



TEMA 3. ENERGÍA NUCLEAR

- III.1. Energía nuclear
- III.2. Fusión nuclear
- III.3. Fisión nuclear
- III.4. Componentes de una central nuclear
 - III.4.1. Partes principales de un reactor
 - III.4.2. Tipos de reactores nucleares
- III.5. Ventajas e inconvenientes
- III.6. Impacto ambiental
- III.7. Funcionamiento de una central nuclear

III.1. ENERGÍA NUCLEAR

La energía nuclear es la energía potencial de los núcleos de los átomos, debido a la interacción que los mantiene unidos, parte de la cual puede liberarse por fisión o fusión (**reacción nuclear**)

El principio en el que se basa el aprovechamiento de la energía nuclear es **“la equivalencia que existe entre masa y energía”**.

Si se divide un núcleo atómico de masa M en dos, la suma de las masas de cada una de las mitades será menor que el núcleo inicial. Esto, que aparentemente es imposible, se debe al hecho de que parte de la masa del núcleo atómico se ha **“transformado”** y liberado en forma de energía, siguiendo el principio de Albert Einstein.

$$E=mc^2$$

Donde E = energía producida o liberada en la reacción nuclear (en julios)
 m= Masa del núcleo que se ha transformado en energía. (en kg)
 C= velocidad de la luz en m/s = $3 \cdot 10^8$ m/s

Ejemplo:

Reacción



Balance de masa

$$235\text{U} (235,118) + 1\text{n} (1,009) = 236,127 \text{ u.}$$

$$95\text{Mo} (94,936) + 139\text{La} (138,950) + 2 \text{ 1n} (1,009) = 235,904 \text{ u.}$$

Defecto de masa

$$\Delta m = 236,127\text{u} - 235,904\text{u} = 0,223 \text{ u}$$

$$(1\text{u} = 1,66053886 \cdot 10^{-27} \text{ kg})$$

El defecto de masa obtenido se convierte por medio de la ecuación precedente en 207,7 Mev.

Esta energía liberada es la que se va a utilizar en un reactor nuclear para obtener finalmente energía eléctrica.

III.2. Fusión nuclear

El proceso de fusión nuclear, se produce cuando dos núcleos ligeros se unen para formar uno más pesado, de menor masa, pero mayor estabilidad.

En este tipo de reacciones, llamadas **termonucleares**, se produce una enorme cantidad de energía.

Este tipo de reacciones se producen en las estrellas. Son un tipo de reacciones que producen mucha más energía que la fisión nuclear, y son mucho más limpias, ya que los residuos que se generan son de baja intensidad. Además, el combustible utilizado es el hidrógeno (deuterio y tritio), muy abundante en la Tierra.

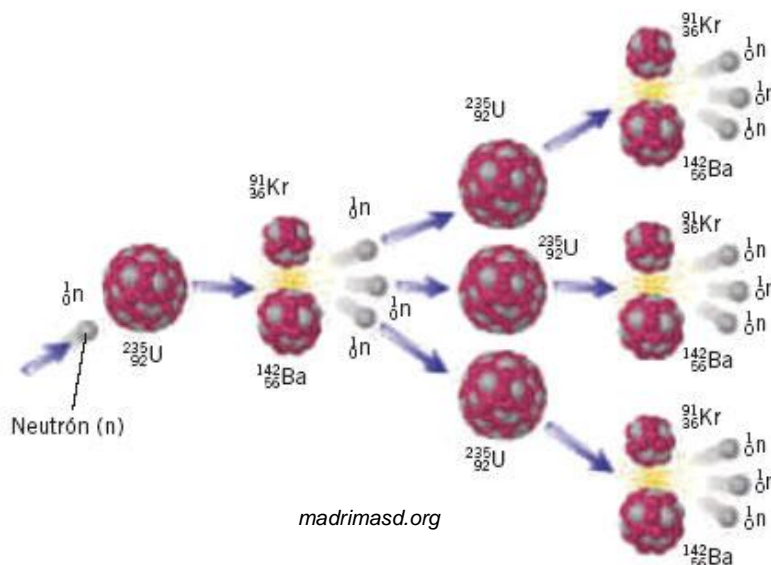
El problema principal es que para conseguir las condiciones adecuadas para producir una reacción de estas características, se necesita un enorme consumo de energía, muy superior a la energía producida.

Actualmente está en desarrollo el **proyecto ITER**, integrado por la UE, EEUU, Rusia, Corea del Sur, India, China y Japón, que consiste en el diseño y construcción de un reactor nuclear de fusión.

III.3. Fisión nuclear

El proceso empleado en las centrales nucleares es el de **fisión nuclear** (ruptura). Consiste en provocar la ruptura de un núcleo atómico pesado, normalmente ^{235}U (Uranio) y ^{239}Pu (Plutonio). La división del átomo la provoca un neutrón, que bombardea a alta velocidad el núcleo y lo divide en varios fragmentos, liberando, además de una gran cantidad de energía y rayos γ , (gamma), otros neutrones que bombardearán otros núcleos atómicos, provocando lo que se conoce como una **reacción en cadena**.

Hay que tener en cuenta que la fisión de un único átomo de ^{235}U produce muy poca energía, sin embargo con una reacción en cadena se desprende una enorme cantidad de energía



Para hacernos una idea, vemos cuanta energía generaría la fisión de un kg de uranio, según la fórmula de Einstein (suponiendo que toda la masa se convierta en energía).

$$E = mc^2 = (1 \text{ kg}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ J} = 2'15 \cdot 10^{13} \text{ kcal}$$

Un kg de fuel genera una energía de 11200 kcal, es decir, que un kg de uranio genera casi dos mil millones veces más energía que un kg de fuel.

En la década de los 40, se comenzó a explotar la energía nuclear como fuente de energía, puesto que por un lado se disponía de neutrones capaces de iniciar una reacción de fisión, en la cual se desprenden nuevos neutrones que permiten continuarla (reacción en cadena). Esta reacción debía ser explosiva y era necesario controlarla. Por otro lado, se encontraron sustancias capaces de frenar los neutrones emitidos, permitiendo así un control efectivo de la reacción. A estas sustancias se las denomina moderadores y las más usuales son: agua pesada, grafito, berilio, carbón, cadmio...

III.4. Componentes de una central nuclear

El elemento más importante de una central nuclear es: el **reactor nuclear**, que sustituye a la caldera en una central eléctrica de combustibles fósiles. En él se da el siguiente fenómeno: Un flujo de neutrones a alta velocidad divide en varios fragmentos los núcleos atómicos, liberando la energía buscada. Además, se liberan a su vez más **neutrones** muy energéticos, los cuales dividen a otros núcleos, favoreciendo las reacciones nucleares en cadena, sin aparente control. Para controlar el proceso, se deben "frenar" los neutrones, haciéndolos chocar contra determinadas sustancias llamadas **moderadores**. La masa mínima de combustible nuclear (^{235}U) para producir la reacción nuclear se llama **masa crítica**.

Dentro del edificio del reactor se encuentra la "**vasija**" o **núcleo**, donde se introducen las barras del combustible nuclear en tubos de aleación de zirconio, y en su interior se produce la reacción nuclear. La vasija es un gran depósito de acero, recubierto en su interior por plomo para absorber las radiaciones nucleares.

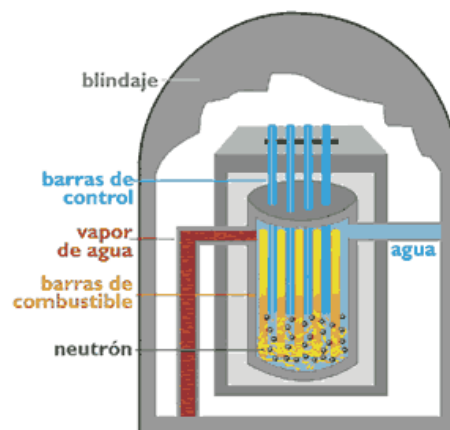
Dentro del núcleo también se encuentra **el material moderador** (hidrógeno, deuterio o carbono, cuya misión es frenar la velocidad de los neutrones, pues a las velocidades que se liberan, unos 20000km/s es poco probable que otro átomo absorba este neutrón) y **las barras de control**, que controlarán el número de fisiones, pues absorben los neutrones (hechas de un material como el carburo de boro, que absorbe neutrones).

Si las barras de control están introducidas totalmente en el núcleo, la absorción de neutrones es total y no hay reacción nuclear, a medida que se van extrayendo tales barras, aumentan las reacciones nucleares porque se absorben menos neutrones. El reactor tiene a su vez un blindaje de hormigón de varios metros de espesor.

El núcleo del reactor está rodeado por agua, la cual se calentará y transformará en vapor para posteriormente, conducirlo a las turbinas que finalmente generan energía eléctrica de una forma similar a la central térmica.

III.4.1. Partes principales de un reactor

- **Combustible:** El más utilizado actualmente es el dióxido de uranio. Se comprime en forma de pastillas (pellets) que se cargan en unos tubos estrechos, de unos 3,7 m de longitud, que van montados unos al lado de otros en cilindros para formar varillas de combustible para el reactor. Se inserta en unos tubos (vainas) de aleación de zirconio (Zr) de aproximadamente 1 cm de diámetro. (antiguamente eran de acero inoxidable)
- **Moderador:** Material que se utiliza para frenar el movimiento de los neutrones, pues se ha descubierto que es más probable que los neutrones de movimiento lento causen fisión y hagan funcionar el reactor. El más corriente es el carbono (grafito) o el agua o agua pesada.



concienciaambiental.cl

- **Barras de regulación:** Es necesario controlar el flujo de neutrones para trabajar en condiciones de seguridad. Estas barras están hechas de un material que absorbe neutrones (acero al boro, cadmio), con lo que se consigue disminuir la velocidad de reacción introduciendo las barras, y aumentarla cuando éstas se extraen.
- **Refrigerante:** El calor producido por las reacciones de fisión se elimina bombeando un refrigerante, como agua, entre los elementos combustibles calientes. Después el fluido recalentado es conducido por una tubería desde el centro hasta la caldera donde se calienta el agua para producir el vapor. Luego el refrigerante vuelve al núcleo del reactor para recalentarse.
- **Escudo contra radiaciones:** Es necesario un escudo muy grueso de acero y cemento para evitar cualquier fuga de neutrones o de fragmentos radiactivos.

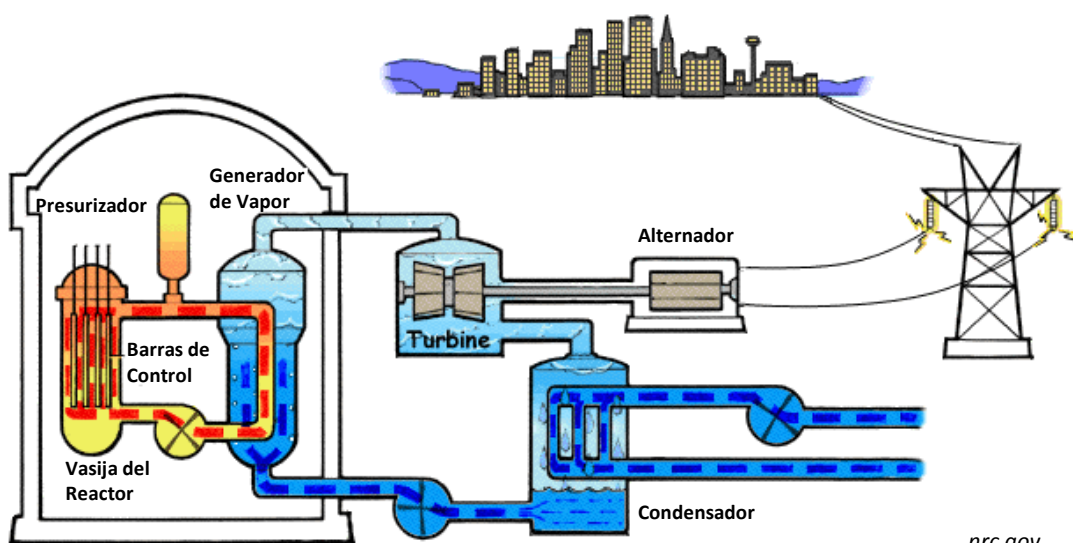
III.4.2. Tipos de reactores nucleares

Existen dos tipos de reactores:

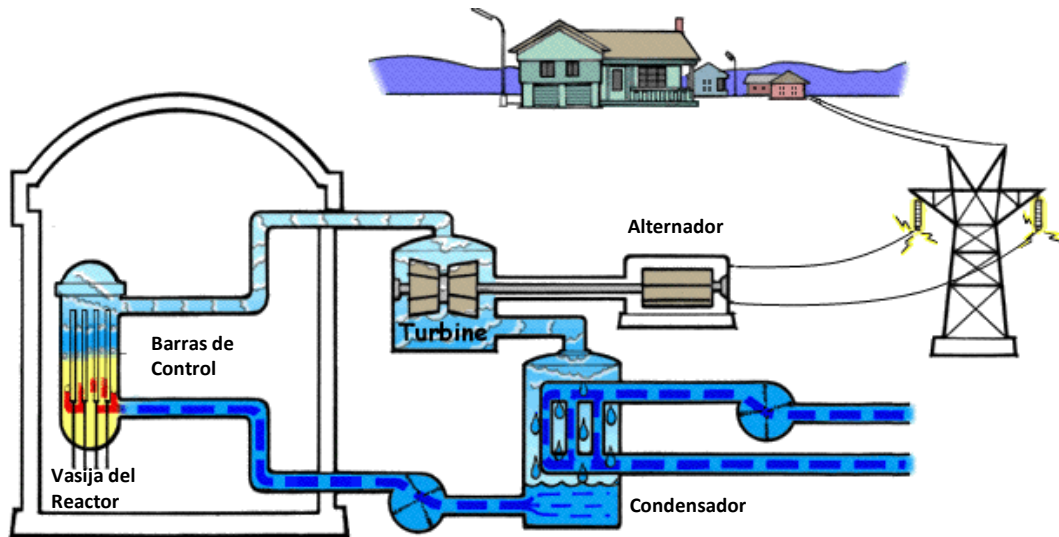
Los **reactores de investigación:** utilizan los neutrones generados en la fisión para producir radioisótopos, o bien para realizar diversos estudios en materiales.

Los **reactores de potencia:** estos reactores utilizan el calor generado en la fisión para producir energía eléctrica, desalinización de agua de mar, calefacción, o bien para sistemas de propulsión. Los dos tipos de reactores de potencia de mayor uso en el mundo son los de **agua a presión (PWR)** y los de **agua en ebullición (BWR)**

- **PWR:** Son reactores que emplean agua a gran presión como refrigerante, agua o grafito como moderador y óxido de uranio como combustible. Estos reactores se basan en el principio de que el agua a presión necesita temperaturas elevadas para alcanzar su punto de ebullición, lo que en este caso se quiere evitar. El agua a presión circula por un circuito cerrado (sin alcanzar el punto de ebullición) y transfiere el calor a otro circuito en el que sí se genera vapor. El vapor generado en este último circuito es el que acciona el grupo turbina – alternador. Son los más extendidos.



- **BWR:** Utiliza agua natural purificada como moderador y refrigerante. En este caso, el refrigerante al trabajar a menor presión si alcanza la temperatura de ebullición al pasar por el núcleo del reactor. El vapor generado en el circuito de refrigeración es el que se emplea para accionar los grupos turbina – alternador una vez separado del agua y reducida su humedad.



nrc.gov

Es importante destacar que:

1. En el interior del reactor nuclear la energía nuclear se convierte en calorífica
2. En las turbinas la energía calorífica extraída del reactor se transforma en mecánica.
3. En el generador (alternador) la energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

NOTA: El vapor de agua se vuelve a aprovechar, enfriándolo en el condensador.

III.5. Ventajas e Inconvenientes

Ventajas:

- Es una fuente de energía enorme, que complementa a las que provienen de la energía hidráulica y térmica.
- La contaminación atmosférica generada es prácticamente nula
- Propulsión de barcos, submarinos, portaaviones

Desventajas:

- Se pierde mucha energía en los circuitos de refrigeración.
- Las instalaciones son muy costosas, pues constan de complicados sistemas de seguridad.
- Los residuos radiactivos que generan deben ser tratados y luego deben ser enterrados, pues emiten radiación durante miles de años
- Una central media puede generar unas 60 toneladas de residuos al año.
- Las instalaciones son peligrosas y en caso de desmantelamiento, el coste es muy alto.

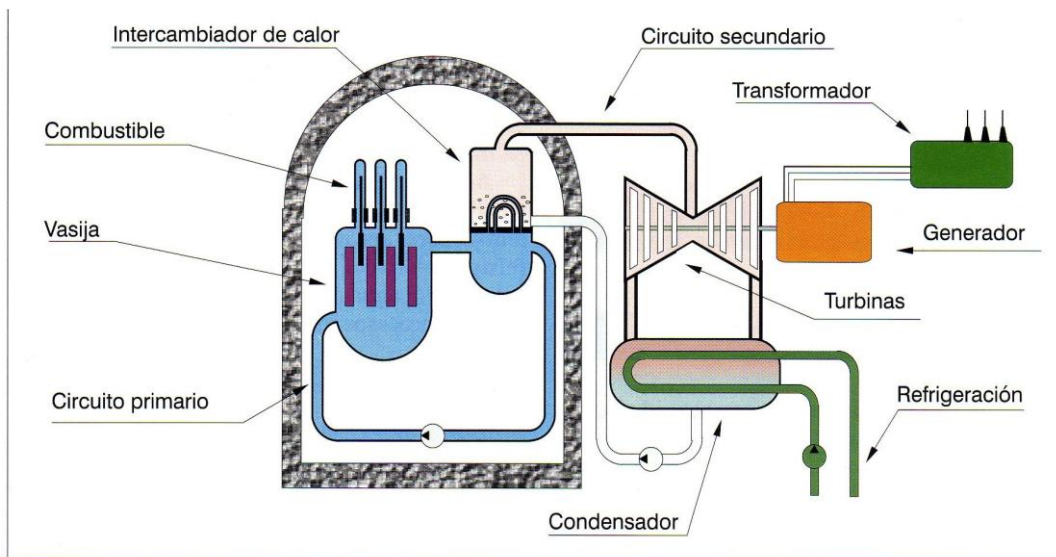
III.6. Impacto ambiental

La utilización de energía nuclear por fisión entraña una serie de riesgos que es importante conocer:

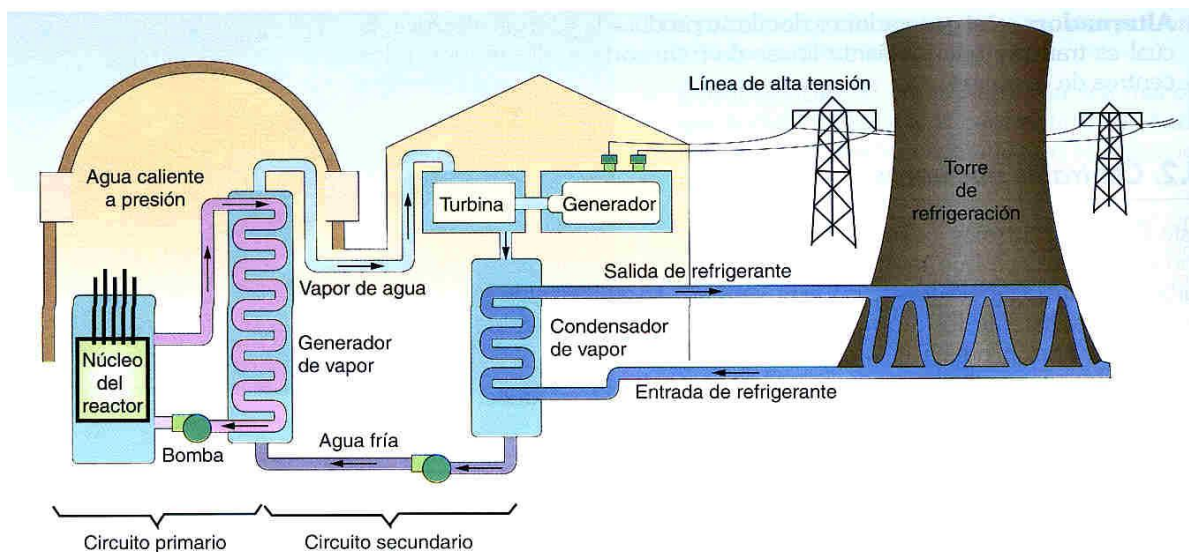
- Riesgo de explosiones nucleares en las centrales. Es bastante improbable.

- Fugas radiactivas: no son normales, pero han ocurrido.
- Exposiciones a radiaciones radiactivas.
- Residuos radiactivos: pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos en función de su estado y de baja, media y alta radiactividad según su peligrosidad.
 - los **residuos de baja y media radiactividad** se mezclan con hormigón y se meten en bidones, que se almacenan, primero en depósitos de la central y luego en un emplazamiento subterráneo.
 - Los **residuos de alta radiactividad**, se meten en piscinas de hormigón llenas de agua para reducir su peligrosidad y luego sufren un proceso similar al anterior.
- Impacto paisajístico
- Descarga de agua caliente: alteración ecosistemas
- Emisión del vapor de agua: modificación microclima del entorno
- Funcionamiento de las turbinas: ruido

III.7. Esquema de funcionamiento de una central nuclear



Esquema simplificado de una central nuclear de fisión.



Nota: La explicación detallada del funcionamiento pueden verla en la infografía correspondiente de Eroski.

En el enlace que se presenta a continuación, puedes acceder a la página de **Eroski consumer.es** y ver las infografías de los distintos combustibles fósiles, con el funcionamiento de una central térmica convencional, y la infografía correspondiente a la energía nuclear y funcionamiento de la central nuclear.

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/12/20/147913.php

Nota: También podemos hablar del **reactor reproductor rápido**, con sus siglas en inglés FBR (fast breeder reactor). Este tipo de reactores, además de producir energía también producen más material fisionable que el que consumen, de ahí el nombre de reproductor. Los reactores anteriores (BWR y PWR) utilizan U-235 como combustible, en este caso, se utiliza U-238, que es el componente principal (en torno al 99%) del uranio que se encuentra en la naturaleza. El U-238 (que rodea al combustible central U-235) absorbe un neutrón y da como resultado Pu-239, que es un isótopo fisionable. En este tipo de reactores se utiliza sodio líquido como refrigerante, pues no modera la velocidad de los neutrones.

EJERCICIOS

1. Cuando se produce una reacción nuclear, ¿la masa del combustible aumentará, disminuirá o será la misma al final del proceso? Razónalo.
2. ¿Qué papel tienen las barras de cadmio en un reactor nuclear? Razona por qué se introducen en el seno del reactor para parar la central.
3. ¿Crees razonable tirar los residuos nucleares al espacio mediante cohetes? ¿Ves algún inconveniente en ello?
4. ¿De dónde procede la energía nuclear?.
5. ¿En qué consiste una reacción en cadena y para qué se utiliza?
6. Similitudes y diferencias entre las partículas α , β , γ y los neutrones
7. ¿Por qué no se utilizan las reacciones de fusión para obtener energía?
8. Explica cómo puede obtenerse energía eléctrica a partir de reacciones de fisión
9. Enumera y explica las partes principales de un reactor nuclear
10. Impacto ambiental de una central nuclear
11. Averigua quiénes fueron las siguientes personas: Becquerel, Pierre y Marie Curie, Rutherford y Röntgen. ¿Qué tienen todos en común?
12. ¿Cuántas centrales nucleares existen actualmente en España? Enuméralas.
13. ¿Qué es un isótopo?
14. ¿Qué usos tiene la energía nuclear en medicina?

15. Realiza un breve informe sobre el accidente nuclear de Chernobil. Apóyate en las hemerotecas y en las enciclopedias.
16. Explica por qué crees que se está buscando petróleo en la zona comprendida entre Marruecos y las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Estudia los impactos que podrían producirse.

PROBLEMAS

En una reacción de fisión, se produce una pérdida de masa de 0,3 g. Calcula la energía producida en eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) (Sol: $E = 1,69 \cdot 10^{32} \text{ eV}$)

1. En una reacción de fisión, se produce una pérdida de masa de 0,25 mg. Calcula la energía producida en eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) (Sol: $E = 1,4 \cdot 10^{29} \text{ eV}$)
2. En una reacción nuclear se produce una pérdida de masa de 230 mg. Calcula la energía liberada en esa reacción en eV (Sol: $E = 1,29 \cdot 10^{32} \text{ eV}$)
3. Sabiendo que el poder calorífico del carbón es $P_c = 7200 \text{ kcal/kg}$, y el del gasóleo es $P_c = 11200 \text{ kcal/kg}$, determina qué cantidad de cada uno de ellos sería necesario quemar para obtener una energía equivalente a la obtenida si se desintegrara por completo 1 kg de uranio
4. La central nuclear de Almaraz consta de dos reactores capaces de generar 2.696 megawattios térmicos, de los que se extraen 1.860 megawattios de electricidad. Unas 73 toneladas de uranio radiactivo, en forma de barras, se introducen en una vasija blindada, cerrada herméticamente, por la que circula agua líquida a $348 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura y a una elevada presión (157 kg/cm^2) que le impide evaporarse, Esta agua es muy radiactiva y transmite su calor, mediante un intercambiador, a un segundo circuito (circuito secundario) conectado a la turbina de un generador de corriente. Contesta a las siguientes preguntas:
 - a) Sitúa Almaraz en un mapa de España.
 - b) ¿Qué tipo de central nuclear es?
 - c) Si esta central tiene una avería que la mantiene parada durante 5 días, ¿a cuánto ascienden sus pérdidas si suministra el kWh a 0.11 €?
 - d) ¿Qué misión tiene la turbina de una central?
 - e) ¿Qué rendimiento termoeléctrico posee esta central?
 - f) ¿Por qué crees que es muy radiactiva el agua del circuito primario y no la del circuito secundario?