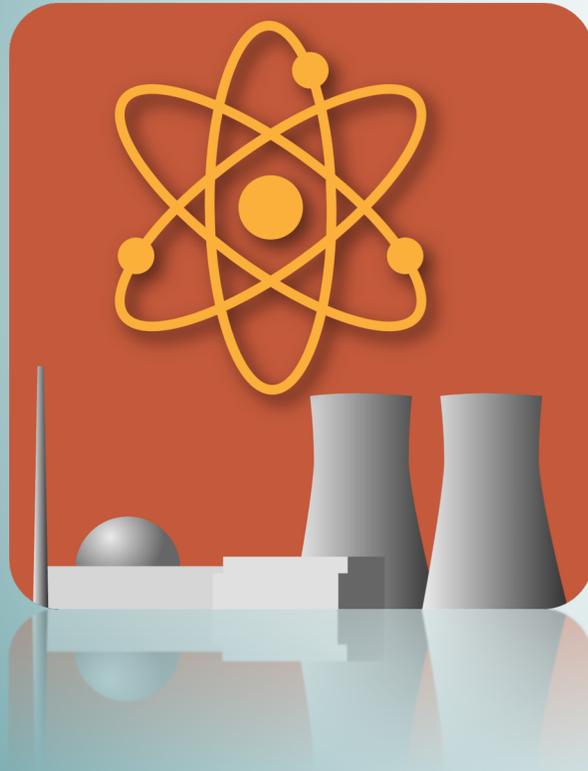


# Ingeniería Nuclear

## BLOQUE II. REACTORES

### Lección 9. Funcionamiento de un reactor de fisión y tipos de centrales nucleares



**Fernando Delgado San Román**

**Raquel Martínez Torre**

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

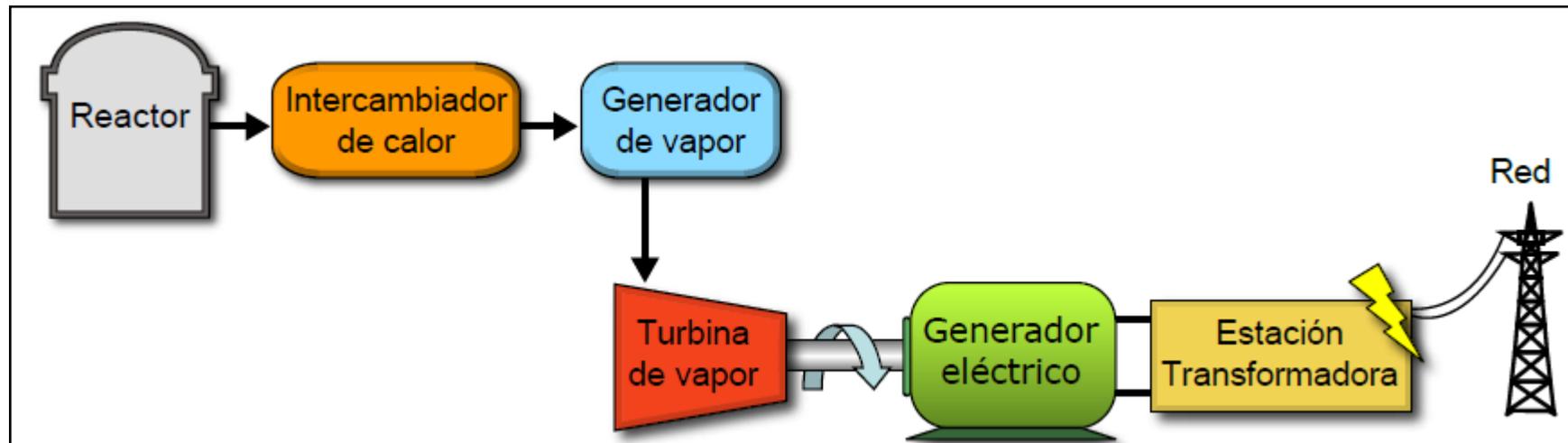


# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## EQUIPOS Y SISTEMAS DE UNA CENTRAL NUCLEAR

❑ Equipos principales:

- ✓ Reactor
- ✓ Intercambiador de calor
- ✓ Turbina de vapor
- ✓ Generador eléctrico
- ✓ Transformador eléctrico



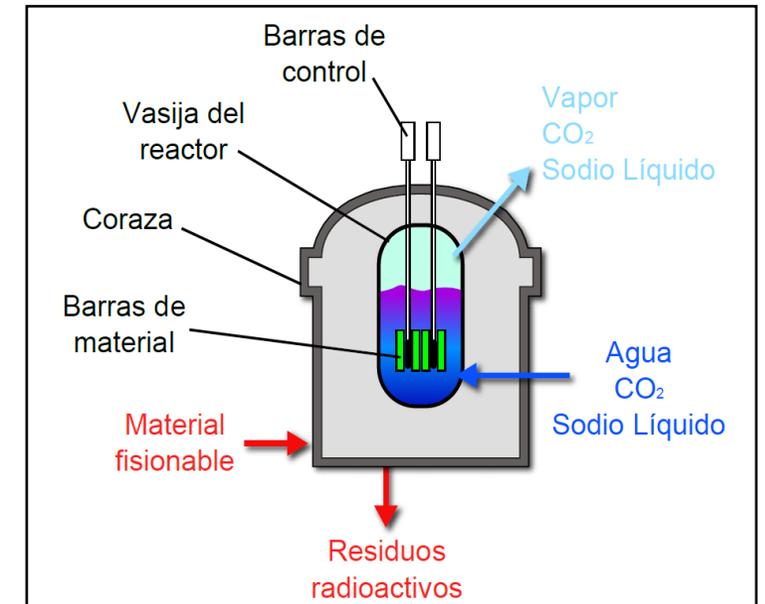
[Reactor nuclear, ¿cómo funciona?](#)

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## EQUIPOS Y SISTEMAS DE UNA CENTRAL NUCLEAR

### ❑ Reactor:

- ✓ Está formado por las barras de material fisionable, los “componentes moderadores” de la reacción, la sustancia a la que se transfiere el calor, los sistemas mecánicos para el control del reactor, y su carga y descarga, y la coraza o blindaje del conjunto.
  - ✓ En función del tipo de sustancia a la que se transmite el calor, los reactores pueden ser:
    - **Agua pesada** ( $D_2O$ , óxido de deuterio)
    - **De gas** ( $C_2O$ )
    - **De sodio líquido**
    - **Agua ligera** ( $H_2O$ )
- }
**Agua en ebullición:** el agua hierve en el interior del reactor  
**Agua a presión:** el agua no hierve en el interior del reactor
- ✓ En función de dónde se produce el vapor, los reactores pueden ser:
    - **Ciclo directo:** el vapor se produce en el interior del propio reactor.
    - **Ciclo indirecto:** el vapor se produce en un intercambiador de calor exterior al reactor, conocido como generador de vapor.

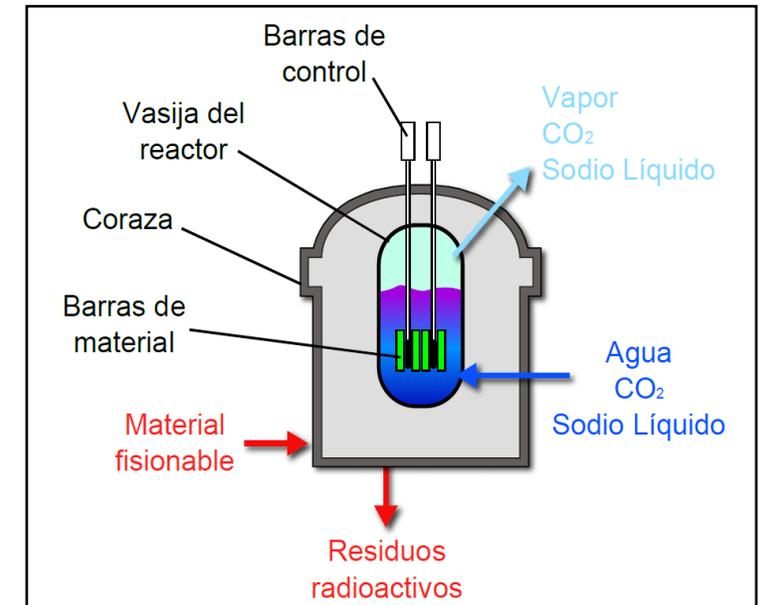


# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## EQUIPOS Y SISTEMAS DE UNA CENTRAL NUCLEAR

### ❑ Reactor:

- ✓ En función del tipo de material fisionable empleado, pueden ser:
  - **Uranio natura:** misma proporción de Uranio que en la naturaleza.
  - **Uranio enriquecido:** óxidos de uranio enriquecidos al 3 % con U-235.
  - **Plutonio:** mezcla de U-235 y Pt.
- ✓ Todos los reactores llevan un elemento para controlar la reacción en cadena, denominado **moderador**, y otros para controlar la potencia, denominados **barras de control**.
- ✓ En algunos reactores, el moderador es **agua pesada**, y en algunos otros son barras de **grafito**. El grafito también se utiliza como reflector.
  - Para el control de potencia del reactor, y producir las paradas y los arranques, se disponen de barras de carburo de boro, de manera que, introduciéndolas más o menos entre las barras fisionables, la reacción en cadena puede ser controlada.
- ✓ La vasija del reactor (carcasa de acero) está compuesta por barras fisionables, el moderador, las barras de control y parte de los sistemas de accionamiento de éstas y los sistemas de carga y descarga.
- ✓ Todos estos elementos se encuentran contenidos en la cámara del reactor, construida de acero soldado y recubierta de una capa gruesa de hormigón armado, que actúa como blindaje frente a la fuga de radiaciones.



# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES DE FISIÓN

- Para iniciar la reacción en cadena, todos los reactores necesitan instalar una masa crítica de combustible.
- Una vez que se tiene la masa crítica, se comienza a producir energía, no de una forma constante, sino **acelerada**.
- En ese momento es preciso colocar **“barras de control”** que absorban los neutrones y frenen la reacción en cadena, manteniendo el reactor **en estado subcrítico**.
- Si se retiran las barras de control, el reactor entra en estado supercrítico produciéndose la reacción en cadena.
- Conclusión: **Introduciendo más o menos las barras de control** se consigue mantener un reactor a **“potencia constante”**.
- A medida que el material fisionable se va gastando, se van retirando las barras para reducir el número de neutrones absorbidos por ellas, hasta que llega un momento en que es imposible retirarlas más.
- En ese momento, el reactor entraría en **estado subcrítico y la reacción en cadena se pararía**.
- Se procedería a una nueva recarga.
- Otro aspecto importante del funcionamiento de los reactores lo constituye el moderador, encargado de frenar los neutrones despedidos a gran velocidad para facilitar la ruptura de los átomos pesados.
- La regulación de potencia en los reactores nucleares implica una variación coordinada y controlada de tres variables:
  - ✓ El **flujo de neutrones**, actuando sobre las barras de control
  - ✓ El **flujo del refrigerante** (agua o gas), actuando sobre las bombas o sopladores.
  - ✓ El **flujo de vapor**, actuando sobre las válvulas de vapor.

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

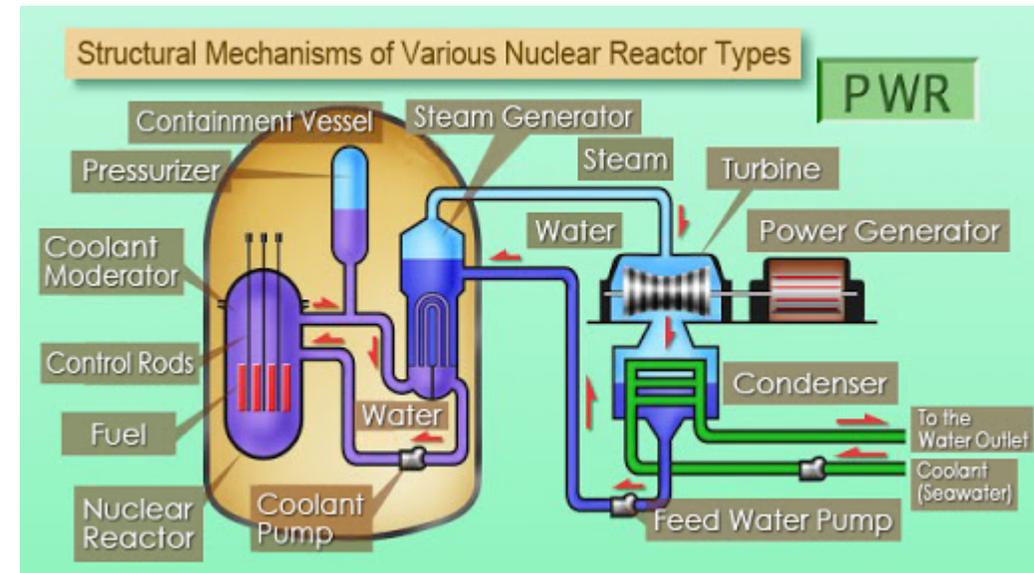
## FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES DE FISIÓN

- Los procesos de parada, recarga y arranque se realizan de forma manual, siguiendo unos procedimientos muy estrictos.
- En **un reactor normal**, se precisan entre **30 y 45 minutos para pasar del 100% al 33% de potencia**.
- Una central nuclear típica **de 1.000 MW** consume **75kg de combustible cada día** (100kg/día a plena carga), lo que hace un total de 27,2Tn anuales.
- Ocupa una superficie de 200Ha.
- Genera 3,75 m<sup>3</sup> de residuos de alta actividad y 500m<sup>3</sup> de baja y media actividad.

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## REACTOR DE AGUA A PRESIÓN (PWR)

- ❑ Son los más comunes.
- ❑ Utilizan uranio natural (óxido de uranio) enriquecido en U-235 (al 3%), colocados en barras recubiertas con circonio.
- ❑ El agua ligera actúa tanto de moderador como de refrigerante, utilizándose las barras de boro sólo para controlar la potencia del reactor y para provocar su parada.
- ❑ En este reactor el agua se encuentra a una presión de 160 bares y, por ello, no hierve pese a que se eleva su temperatura por encima de los 100°C.
- ❑ El agua caliente se lleva a un intercambiador agua-agua, donde el agua a presión (primario del intercambiador) se enfría, mientras que el agua del secundario se calienta y convierte en vapor, que es el que mueve la turbina.
- ❑ Para el **reabastecimiento de combustible** el reactor ha de ser **parado**.

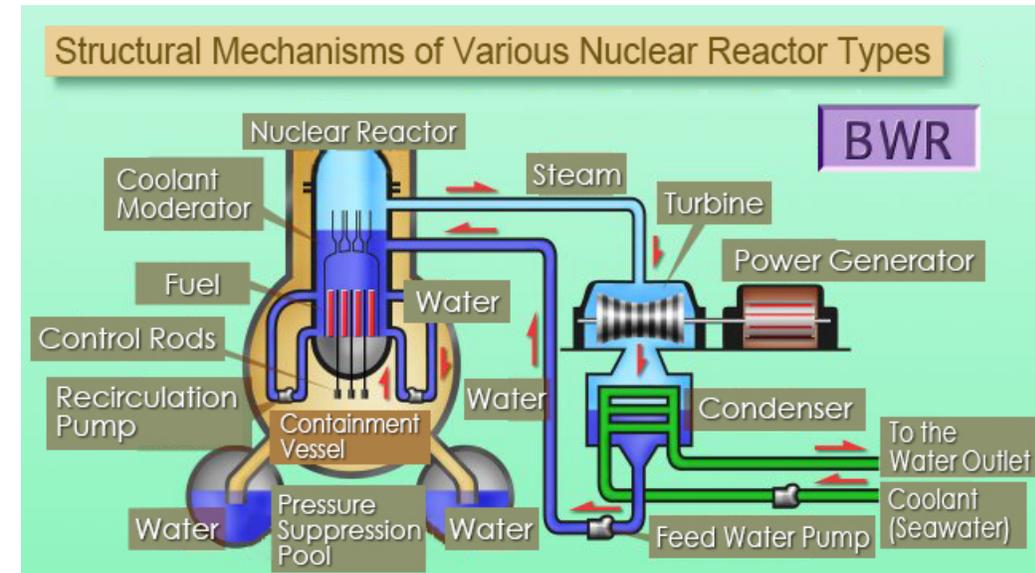


Fuente: [www.houshasen.tsuruga.fukui.jp/en/pages/radiation/plant/pwr.html](http://www.houshasen.tsuruga.fukui.jp/en/pages/radiation/plant/pwr.html)  
<http://>

## FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

### REACTOR DE AGUA EN EBULLICIÓN (BWR)

- ❑ Son los más parecidos a las centrales de carbón, pero su uso está menos extendido que los PWR.
- ❑ En estos reactores el agua ligera es el elemento moderador y, a su vez, el que se calienta por la fisión del uranio.
- ❑ El agua hierve, debido a la baja presión en la cámara del reactor, convirtiéndose en vapor, el cual se envía directamente a la turbina.
- ❑ La alimentación continua del reactor con agua fría impide que se alcancen temperaturas elevadas en su interior.
- ❑ El tipo de combustible y los sistemas de control son idénticos a los PWR.
- ❑ Su diferencia esencial es que pueden ser **recargados sin** necesidad de **parar**.

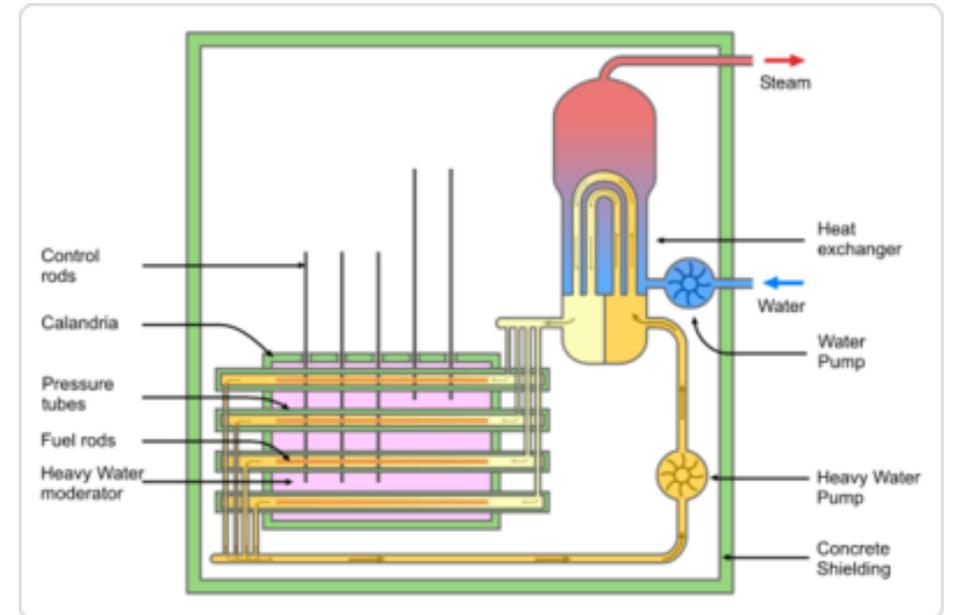


Fuente: <http://www.houshasen.tsuruga.fukui.jp/en/pages/radiation/plant/bwr.html>

## FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

### REACTOR DE AGUA PESADA (CANDU)

- ❑ Son conceptualmente iguales a los de agua ligera, sólo que emplean agua pesada (óxido de deuterio) como elemento moderador y de transferencia de calor.
- ❑ El reactor es más complejo que los de agua ligera, de ahí que no sean muy usados en la práctica.

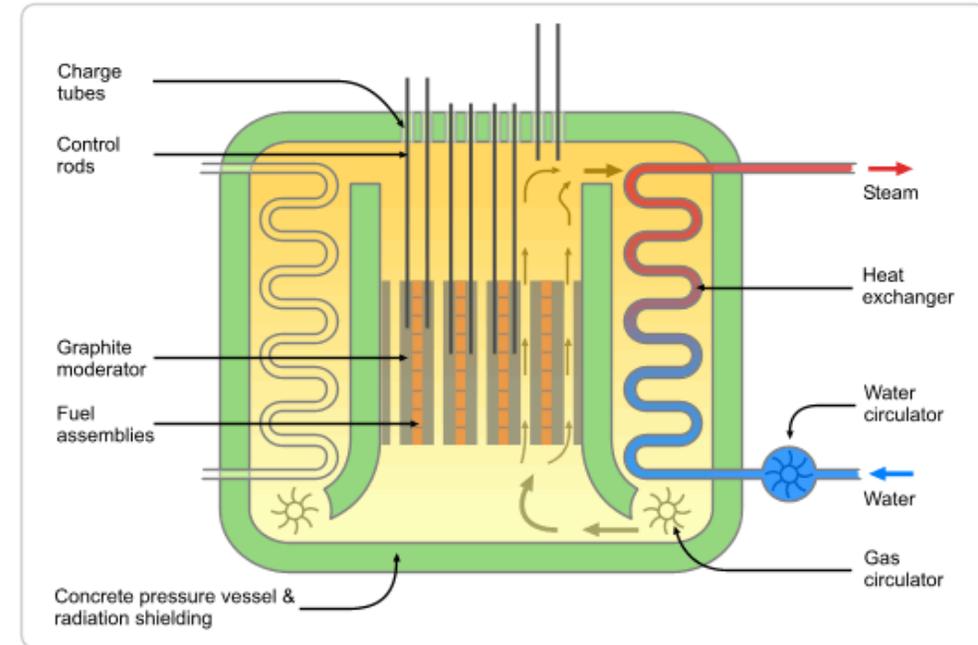


Fuente: Wikipedia

## FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

### REACTOR REFRIGERADO POR GAS (GCR)

- ❑ Este tipo de reactores carecen de sustancias en estado líquido en su interior, y por tanto, de bombas y otros mecanismos.
- ❑ El combustible es uranio natural (sin enriquecer) y el moderador es grafito (en barras).
- ❑ El refrigerante es, usualmente, anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), introducido en el reactor con un soplante, y que circula por canalizaciones practicadas en el interior de las barras de grafito.
- ❑ El  $\text{CO}_2$  recalentado forma el primario de un intercambiador gas-agua.
- ❑ El agua que se hace pasar por el secundario se calienta y evapora, pasando a mover la turbina.
- ❑ Los reactores comerciales de este tipo se denominan AGR1 (Advanced Gas Reactor) y utilizan cápsulas de uranio enriquecido introducidas en tubos de acero inoxidable.



Fuente: Wikipedia

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## PROBLEMAS

### ❑ Ejercicio 1:

- ✓ Cuando se forman moléculas de hidrógeno ( $H_2$ ) de manera natural, ¿qué porcentajes de éstas tienen pesos moleculares (aproximados) de 2, 3 y 4, respectivamente?
  - Datos:  $\gamma(^1H) = 0.99985$ ;  $\gamma(^2H) = 0.00015$ ;  $\gamma(^3H) = 0$

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## PROBLEMAS

### ❑ Ejercicio 2:

- ✓ Un vaso de agua contiene 50 gr. de ésta,
  - a) ¿Cuántas moléculas de agua hay?
  - b) ¿Cuántos átomos de H?
  - c) ¿Cuántos átomos de 2H?

# FUNCIONAMIENTO Y TIPOS DE CENTRALES

## RECURSOS

- Energía nuclear de fisión. <http://comunidad.eduambiental.org/>
- <http://energia-nuclear.net/reactor-nuclear/tipos-de-reactor-nuclear.html>