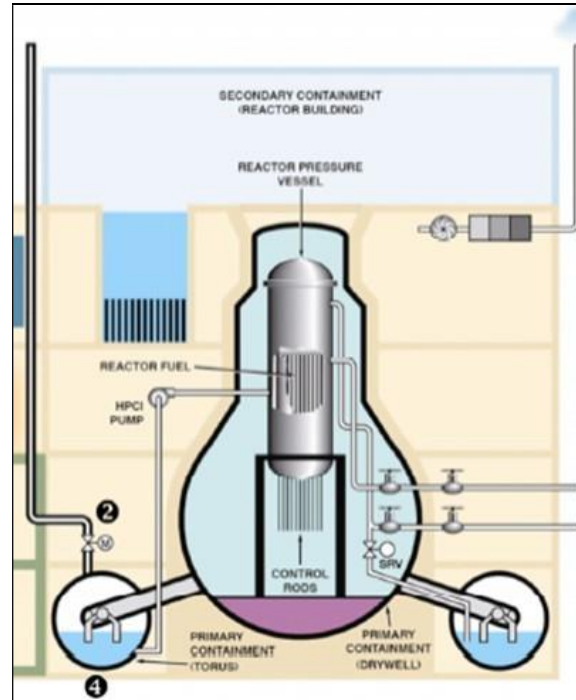
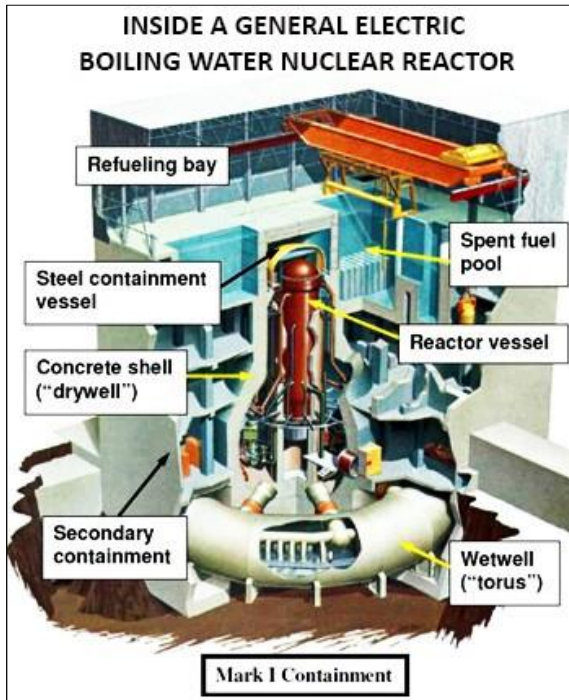


Esquema de un reactor BWR

El ácido bórico no se usa para el control continuo, ya que el ácido es muy corrosivo y se evita además el sistema que se encarga de regular la concentración de este absorbente de neutrones. Sin embargo, la mayoría de los reactores BWR comerciales incluye un sistema de apagado de emergencia basado en la inyección de ácido bórico en el refrigerante del circuito primario.

Control de potencia del reactor: Se puede realizar por medio del movimiento de las barras de control, combinado con la regulación del caudal del refrigerante que pasa por el reactor. Cuando se opera con las barras totalmente extraídas, la potencia puede variarse entre un 30% y un 100% de la potencia nominal cambiando el flujo de agua. Cuando se incrementa el flujo, las burbujas de vapor de agua son removidas más rápidamente del reactor aumentando la cantidad de agua líquida que circula por el mismo, por lo que se moderan más neutrones, hay más fisiones y el reactor aumenta su potencia. Esta característica de autorregulación es muy importante para la seguridad nuclear de los BWR: si existe un aumento incontrolado de la potencia del reactor, aumenta la ebullición de agua, hay una mayor producción de burbujas, menor moderación de neutrones, menor nº de fisiones y disminuye la potencia del reactor.

Sistema de supresión de presión: El BWR posee un toroide o anillo interno de supresión de presión (torus), parcialmente lleno de agua a temperatura ambiente, que rodea a la vasija del reactor por su parte inferior. Si un evento ocurre, por ejemplo, una elevación de la presión del vapor de agua que se está generando en el reactor, se abre la válvula de seguridad de la vasija y se envía parte del vapor al torus para que se condense y así reducir la presión del circuito primario. De esta manera se alivia la presión y se extrae calor del reactor. Cuando la temperatura en el torus alcanza unos 100 °C el sistema se vuelve ineficiente.



Entorno físico donde se encuentra el Reactor BWR (Central de Fukushima)

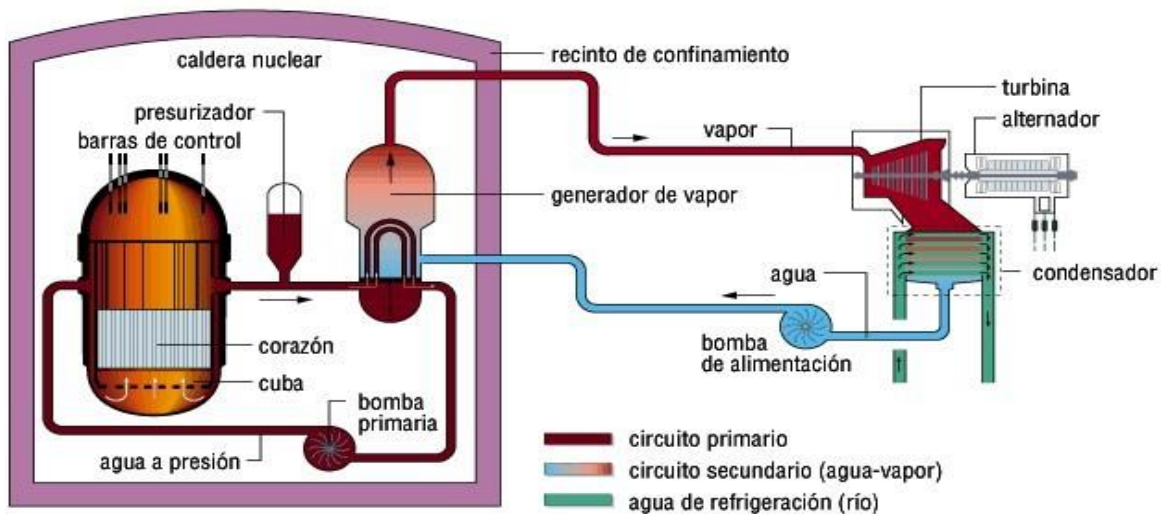
Protección Biológica: Está basada en hormigones especiales y plomo, materiales necesarios en todos los reactores nucleares, pero que aquí debe ser extendida a todo el circuito de vapor de la turbina y al agua del condensador, bomba centrífuga y tubería correspondiente. Las piletas de almacenaje del combustible ya usado, se encuentran en general por arriba del reactor.

La mayor parte de la radiactividad en el agua es de muy corta duración (con una vida media de 7 segundos), por lo que se puede acceder a la sala de turbinas inmediatamente después que el reactor se apagó.

El reactor BWR tiene una eficiencia térmica de $\approx 33\%$.

b) Reactor de Agua a Presión (PWR-Presurized Water Reactor)

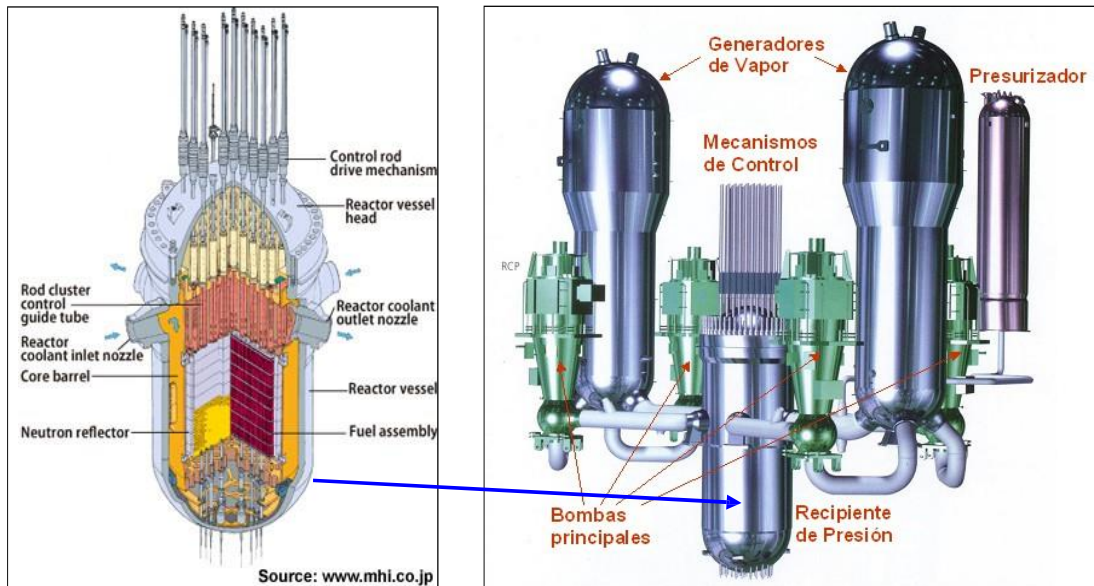
Fue la empresa Westinghouse la que desarrolló los reactores de agua ligera tipo PWR. Es el más empleado en el mundo ($\approx 64\%$ de todos los reactores). Emplea UO_2 enriquecido como combustible (2 al 4%) y agua ligera como moderador y refrigerante. **El refrigerante circula a una presión tal que el agua no alcanza la ebullición**, extrayendo el calor del reactor, pasando luego por un intercambiador de calor, donde se genera el vapor que alimenta a la turbina. Consta de tres circuitos independientes: primario, secundario y de refrigeración para condensar vapor de agua (Figura 21).



Esquema de una Central nuclear PWR

Circuito primario: La fisión del combustible nuclear calienta el refrigerante del circuito primario, entregando calor por conducción térmica a través de la vaina que contiene al combustible. Esta energía es recogida y transportada por el refrigerante que circula por el sistema de tuberías de este circuito impulsado por una bomba centrífuga de alto flujo, que además de transportar calor, controla la temperatura del reactor. En un PWR, el circuito primario está presurizado a unas 150 atm por medio de un presurizador, con el fin de evitar que el agua alcance su punto de ebullición (de aquí el nombre de este tipo de reactores), obteniendo así una temperatura $\approx 310^\circ\text{C}$. Este es un recipiente cilíndrico vertical a presión, que contiene agua y vapor en equilibrio, manteniendo por medio de un sistema de calentadores eléctricos y atomizadores, una presión controlada del recipiente y del circuito primario. En su parte inferior se insertan resistencias eléctricas de calefacción, mientras que en la parte superior se encuentran unas boquillas de aspersión de agua fría a presión. Durante la operación, cuando la presión desciende por debajo de cierto nivel, de manera instantánea se conectan las resistencias eléctricas, vaporizando una cantidad de agua que restituye la presión al valor adecuado. Si la presión es elevada por encima de un nivel prefijado, se genera un rociado de vapor con agua fría que ingresa por las boquillas de aspersión, generando una condensación de una porción del vapor que se encuentra en el presurizador, de esta forma, se produce un descenso de la presión.

El refrigerante fluye a través de unos haces de tubos metálicos (generador de vapor) que están bañados exteriormente por un flujo de agua liviana (circuito secundario) que absorbe el calor que cede el refrigerante, de forma tal que el agua del circuito secundario que está a una presión menor, pasa del estado líquido al estado de vapor (Figura 22).



Esquema del reactor, y del conjunto Bombas, Presurizador y Generadores de Vapor

Circuito Secundario: Está presente en un central tipo PWR. En el circuito secundario el vapor producido por el generador de vapor se conduce a una turbina donde transforma su energía térmica en mecánica. El vapor que sale de la turbina es transformado a su vez en agua mediante la intervención de un foco frío, que es el condensador, y ésta es devuelta al generador de vapor para reiniciar el ciclo. Cabe hacer notar, que el agua del circuito secundario nunca se mezcla con el agua del circuito primario (agua radiactiva). En la mayoría de los diseños la presión del secundario es de ≈ 60 atm y la temperatura del vapor es de ≈ 275 °C. Como el circuito primario y secundario son independientes, la turbina puede quedar fuera de la protección biológica.

Circuito de refrigeración para condensar vapor de agua: Idem al BWR

Control de la Potencia: La potencia del reactor en PWR se controla normalmente variando la concentración de ácido bórico en el refrigerante del circuito primario. El boro es un absorbente de neutrones muy eficaz y, por lo tanto, incrementando o reduciendo la concentración de boro en el reactor se afecta la población de neutrones en el reactor. Además, el reactor utiliza barras de control que se insertan desde arriba (diferente al BWR) entre los elementos combustibles y se utilizan normalmente solo para las operaciones de arranque y parada del reactor.

Recarga de combustible: Al final de cada ciclo de operación (entre 12 y 24 meses) se detiene el reactor y tiene lugar la recarga del reactor, momento en el que se extraen los elementos combustibles más gastados y se insertan los elementos nuevos o frescos ($\approx 1/3$ del total). Por ello, al comienzo de un ciclo nuevo en un PWR, el exceso de reactividad es considerable. El elemento combustible irradiado se deposita en una piletta de enfriamiento hasta que descienda lo suficiente su radiactividad como para permitir que sea reprocesado.

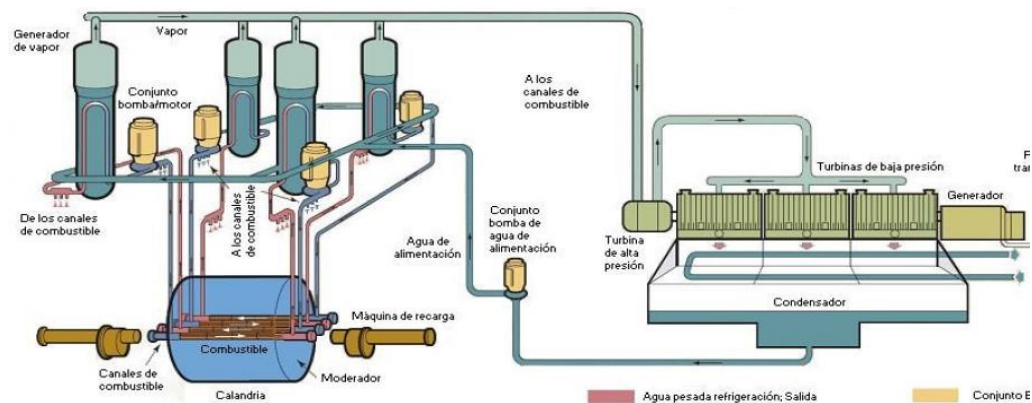
En función de la potencia de la central, es el tamaño del recipiente del reactor. El diámetro interior puede variar de 3.3 m para una central de 500 o 600 MW hasta 4.4 m para 1000 o 1100 MW, al igual que el espesor, el cual varía entre 10 y 130 mm. La altura total es de unos 13 m. Un reactor PWR tiene una eficiencia térmica de $\approx 33\%$.

c) Reactor de agua pesada (HWR, Heavy Water Reactor)

Entre 1950 y 1960 Canadá desarrolló un nuevo tipo de reactor, basado en el PWR, que utilizaba agua pesada como moderador y U natural como combustible, en lugar del U enriquecido utilizado por los diseños de agua ligera.

Emplea como combustible UO_2 natural o ligeramente enriquecido, introducido en tubos de zircaloy (aleación de circonio con estaño relativamente transparente a los neut) y agua pesada como moderador y refrigerante. Existen versiones en las que el refrigerante es agua pesada a presión o agua pesada en ebullición. En su diseño más común, los tubos del combustible están introducidos en una vasija que contiene el moderador y el refrigerante que circula por el interior de los tubos, se mantiene a presión para que no entre en ebullición (Presurized Heavy Water Reactor PHWR), produciéndose el vapor en unos intercambiadores de calor por los que circula el agua ligera del circuito secundario.

Como usan U natural, la reactividad que se podía alcanzar al comienzo de un ciclo era baja, lo que obligó a diseñar estos reactores para que pudieran funcionar con recargas continuas, lo que es posible gracias al escaso quemado de descarga y la baja densidad de potencia característicos de estos reactores.

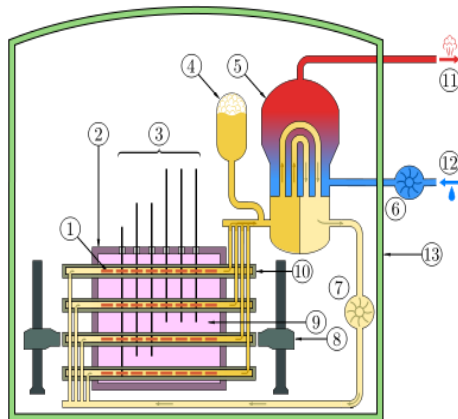


Central PHWR

Reactor CANDU (CANada Deuterium Uranium)

Este reactor **es del tipo PHWR** diseñado a finales de los años 1950 y en los años 1960 por una asociación conformada por la Atomic Energy of Canada Limited (AECL) y la Hydro-Electric Power Commission of Ontario (conocida como Ontario Power Generation), así como varios participantes de la industria privada. Representan \approx el 11% de las unidades en operación.

Utiliza **tubos a presión** en lugar de un recipiente de presión **para contener al refrigerante primario**. Este sistema de tubos separa al refrigerante del moderador, aunque se usa **agua pesada** para ambas funciones. El moderador del reactor se mantiene a temperatura y presión relativamente bajas. El núcleo del reactor está contenido en un gran tanque cilíndrico horizontal de acero inoxidable, llamado calandria, que contiene una serie de tubos horizontales que la recorren desde un extremo hasta el otro. A su vez, dentro de los tubos de la calandria hay tubos más pequeños que albergan manojos combustibles de 50 cm de largo que contienen U natural en forma de pastillas cerámicas. Consta como el PWR, de tres circuitos independientes: primario, secundario y de refrigeración para condensar vapor de agua.



Reactor CANDU: 1-combustible, 2 calandria, 3 barras de control, 4 presurizador del agua pesada, 5 generador de vapor, 6 bomba del agua liviana proveniente del condensador, 7 bomba del agua pesada, 8 máquinas de carga de combustible, 9 moderador de agua pesada, 10 tubo de presión, 11 vapor a turbina, 12 retorno del agua del condensador, 13 contención de hormigón

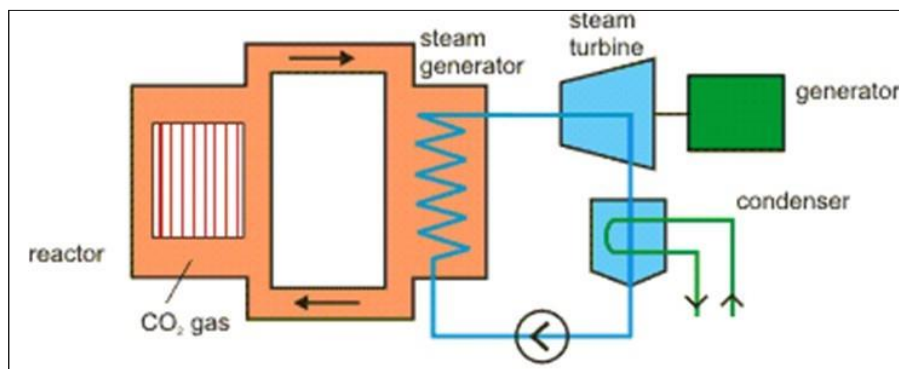
- **Circuito Primario:** El agua pesada del refrigerante está bajo una alta presión para evitar la ebullición (≈ 100 atm) y es bombeada a través de los tubos que contienen los manojos combustibles al intercambiador de calor, para transferir el calor generado en ellos. El agua pesada alcanza una temp de unos 290°C y viaja entonces hacia los generadores de vapor impulsado por una bomba, donde a través de paredes metálicas se transmite la energía térmica del agua pesada al agua liviana, produciéndose así vapor de agua liviana. El agua pesada que se enfría al ceder calor es reciclada a los tubos del reactor
- **Circuito Secundario:** Idem al PWR
- **Circuito de refrigeración para condensar vapor de agua:** Idem al PWR

Para realizar el control, las barras de control penetran en la calandria verticalmente. Existe un sistema secundario de apagado que inyecta una solución de nitrato de gadolinio en el moderador o ácido bórico. Este reactor se apaga rápidamente.

Diseño del CANDU: Los reactores con agua pesada necesitan de una mayor longitud de moderación, por lo que la relación volumétrica moderador/combustible es más elevada que en los reactores de agua liviana, resultando en vasijas mayores. Por esto resulta el diseño de tubos de presión en una vasija de menor presión. Este diseño supone una separación física entre el agua pesada del moderador que se encuentra en un gran tanque (calandria) y la del refrigerante que se encuentra en los centenares de tubos de presión horizontales (≈ 400 tubos). El recambio de estos combustibles es continuo y se realiza durante la operación del reactor.

d) Reactor Avanzado refrigerado por Gas (AGCR, Advanced Gas Cooled Reactor)

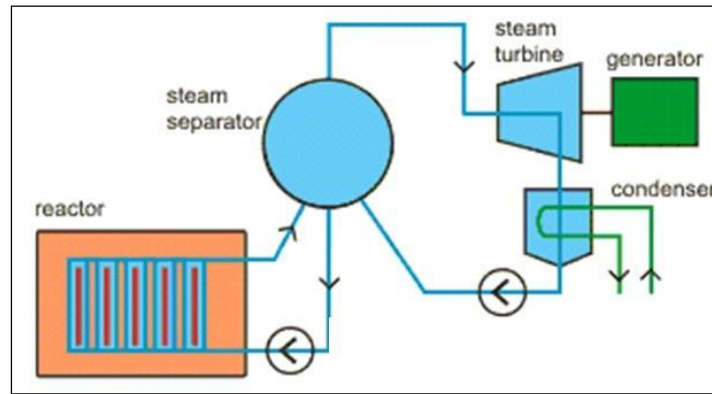
El AGR, representa $\approx 3\%$ de las unidades en operación. El combustible es U revestido de magnesio llamado Magnox. Usa un gas (CO_2) como refrigerante y grafito como moderador. Son más seguros que los reactores moderados con agua.



Reactor AGR

e) Reactor refrigerado por Agua Liviana y moderado por Grafito (LWGR, Light Water cooled Graphite moderated Reator)

El LWGR (también llamado RBMK), representa $\approx 3\%$ de las unidades en operación. Es un reactor del tipo BWR desarrollado en la Unión Soviética, moderado por grafito, con U enriquecido, y refrigerado por agua en ebullición (del tipo de reactor siniestrado en Chernobyl). Su núcleo es un cilindro de grafito situado dentro de un bloque de concreto sobre estructura metálica.



Reactor LWGR-RBKM

f) Otros Reactores

Existen otros diseños de reactores comerciales que utilizan grafito o sales fundidas (litio o berilio) como moderador. Otros países (Francia, Italia) desarrollaron sus propios diseños de reactores nucleares para la generación eléctrica comercial.

ADS - Accelerator Driven System (sistema asistido por acelerador): utiliza una masa subcrítica de torio, en la que se produce la fisión solo por la introducción, mediante aceleradores de partículas, de neutrones en el reactor. Se encuentran en fase de experimentación y se prevé que una de sus funciones fundamentales sería la eliminación de los residuos nucleares producidos en otros reactores de fisión.

g) Nuevos Reactores

El futuro de la industria nuclear dependerá de su capacidad de satisfacer simultáneamente varios objetivos a la vez: económico, seguridad de la operación, salvaguarda de proliferación de armas nucleares y de posibles atentados terroristas, disposición final de los residuos. Si bien las actuales CN tienen un excelente nivel de seguridad, su lado económico necesita ser analizado para poder ser competitiva en un contexto de mercado desregulado. La proliferación tiene que ver con decisiones políticas, y estas pueden ser tomadas considerando la tecnología involucrada.

- **System80+**: Reactor PWR evolutivo diseñado por Combustion Engineering, de 1350 MWe de potencia.
- **AP600**: Reactor PWR pasivo diseñado por Westinghouse, de 600 MWe de potencia.
- **SBWR (Simplified Boiling Water Reactor)**: Reactor BWR pasivo de diseño General Electric, de 600 MWe de potencia. Está interrumpido en su fase de diseño.
- **ABWR (Advanced Boiling Water Reactor)**: Reactor BWR evolutivo diseñado por General Electric, de 1350 MWe de potencia.

RESUMEN DE LOS TIPOS DE REACTORES EXISTENTES

Tipo	Combustible	Moderador	Refrigerante	$\eta\%$	Ventajas/ Desventajas
Magnox	Uranio natural en vainas de Magnesio	Grafito	CO ₂ ,circuito primario con generador de vapor 360°C , 20 Kg/cm ²	31	Es seguro ya que el refrigerante no cambia de estado. Recarga de combustible en operación
AGR	Uranio enriquecido al 2-3% en vainas de acero inox.	Grafito	CO ₂ , circuito primario con generador de vapor 650°C y 40Kg/cm ²	42	Ídem al Magnox , opera a mayor temperatura y presión con mayor eficiencia
PWR	Dióxido de uranio enriquecido al 2-4% en vainas de zircaloy	Agua	Agua liviana presurizada bombeada a través del núcleo sin hervir, luego intercambia calor en generadores de vapor 317°C 150Kg/cm ² . Recipiente de presión de acero cilíndrico vertical	33	Bajo costo de construcción por ser prefabricado. Mucha experiencia y confiabilidad de uso. Debe recargarse con el reactor parado
BWR	Dióxido de uranio enriquecido al 2-4% en vainas de zircaloy	Agua	El agua liviana se convierte en vapor en el recipiente de presión, se deshumidifica y acomete a la turbina, 260°C 70Kg/cm ² . Recipiente de presión de acero vertical	32	Costo similar a los PWR no requieren intercambiadores de calor pero se puede contaminar a la turbina. Debe recargarse con el reactor parado
CANDU	Uranio natural	Agua Pesada	Agua pesada presurizada en los tubos que contienen al combustible que se convierte en vapor en intercambiadores de calor 305°C 100kg/cm ² . Calandria horizontal sin presurizar	30	Confiable, en base a uranio natural, pero requiere agua pesada. El tamaño de la turbina es mayor que las usadas en los PWR ya que el vapor es de menor calidad
RMBK	Dióxido de uranio enriquecido al 1,8%	Grafito	Agua liviana que hierve en el núcleo se deshumidifica y acomete a la turbina 284°C 70Kg/cm ²	31	Muy usados en la ex Unión Soviética, poco seguros. Recarga de combustible en operación y produce plutonio como subproducto.



TIPOS DE REACTORES (resumen):

Reactores de agua ligera

Dentro de este grupo existen dos tipos de reactores:

1. **Reactor de agua a presión** (PWR – Pressurized water reactor): Utilizan agua como moderador y refrigerante. El combustible utilizado es el uranio ligeramente enriquecido en forma de dióxido de uranio. Este tipo de reactor se ha desarrollado principalmente en los Estados Unidos, Rusia, Alemania, Francia y Japón.
2. **Reactor de agua en ebullición** (BWR – Boiling water reactor): En este tipo de reactor, una parte del agua del refrigerante (que a la vez actúa como moderador) pasa a la fase vapor en el propio reactor. Se ha desarrollado principalmente en los Estados Unidos.

Reactor de agua pesada

El reactor de agua pesada utiliza el uranio natural como combustible, mientras que el agua pesada se usa como moderador y como refrigerante. Este tipo de reactor se ha desarrollado principalmente en Canadá.

Reactor de uranio natural, gas y grafito

Utiliza el uranio natural en forma metálica como combustible; el grafito como moderador, y el anhídrido carbónico como refrigerante. Estos reactores se han desarrollado principalmente en Francia y Gran Bretaña.

Reactor avanzado de gas

Utilizan óxido de uranio ligeramente enriquecido y dispuesto en tubos de acero inoxidable como combustible.

Reactor de grafito y agua ligera

Este diseño, exclusivamente soviético, utiliza uranio ligeramente enriquecido como combustible; grafito como moderador, y agua como refrigerante, que se transforma en vapor en el propio reactor.

USOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La energía nuclear tiene diversas e interesantes aplicaciones, entre ellas:

- **Generación de electricidad:** las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear para generar electricidad. La energía producida es limpia y no emite gases de efecto invernadero.
- **Investigación científica:** los reactores nucleares se utilizan en investigación científica para estudiar la estructura de los materiales, la física nuclear y otras áreas de la ciencia.
- **Medicina:** la radiación ionizante se utiliza en medicina para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades, como el cáncer.
- **Propulsión naval:** los submarinos y portaaviones nucleares utilizan reactores nucleares para propulsar sus motores. Esto les permite navegar durante largos períodos de tiempo sin necesidad de repostar combustible.
- **Desalinización del agua:** la energía nuclear también se utiliza para desalinizar agua de mar, permitiendo obtener agua potable en regiones con escasez de agua dulce.
- **Industria:** la radiación ionizante se utiliza en la industria para esterilizar productos médicos, alimentos y otros productos sensibles.

¿PUEDE CONSIDERARSE LA ENERGÍA NUCLEAR COMO RENOVABLE?

La energía nuclear no se considera una fuente de energía renovable. Se trata de una energía limpia, porque utiliza recursos naturales, como el uranio y otros materiales fisionables, que no son renovables en el corto plazo.

Además, el proceso de generación de energía nuclear produce residuos radiactivos que requieren una gestión y disposición cuidadosa. Las fuentes de energía renovable, como la solar, eólica o hidroeléctrica, se basan, en cambio, en recursos naturales inagotables o fácilmente renovables.

VENTAJAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

La energía nuclear tiene la ventaja de ser una fuente de energía limpia, como hemos comentado, que produce muy pocas emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la cantidad de combustible necesaria para producir una gran cantidad de energía es relativamente pequeña, lo que la convierte en una fuente de energía eficiente y muy rentable a largo plazo.

- **Fuente de energía limpia:** a diferencia de los combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, la energía nuclear no produce emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ni otros gases contaminantes que contribuyen al cambio climático. Esto la convierte en una opción atractiva para reducir la huella de carbono y mitigar el calentamiento global. Si tienen emisión de GEI de los combustibles fósiles usados durante la etapa de extracción del uranio, procesamiento y construcción de la CN.

- Las **grandes reservas de uranio** (principal combustible nuclear) se encuentran en regiones políticamente estables (no todas).
- Las CN requieren de muy poco combustible, por lo que pueden ser **almacenados** sin problemas durante años **a bajo coste**.
- El porcentaje del coste de combustible en el coste total de generación eléctrica es muy bajo (si se dobla el costo del combustible, aumenta solo el 5% el costo de generación, comparado con el 70 al 80% en una central a gas).
- **Alta eficiencia energética:** la energía nuclear es extremadamente eficiente en términos de generación de electricidad. Una pequeña cantidad de combustible nuclear puede producir una gran cantidad de energía en comparación con otras fuentes de energía, lo que la hace económicamente rentable a largo plazo.
Además, los costes operativos y de mantenimiento de las centrales nucleares son relativamente estables en comparación con otras fuentes de energía. Esto hace que la energía nuclear sea **económicamente rentable a largo plazo**. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la construcción y el desmantelamiento de las centrales nucleares pueden ser costosos.
Eficiente: grandes cantidades de energía liberada en comparación con la cantidad de materia prima que demanda.
- **Suministro energético constante:** las centrales nucleares pueden operar de manera continua durante largos períodos sin interrupciones, lo que garantiza un suministro constante y confiable de electricidad. Esto es especialmente importante en comparación con las fuentes renovables intermitentes, que dependen de las condiciones climáticas.
- **Versátil.** La aplicación de la radiación y otras formas de energía nuclear en diversas áreas del saber humano, como la medicina, son importantes.

DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Sin embargo, la energía nuclear también puede conllevar importantes peligros. El principal es que la **radiación** asociada a este tipo de energía puede presentar riesgos para la salud y el medio ambiente si no se maneja adecuadamente. La exposición a altos niveles de radiación puede causar daño celular, enfermedades como el cáncer y efectos genéticos. Por eso, es fundamental que las centrales nucleares mantengan rigurosas medidas de seguridad y protección para prevenir fugas o accidentes que puedan liberar radiación. Además, el manejo adecuado de los residuos nucleares es crucial para evitar la exposición a largo plazo.

- **La seguridad nuclear es una preocupación importante** debido a los riesgos asociados con posibles accidentes nucleares, como los ocurridos en Chernobyl o Fukushima (Windscale en UK en 1957, Three Mile Island en USA en 1979, Chernobyl en Ucrania en 1986, Fukushima en 2011). Aunque los estándares de seguridad han mejorado significativamente en los últimos años, siempre existe un riesgo inherente.

- **La generación de residuos nucleares es otro desafío.** Estos residuos son altamente radiactivos y requieren un manejo y almacenamiento cuidadoso a largo plazo. Aunque se han desarrollado métodos de almacenamiento seguro, el problema de los desechos nucleares aún no se ha resuelto por completo.
- **Costosa.** La creación de centrales nucleares y el uso de esta tecnología suele tener un elevado coste.
- **Proliferación de material para armas nucleares.**
- **Posibles blancos de ataques terroristas.**

IMPACTO AMBIENTAL DE LAS CENTRALES NUCLEARES

Las centrales nucleares están sujetas a un **estricto control** reglamentario institucional difícil de igualar por parte de otras actividades industriales. Esta reglamentación tiene en cuenta todas y cada una de las fases que forman el ciclo de producción, contemplando también la protección de los trabajadores, el público en general y el desmantelamiento de la central al final de su vida útil.

Es importante recordar que las centrales nucleares **no contribuyen al calentamiento global**, puesto que no envían a la atmósfera óxidos de carbono, azufre, nitrógeno ni otros elementos derivados a la combustión, como las cenizas. No obstante, sí que hay que tener precaución con la generación de electricidad mediante la energía nuclear, tanto en la extracción, el concentrado y enriquecimiento del uranio, como en la propia producción de energía eléctrica.

La producción de energía eléctrica en centrales nucleares genera **residuos radioactivos** de larga duración que deben almacenarse en la misma central y en depósitos especiales para materiales radioactivos.

¿CÓMO SE ALMACENAN LOS RESIDUOS NUCLEARES?

Los residuos generados por la energía nuclear se almacenan de diferentes maneras, dependiendo de su nivel de radiactividad:

- **Los residuos de baja y media radiactividad** se suelen almacenar en contenedores especiales y luego se colocan en instalaciones diseñadas específicamente para su almacenamiento a largo plazo, como los depósitos geológicos profundos.
- **Los residuos de alta radiactividad**, como el combustible gastado, se almacenan inicialmente en piscinas de almacenamiento en las propias plantas nucleares y luego se trasladan a contenedores especiales llamados «cápsulas de almacenamiento» o se reprocesan para recuperar material útil. Estos residuos también pueden ser depositados en instalaciones geológicas profundas o se exploran otras opciones como la transmutación nuclear.

El objetivo principal es garantizar un almacenamiento seguro y confiable a largo plazo para evitar cualquier liberación de radiación al medio ambiente.

¿HACIA DÓNDE VA EL FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR?

La energía nuclear es objeto de debate y opiniones enfrentadas. Defensores y detractores plantean diversos escenarios respecto al futuro de este tipo de energía:

- **Algunas perspectivas sugieren que la energía nuclear seguirá desempeñando un papel importante en la matriz energética global,** especialmente en países que buscan reducir sus emisiones de carbono y diversificar sus fuentes de energía.
- **Sin embargo, también existen preocupaciones sobre la seguridad, los residuos nucleares y los costos** asociados con esta forma de energía. El desarrollo de tecnologías nucleares avanzadas, como los reactores de IV generación y la fusión nuclear, podría jugar un papel clave en el futuro de la energía nuclear al abordar algunos de estos desafíos.
- **En última instancia, el futuro de la energía nuclear dependerá de factores políticos, económicos, sociales y ambientales,** así como del avance de otras fuentes de energía renovable.

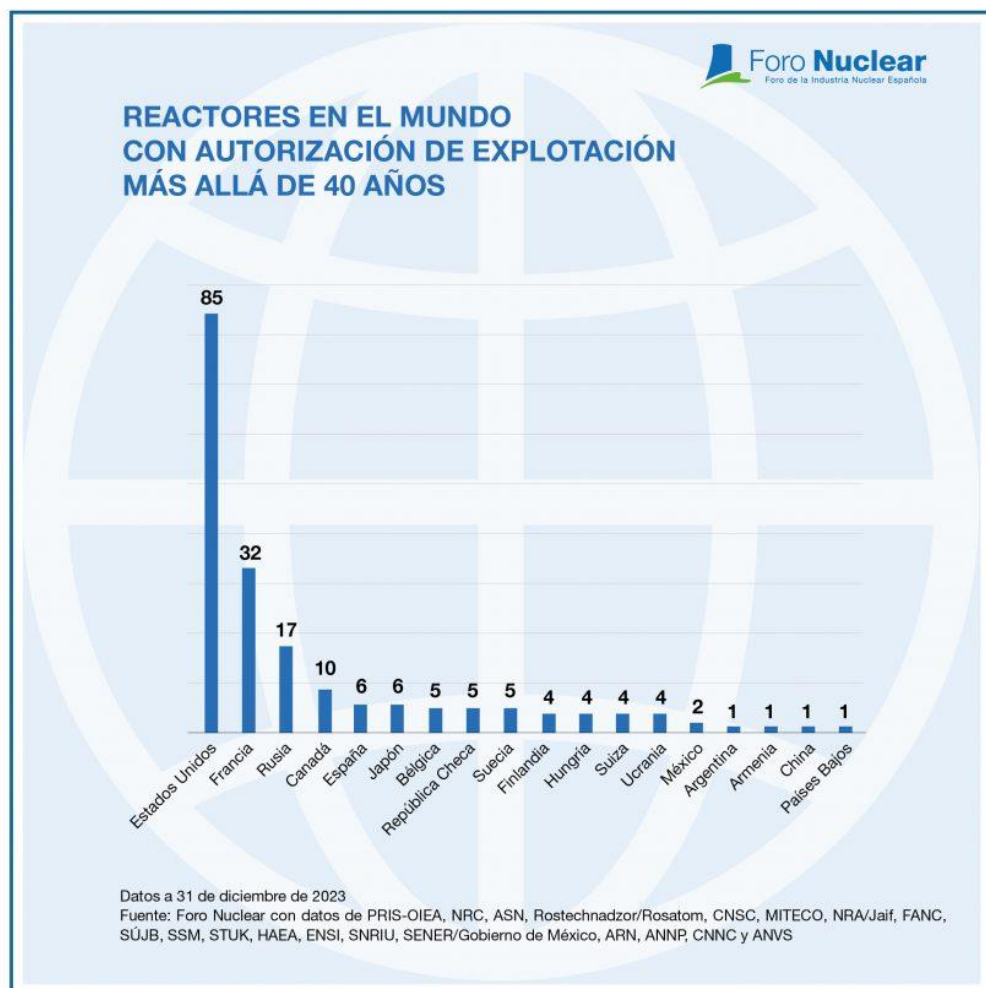
ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

La energía nucleoelectrica es una fuente de energía de bajas emisiones de carbono, ya que, a diferencia de las centrales de carbón, petróleo o gas, las centrales nucleares no producen prácticamente CO₂ durante su funcionamiento. Los **reactores nucleares** generan cerca de una tercera parte del total mundial de **electricidad sin emisiones de carbono** y son cruciales para lograr los objetivos relacionados con el cambio climático.

CENTRALES NUCLEARES EN EL MUNDO.

A finales de 2023, en el mundo existían 412 reactores nucleares en operación, de los que 100, están en la Unión Europea.

Reactores en el mundo con autorización de explotación más allá de 40 años:



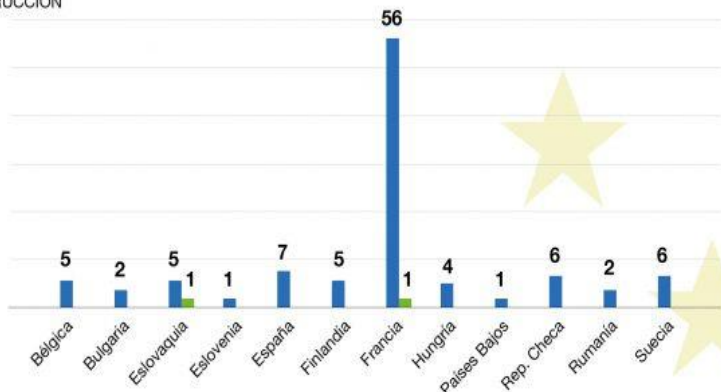
La energía nuclear regresa con fuerza

Durante la última Cumbre del Clima, el Consejo Europeo incluyó a la energía nuclear como tecnología estratégica para conseguir la neutralidad climática y acelerar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, en el marco de la COP28, alrededor de 24 países se comprometieron a triplicar la potencia nuclear instalada hasta el año 2050 para alcanzar un balance neto de cero emisiones en ese horizonte. Sumado a esto, la Agencia Internacional de Energía, considera un riesgo abandonar la energía nuclear.

"24 países se comprometieron a triplicar la potencia nuclear instalada hasta el año 2050"

Reactores en la Unión Europea

■ OPERACIÓN
■ CONSTRUCCIÓN



Datos a 31 de diciembre de 2023

Fuente: PRIS-OIEA, World Nuclear Association y Foro Nuclear

Foro Nuclear
Foro de la Industria Nuclear Española

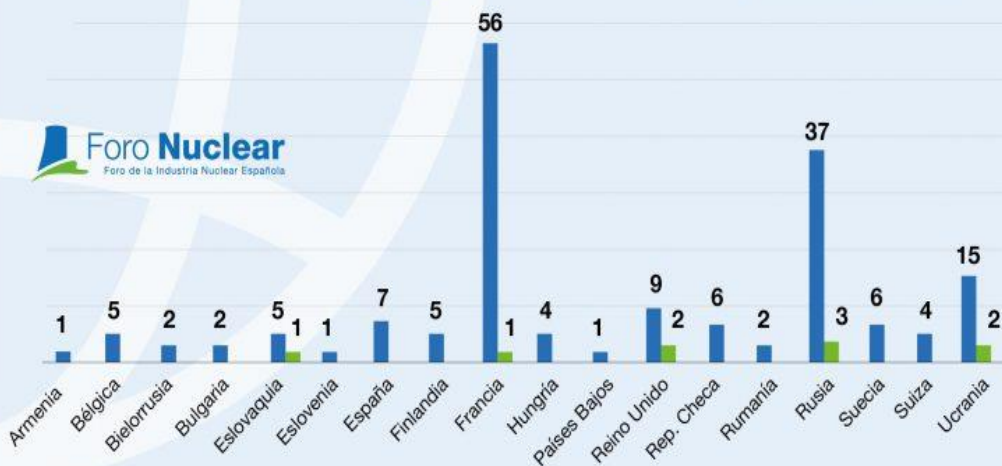
Reactores en Europa

En Europa hay 168 reactores en operación y 9 en construcción.

■ OPERACIÓN
■ CONSTRUCCIÓN

Datos a 31 de diciembre de 2023
Fuente: PRIS-OIEA, World Nuclear Association y Foro Nuclear

Foro Nuclear
Foro de la Industria Nuclear Española



DATOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN EL MUNDO EN 2023



Fuente: Foro Nuclear con datos del OIEA (marzo 2024)

CENTRALES NUCLEARES EN EL ESPAÑA.

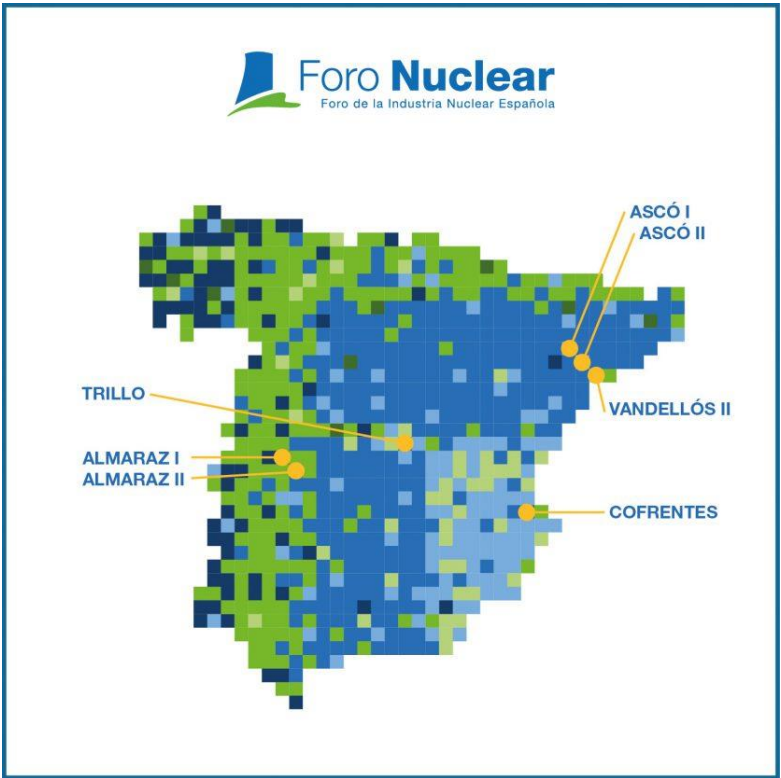


En España se encuentran en funcionamiento 5 centrales nucleares, 2 de las cuales disponen de 2 reactores cada una (Almaraz y Ascó), por lo que suman 7 reactores de agua ligera, con una potencia total instalada de 7.398,7 MWe (mega watio eléctrico).

Las centrales nucleares de Santa María de Garoña, Jose Cabrera y Vandellós se encuentran en desmantelamiento.

Con el fin de dar el adecuado apoyo al parque nuclear en explotación, España cuenta con una notable infraestructura, que comprende empresas de ingeniería, construcción, fabricación de bienes de equipo, garantía de calidad y servicios, formación de operadores, etc., cuya sólida experiencia y cualificación tecnológica son reconocidas internacionalmente.

Con una presencia activa en el desarrollo y mantenimiento de reactores en más de 40 países, el sector nuclear español es un actor global en la promoción de esta energía libre de CO2.



Foro Nuclear
Foro de la Industria Nuclear Española

EMPRESAS PROPIETARIAS Y FECHA DE INICIO DE OPERACIÓN DE LOS REACTORES ESPAÑOLES

Central nuclear	Empresa propietaria	%	Inicio de la operación comercial
Almaraz I	Iberdrola	53	Septiembre 1983
	Endesa	36	
	Naturgy	11	
Almaraz II	Iberdrola	53	Julio 1984
	Endesa	36	
	Naturgy	11	
Ascó I	Endesa	100	Diciembre 1984
Ascó II	Endesa	85	Marzo 1986
	Iberdrola	15	
Cofrentes	Iberdrola	100	Marzo 1985
Trillo	Iberdrola	49	Agosto 1988
	Naturgy	34,5	
	EDP	15,5	
	Endesa	1	
Vandellós II	Endesa	72	Marzo 1988
	Iberdrola	28	

Fuente: Centrales nucleares y Foro Nuclear

FECHAS DE AUTORIZACIÓN DE EXPLOTACIÓN

Central nuclear	Fecha de autorización actual	Validez hasta	Próxima renovación
Almaraz I	23/07/2020	01/11/2027	---
Almaraz II	23/07/2020	31/10/2028	---
Ascó I	27/09/2021	02/10/2030	---
Ascó II	27/09/2021	02/10/2031	Octubre 2031
Cofrentes	18/03/2021	30/11/2030	---
Trillo	17/11/2014	17/11/2024	Noviembre 2024
Vandellós II	23/07/2020	27/07/2030	Julio 2030

Fuente: Foro Nuclear

Son cada vez más los países que presentan planes energéticos que apuestan por la continuidad de la operación de los reactores, la construcción de grandes y pequeñas unidades nucleares como parte integral de su matriz energética, entre ellos España.

DATOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA EN 2023



La energía nuclear, ha sido en 2023 la segunda fuente de generación de electricidad en España (tras la energía eólica).

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima de España reconoce el papel clave de la energía nuclear en la transición energética

Con una presencia activa en el desarrollo y mantenimiento de reactores en más de 40 países, el sector nuclear español es un actor global en la promoción de esta energía libre de CO₂.

Algunas noticias de actualidad:

<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/la-cumbre-del-clima-incluye-a-la-nuclear-como-posible-via-para-frenar-emisiones/>

<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/22-paises-firman-en-la-cumbre-del-clima-su-decida-apuesta-por-la-energia-nuclear/>

<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/la-comision-europea-insta-a-invertir-en-energia-nuclear-y-aboga-por-la-continuidad-de-operacion-de-las-centrales/>

<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/el-director-general-de-la-aie-advierte-del-riesgo-de-abandonar-la-energia-nuclear-una-tecnologia-impecable/>

<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/vandellos-ii-inicia-recarga-de-combustible-con-1-200-trabajadores-contratados-y-24-millones-de-euros-de-inversion/>

<https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/paradas-de-recarga-de-las-centrales-nucleares/>