



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

# VIABILIDAD DE LA FUSIÓN NUCLEAR COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

Autoras: Lourdes Arancón Farrás, M<sup>a</sup> Magdalena Bordes  
Margalet y Gisela Ruiz Alonso

Tutoras: Anna Maria Carreras y Natividad Saiz

2019/2020

Col·legi La Vall

## **AGRADECIMIENTOS**

Nos gustaría agradecer la colaboración de todas las personas que han hecho posible este trabajo de investigación, empezando por la de nuestras tutoras Anna Maria Carreras y Natividad Saiz, quienes confiaron en nosotras para realizar el viaje a Jülich, permitiéndonos vivir una experiencia en la que aprendimos mucho. Gracias también por habernos dado soporte, consejo y sincera opinión, durante todas las etapas de elaboración de este trabajo.

Igualmente nos gustaría agradecer al Dr. Richard L. Cobben (Head of ITER Delivery Department at Fusion for Energy), a la Dra. Macarena Liniers Vázquez (Jefe de la Unidad de Calentamiento de Plasmas por Inyección de Haces Neutros, CIEMAT), al Dr. Francisco Castejón Magaña (Consejero del Consejo de Seguridad Nacional) y al Dr. Carlos Hidalgo Vera (Laboratorio Nacional de Fusión, CIEMAT), expertos en este ámbito, por haber accedido a que los entrevistáramos. De esta manera pudimos conocer sus opiniones y ampliar nuestros conocimientos sobre las cuestiones importantes del trabajo, para así alcanzar los mejores resultados posibles.

Por último, agradecemos especialmente a nuestros padres, familiares y compañeras de clase el haber estado siempre dispuestos a ayudar en la medida de lo posible, mostrándonos su apoyo y estima.

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR</b>	<b>7</b>
1.1 COMPOSICIÓN DE UN ÁTOMO	7
1.2 EINSTEIN Y LA ECUACIÓN DE ENERGÍA	8
1.3 RADIOACTIVIDAD	8
1.4 DESINTEGRACIÓN Y PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	9
1.5 REACCIONES NUCLEARES	10
<b>2. FISIÓN</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1 QUÉ ES LA FISIÓN	12
2.2 CÓMO OBTENER LA ELECTRICIDAD	12
2.3 TIPOS DE REACTORES NUCLEARES	13
2.4 SITUACIÓN MUNDIAL DE CENTRALES NUCLEARES	15
<b>3. FUSIÓN</b>	<b>16</b>
3.1 CONCEPTO DE FUSIÓN	16
3.2 LA FUSIÓN NO-ARTIFICIAL	16
3.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA Y PROYECTO ITER	17
3.4 CÓMO OBTENER LA ELECTRICIDAD	19
<b>4. LA FUSIÓN COMO ALTERNATIVA A LA FISIÓN</b>	<b>20</b>
4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FISIÓN	20
4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FUSIÓN NUCLEAR	24
<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>25</b>
● ESTUDIO	25
● OPINIÓN SOCIAL	26
○ POBLACIÓN GENERAL	26
○ COMUNIDAD CIENTÍFICA (ENTREVISTAS)	31
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>487</b>
● WEBS	48
● ARTÍCULOS	49
<b>GLOSARIO</b>	<b>49</b>

## **ÍNDICE DE IMÁGENES**

Imagen 1. Gráfico: periodo de semidesintegración (página 9)

Imagen 2. Gráfico: serie del Torio (página 10)

Imagen 3. Gráfico: serie del Uranio-Radio (página 10)

Imagen 4. Gráfico: serie del Actinio-Uranio (página 10)

Imagen 5. Gráfico: proceso de fisión nuclear (página 12)

Imagen 6. Esquema obtención de electricidad por fisión (página 12)

Imagen 7. Central nuclear (página 13)

Imagen 8. Esquema reactor de agua a presión (PWR) (página 14)

Imagen 9. Esquema reactor de agua en ebullición (BWR) (página 14)

Imagen 10. Esquema reactor rápido (FBR) (página 15)

Imagen 11. Mapa centrales nucleares (página 15)

Imagen 12. Gráfico: proceso de fusión nuclear (página 16)

Imagen 13. Tokamak (página 17)

Imagen 14. Stellarator (página 18)

Imagen 15. Proyecto ITER (página 18)

Imagen 16. Esquema obtención de electricidad por fusión (página 19)

Imagen 17. Vertidos radiactivos en el mundo catalogados por la OIEA (página 21)

Imagen 18. Informe de Red Eléctrica de España (REE) (página 22)

Imagen 19. Accidente de Chernóbil (página 23)

## PRÓLOGO

Antes de escoger el tema sobre el que íbamos a profundizar, tuvimos la suerte de participar en el programa de Erasmus +, una oportunidad para viajar a Alemania durante cinco días, y así visitar y trabajar en los laboratorios del Forschungszentrum de Jülich. Allí recibimos varias clases de formación para realizar las prácticas de laboratorio relacionadas con los diferentes temas disponibles para hacer el trabajo.

La práctica que nos llamó especialmente la atención fue la que trataba sobre superconductores y campos magnéticos. La experiencia fue muy enriquecedora y pudimos aprender muchas cosas nuevas.

El hecho de haber realizado la parte práctica del trabajo antes de decantarnos por el tema de este, fue beneficioso ya que nos ayudó a ver las opciones con más perspectiva y conocer en qué consistían antes de tomar una decisión. De todas formas, esta decisión no fue fácil, puesto que nuestro tema era el que menos relación tenía con las prácticas realizadas en Alemania. Y no fue hasta unas semanas después de estar de vuelta, cuando finalmente nos decantamos por investigar sobre la fusión y la fisión nuclear, tras haber considerado las opciones que este tema nos ofrecía para indagar. Estábamos interesadas en el tópico, pensábamos que tenía relación con la situación actual del planeta desde un punto de vista ambiental y los diferentes métodos de obtención de energía renovable. Muchos de los conceptos relacionados son complicados, pero teníamos interés en ver cómo podíamos desarrollar el trabajo y a qué conclusiones íbamos a llegar.

# INTRODUCCIÓN

La energía es el motor que mueve nuestra sociedad y uno de los factores esenciales que ha contribuido a mejorar la calidad de vida de la humanidad.

Las necesidades energéticas de los seres humanos se han multiplicado por cien a lo largo de la historia, y los avances en la búsqueda de fuentes de energía han provocado cambios radicales en nuestra sociedad.

Pero la generación y consumo de energía no suponen únicamente beneficios, sino que tienen también un grave impacto en el medio ambiente: el cambio climático. Este está relacionado con un aumento de la proporción de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. El gas más significativo es el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y su emisión es, en gran parte, el resultado de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) como fuentes de energía. Además de su contribución al calentamiento global, estos combustibles son recursos no renovables, en otras palabras, existen en cantidades limitadas en la naturaleza. Si a esto se le suma el hecho de que se estima que en 2050 las necesidades energéticas de la población mundial serán el doble que las actuales, aparece entonces la urgente necesidad de encontrar nuevas estrategias para obtener energía.

La dificultad está en descubrir fuentes de energía que no obstaculicen el desarrollo sostenible, es decir, que la sociedad de hoy en día pueda satisfacer sus necesidades sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para cubrir las suyas propias.

Una de las propuestas que mejor se adapta a estos requisitos es la fusión nuclear, muchas veces confundida con la fisión nuclear. Tanto una como otra dan lugar a reacciones nucleares. Por ello, estos dos recursos energéticos suelen englobarse erróneamente en un mismo concepto y de la misma forma, suelen rechazarse sin siquiera diferenciarlos. Esto se atribuye a la mala fama que tienen las energías nucleares por accidentes como el de Chernóbil o por su uso para fabricar armas y bombas atómicas.

Aparte del gran estigma social al que se enfrenta la fusión nuclear, otro obstáculo para su desarrollo es la avanzada tecnología que requiere y, en consecuencia, la gran inversión que supone.

Aún así, la fusión nuclear podría ser la solución: una fuente energética limpia y renovable, capaz de producir suficiente energía para sustituir a otras fuentes no renovables y disminuir así la contaminación ambiental.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son estudiar la viabilidad de la fusión nuclear como futura fuente de energía, dar a conocer los beneficios que tiene para nuestra sociedad y cambiar la visión negativa general sobre las energías nucleares.

# MARCO TEÓRICO

## 1. INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA NUCLEAR

### 1.1 COMPOSICIÓN DE UN ÁTOMO

Un átomo es la partícula más pequeña en que un elemento puede ser dividido sin perder sus propiedades químicas.

El átomo está formado por unidades más pequeñas a las que llamamos partículas subatómicas. La estructura de un átomo es muy sencilla y consta de un **núcleo** formado por neutrones (partículas sin carga eléctrica) y protones (partículas con carga positiva) y una **corteza** formada por electrones (partículas con carga negativa).

En el núcleo se encuentran los protones y los neutrones unidos mediante fuerzas de interacción nuclear. Por este mismo motivo, las dos partículas también son conocidas como nucleones.

Para estudiar el núcleo de los átomos se utilizan algunas de las siguientes definiciones:

Número atómico ( $Z$ )	Número de protones que hay en el núcleo
Número másico ( $A$ )	Número de protones y neutrones que hay en un átomo (número de nucleones)
Número neutrónico ( $N$ )	Número de neutrones

Como el número másico expresa el número de nucleones (protones + neutrones), podemos deducir la siguiente fórmula:

$$A = Z + N$$

En cuanto a los electrones, estos se encuentran a unas distancias determinadas del núcleo y en distintos estados energéticos que conocemos como orbitales. Los electrones pueden cambiar su estado energético a través de la absorción de energía.

### Isótopos

Son los átomos que contienen el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones.

El hidrógeno, que es el elemento más ligero de la naturaleza, tiene tres isótopos: el protio (representado por el símbolo H, con un solo protón en el núcleo), el deuterio (representado por el símbolo D, su núcleo contiene un protón y un neutrón) y el tritio (representado por el símbolo T, contiene un protón y dos neutrones en su núcleo).

Estos dos últimos isótopos son los que reaccionan con otro átomo para realizar la fusión nuclear.

## 1.2 EINSTEIN Y LA ECUACIÓN DE ENERGÍA

Los núcleos de los átomos pueden sufrir una serie de transformaciones que reciben el nombre de reacciones nucleares. En estos procesos nucleares, parte de la masa de los núcleos o partículas que participan en la reacción se transforma en energía según la ecuación de Einstein:  $E = (\Delta m) \cdot c^2$

- $\Delta m$ : es la variación de la masa que sucede en el proceso
- $c$ : es la velocidad de la luz, de valor  $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

En la fisión, un núcleo pesado es bombardeado por una partícula y se obtienen dos núcleos más ligeros y partículas. La masa total de los productos resultantes (núcleos ligeros y partículas) es menor que la masa total del núcleo más la partícula inicial.

En la fusión, dos átomos ligeros se unen para formar uno más pesado. La masa total del nuevo átomo es menor que la de los dos que lo han formado: el defecto de masa se libera en forma de energía.

## 1.3 RADIOACTIVIDAD

En el año 1896, el físico francés Henri Becquerel descubrió que los cristales de una sal de uranio emitían unas partículas desconocidas hasta el momento. Este fenómeno fue denominado radioactividad.

Estas partículas tenían las siguientes características:

- atravesar la materia
- dejar marcas en las placas fotográficas
- ionizar el aire y los gases y convertirlos en conductores eléctricos
- provocar la fluorescencia de ciertas sustancias

Así, la radioactividad es el conjunto de partículas emitidas por una muestra radiactiva.

Hay tres tipos de emisiones radioactivas:

- Partículas  $\alpha$ : consisten en núcleos de helio que son emitidos a velocidades semejantes a  $1/20c$ . Se pueden representar con el símbolo  $\alpha$  o  ${}^4_2\text{He}$
- Partículas  $\beta$ : con estudios sobre las reacciones nucleares inducidas artificialmente, se pudo observar la emisión de positrones (son las antipartículas del electrón), que tienen la misma masa pero una carga de signo contrario.

De esta manera podemos distinguir distintas emisiones:

1. Emisiones  $\beta^-$  o emisión de electrones
2. Emisiones  $\beta^+$  o emisión de positrones.



- Radiación  $\gamma$  : es un tipo de radiación electromagnética, por tanto, se propaga en el vacío a velocidad  $c$ . Las emisiones gamma acostumbran a seguir a las emisiones  $\alpha$  y  $\beta$ .

## 1.4 DESINTEGRACIÓN Y PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN

### Desintegración

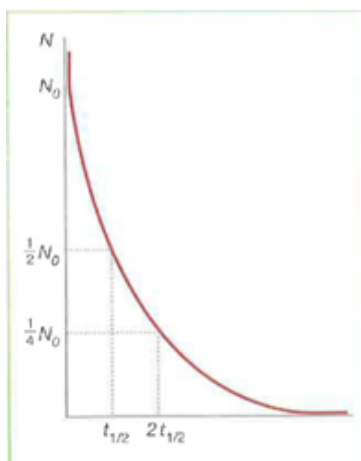
La desintegración radiactiva es el proceso por el cual los núcleos radiactivos emiten ciertas partículas y se transforman en unos núcleos diferentes hasta que se convierten en estables (normalmente se convierten en Pb).

La ley exponencial de desintegración radiactiva, nos da la relación entre los núcleos presentes ( $N$ ) de una muestra al cabo de un tiempo  $t$  y los núcleos iniciales ( $N_0$ ):  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Además, cada isótopo radiactivo o radioisótopo está caracterizado por tener una constante que representa la probabilidad de que un núcleo se desintegre por unidad del tiempo. A esta constante de proporcionalidad se la denomina constante de desintegración ( $\lambda$ ) y se expresa en  $s^{-1}$ .

### Periodo de semidesintegración

Es la magnitud que se utiliza para estudiar la velocidad de desintegración.



El periodo de semidesintegración o semivida ( $T_{1/2}$ ) es el tiempo que tarda una muestra en reducirse a la mitad.

Esta acción no es constante en el tiempo, sino que tiene un comportamiento de caída exponencial. Por ejemplo, este será el comportamiento de una muestra de 100 núcleos de yodo-131 cuyo periodo de semidesintegración es de aproximadamente 8 días: al cabo de 8 días quedarán 50 núcleos de yodo-131, al cabo de 16 días quedarán 25 núcleos de yodo-131, al cabo de 24 días quedarán 12,5 núcleos de yodo-131,...y así sucesivamente.

Imagen 1. Gráfico: periodo de

- La actividad ( $A$ ) es el número de desintegraciones que se dan por unidad de tiempo. Su unidad es el becquerel (Bq), que equivale a una desintegración por segundo. Otra unidad que se utiliza para la actividad es el curie (Ci).

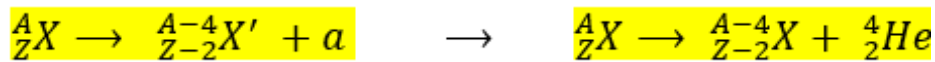
$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$



## Reacciones nucleares naturales:

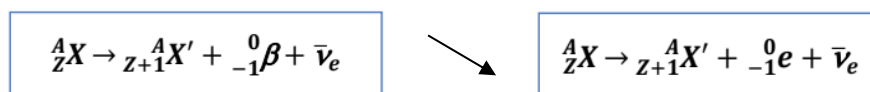
Las reacciones nucleares más importantes que se producen en la naturaleza son:

- **Emisión alfa:** En la que se emiten núcleos de Helio con carga positiva. Se produce cuando un núcleo radiactivo emite una partícula  $\alpha$ , es decir un núcleo de helio, pierde dos protones y dos neutrones, con lo que el núcleo original reduce en 2 unidades su número atómico Z y en 4 su masa atómica A.



- **Emisión beta:**

- o Cuando el núcleo pierde una **partícula  $\beta^-$**  (se emite un electrón), que equivale a un electrón al cual se asigna masa atómica 0 y nombre atómico -1. Es decir, el nombre másico se mantiene invariable y el nombre atómico del núcleo hijo aumenta en 1 respecto al núcleo padre. Siempre que se emite una partícula  $\beta^-$  o un electrón, este va unido a la emisión de un antineutrino electrónico  $\bar{\nu}_e$ .



- o Cuando el núcleo pierde una **partícula  $\beta^+$**  (se emite un positrón), que equivale a un positrón al cual se le asigna masa atómica 0 y nombre atómico +1. Es decir, el nombre másico se mantiene invariable y el nombre atómico del núcleo hijo disminuye en 1 respecto al núcleo padre. Siempre que se emite una partícula  $\beta^+$  o positrón, este va unido a la emisión de un neutrino electrónico  $\nu_e$ .



- **Emisión gamma:** Se emite un fotón. Se produce cuando un núcleo que está en estado excitado ( $\chi^*$ ) desprende la energía que tiene en exceso en forma de radiación electromagnética. El núcleo radiactivo emite una radiación  $\gamma$ , y entonces pierde un fotón de energía  $E=hf$ , equivalente a la cantidad de energía en exceso que tenía el núcleo inicial, y asume el estado fundamental:  $\chi^* \rightarrow \chi + \gamma$

## 2. FISIÓN

### 2.1 QUÉ ES LA FISIÓN

La fisión nuclear es una reacción nuclear en la cual un núcleo pesado, al ser bombardeado con neutrones, se convierte en inestable y se descompone en dos núcleos, cuyas masas son del mismo orden de magnitud, y cuya suma es ligeramente inferior a la masa del núcleo pesado, lo que origina un gran desprendimiento de energía y otros subproductos como neutrones y fotones (rayos  $\gamma$ ).

Estos neutrones, a su vez, pueden ocasionar más fisiones al interactuar con otros núcleos fisionables que emitirán nuevos neutrones, y así sucesivamente. Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de reacción en cadena. En una pequeña fracción de tiempo, los núcleos fisionados liberan una energía un millón de veces mayor que la obtenida, por ejemplo, en la reacción de combustión de un combustible fósil.

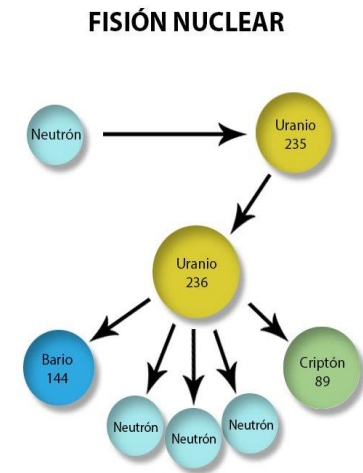


Imagen 5. Gráfico: proceso de fisión nuclear

Si se logra que solo uno de los neutrones liberados produzca una fisión posterior, el número de fisiones que tiene lugar por unidad de tiempo es constante y la reacción está controlada.

Este es el principio de funcionamiento en el que se basan los reactores nucleares que se encuentran en operación en la actualidad para la generación de energía eléctrica.

El Uranio enriquecido es el combustible más utilizado en los reactores nucleares de fisión.

### 2.2 CÓMO OBTENER LA ELECTRICIDAD

El reactor es el encargado de provocar y controlar fisiones atómicas que generarán una gran cantidad de energía calorífica. Con este calor se calienta agua para convertirla en vapor a alta presión y temperatura.

El vapor de agua acciona un conjunto de turbinas, las cuales generan energía mecánica que se aprovecha para accionar un generador eléctrico.

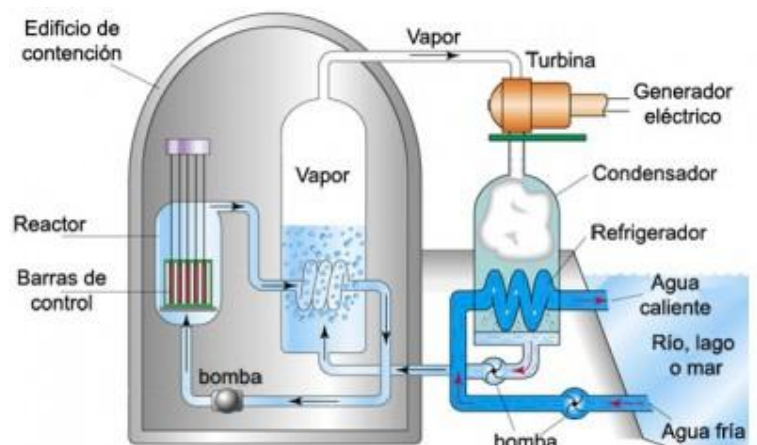


Imagen 6. Esquema obtención de

Desde un punto de vista físico se observan varios cambios de energía: inicialmente tenemos energía nuclear (la que mantiene los núcleos de los átomos cohesionados), posteriormente, al romperse se convierte en energía térmica. Parte de la energía térmica se convierte en energía interna del agua al convertirse en vapor según los principios de la termodinámica. La energía interna y la energía calorífica del agua se transforman en energía cinética al accionar la turbina. Finalmente, el generador convierte la energía cinética en energía eléctrica.

Por otra parte, el vapor de agua que sale de la turbina, aunque ha perdido energía calorífica, sigue estando en estado gaseoso y muy caliente, por lo que hay que refrigerar antes de volverlo a introducir en el circuito. Al salir de la turbina se dirige a un depósito de condensación donde estará en contacto térmico con unas tuberías de agua fría. El vapor de agua se vuelve líquido, y mediante una bomba se redirige nuevamente al reactor nuclear para volver a repetir el ciclo.



Imagen 7

De ahí que las centrales nucleares siempre estén instaladas cerca de una fuente abundante de agua fría (mar, río, lago), para aprovechar este agua en el depósito de condensación. La columna de humo blanco que se puede ver saliendo de determinadas centrales es el vapor de agua que se provoca cuando se está enfriando el agua que hay que devolver al mar, río o lago.

### 2.3 TIPOS DE REACTORES NUCLEARES

Un reactor nuclear de fisión es una instalación capaz de iniciar, mantener y controlar las reacciones de fisión en cadena, extrayendo el calor generado.

Según la velocidad de los neutrones los reactores nucleares se clasifican en:

1. Reactores térmicos: funcionan moderando los neutrones más rápidos o incrementando la proporción de átomos fisibles. Para ralentizar estos neutrones, llamados neutrones lentos, se necesita un moderador que puede ser agua ligera, agua pesada o grafito. Estos reactores se pueden clasificar al mismo tiempo según el moderador que utilicen.

- a. Reactor de agua ligera (estos dos reactores son los más utilizados en el mundo)

i. **Reactor de agua a presión (PWR)**

Utiliza agua como moderador y refrigerante, y óxido de uranio enriquecido como combustible.

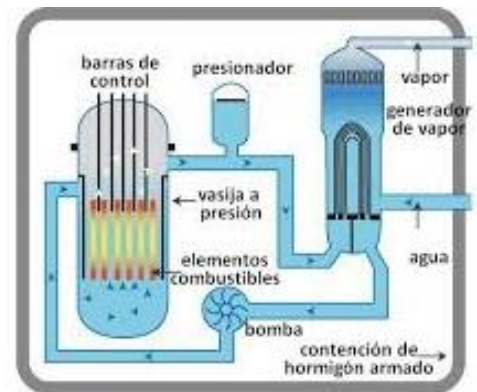


Imagen 8. Esquema reactor de agua a presión

ii. **Reactor de agua en ebullición (BWR)**

Una parte del agua del refrigerante pasa a la fase vapor en el propio reactor, a la vez que se usa como moderador.

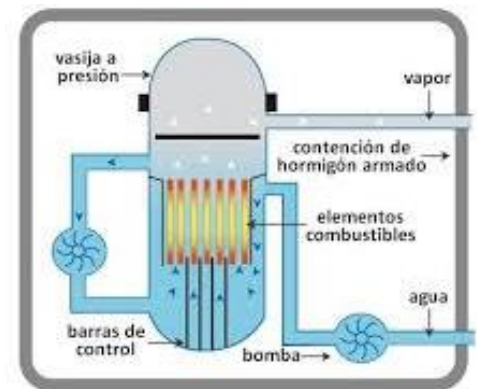


Imagen 9. Esquema reactor de agua en ebullición

b. **Reactor de agua pesada (HWR)**

Emplea agua pesada (es una molécula de composición química equivalente al agua, pero en la que los átomos de hidrógeno son sustituidos por deuterio) como moderador. Puede emplear uranio natural o ligeramente enriquecido como combustible.

c. **Reactor de uranio natural, gas y grafito (GCR)**

Su combustible es uranio natural en forma de metal. Emplea grafito como moderador y se refrigera por anhídrido carbónico (dióxido de carbono).

d. **Reactor avanzado de gas (AGR)**

Utiliza como combustible óxido de uranio ligeramente enriquecido que está dispuesto en tubos de acero inoxidable.

## 2. Reactor rápido (FBR)

No utiliza moderador, por tanto, la mayoría de las fisiones se producen por neutrones rápidos. El núcleo del reactor consta de una zona fisionable, rodeada de una zona fértil en la que el uranio natural se transforma en plutonio.

El refrigerante es sodio líquido, el vapor se produce en intercambiadores de calor y produce más combustible que el que gasta.

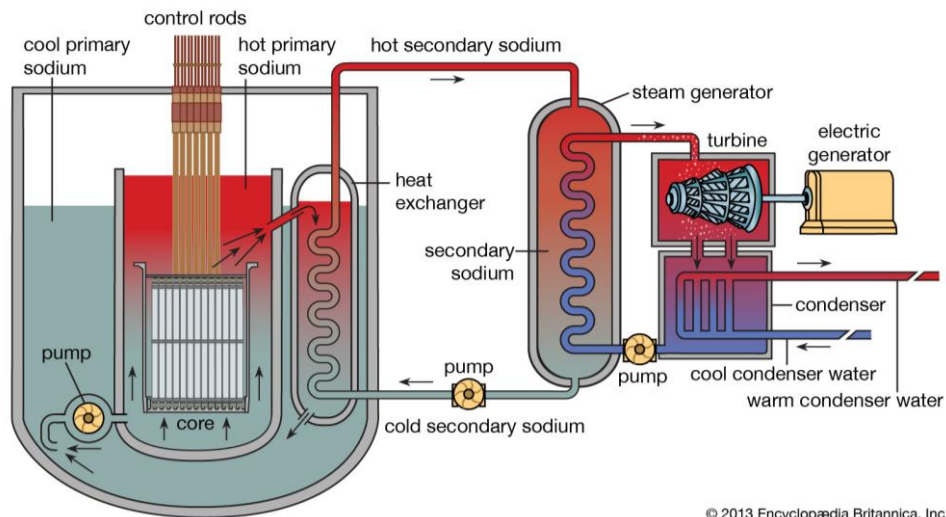


Imagen 10. Esquema reactor rápido

## 2.4 SITUACIÓN MUNDIAL DE CENTRALES NUCLEARES

Actualmente, en el mundo hay 30 países que disponen de centrales nucleares para la generación de electricidad.

A nivel mundial, están operando cerca de 450 reactores nucleares. Todos estos reactores son los que generan un 11% de la energía eléctrica consumida en el mundo.

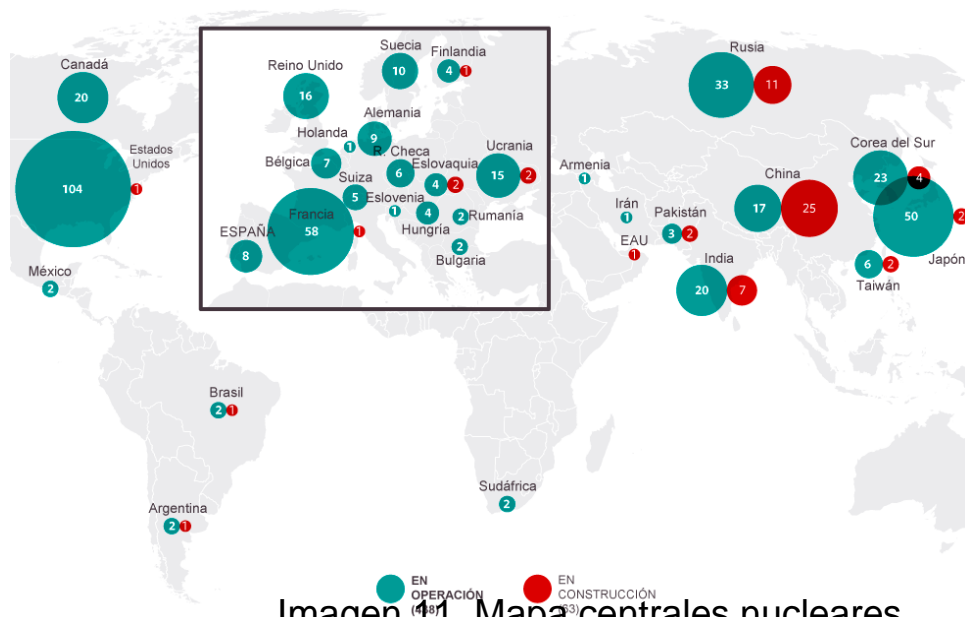


Imagen 11. Mapa centrales nucleares



### 3. FUSIÓN

#### 3.1 CONCEPTO DE FUSIÓN

La fusión nuclear es una reacción 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.

Para que tenga lugar la fusión, los núcleos cargados positivamente deben aproximarse venciendo las fuerzas electrostáticas de repulsión. En la Tierra, para alcanzar la energía necesaria para que los núcleos que reaccionan venzan las interacciones se necesita un acelerador de partículas.

Una reacción típica de fusión nuclear consiste en la combinación de dos isótopos del hidrógeno, deuterio y tritio, para formar un átomo de helio más un neutrón.

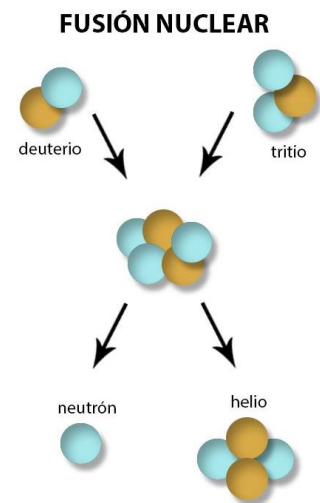
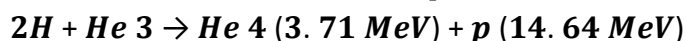
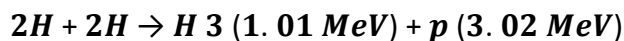
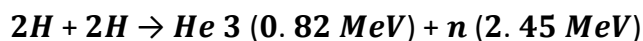


Imagen 12. Gráfico: proceso de fusión nuclear

Las reacciones que se llevan a cabo en la fusión nuclear del hidrógeno y sus isótopos son:



#### 3.2 LA FUSIÓN NO-ARTIFICIAL

La energía producida por el Sol tiene este origen. Fusiona núcleos de hidrógeno para formar átomos de helio en su centro por reacciones de fusión que están "quemando" el hidrógeno, su principal componente, y lo convierten en helio y otros elementos más pesados. Durante el proceso, libera una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que desde la Tierra percibimos como luz y calor. La fusión nuclear no solo permite que una estrella pueda permanecer brillando durante miles de millones de años, sino que también es la causa de la existencia de todos los elementos que constituyen la materia, además del hidrógeno.

Aunque los elementos se sintetizan en el interior de las estrellas, pueden ser liberados al espacio interestelar hacia el final de la vida de éstas. Eso ocurre especialmente en las estrellas de gran masa, pues normalmente terminan su existencia cuando la temperatura central aumenta tanto que se vuelven inestables y estallan, expulsando la mayor parte de su masa como materia y energía.



A una estrella en esta última fase de su evolución se le llama supernova, ya que aparece en el cielo, de un día para otro, como una "nueva" estrella muy brillante. La materia expulsada de esta manera puede ser condensada posteriormente para formar estrellas de segunda generación (y posiblemente planetas) que ya contienen elementos pesados.

### 3.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ENERGÍA Y PROYECTO ITER

#### Tokamak y Stellarator

Para conseguir una fusión nuclear estable, se reproduce el proceso por el cual las estrellas se mantienen vivas. En este se generan unas temperaturas de entre 100 y 200 millones de grados. Como ningún material puede soportar semejantes temperaturas, se utilizan dos tecnologías (Tokamak y Stellarator) las cuales se enfrentan para conseguir mayor efectividad.

Ambas se basan en el confinamiento magnético del plasma (lo contienen y controlan), que consiste en generar un campo magnético toroidal (en forma de donut) muy intenso mediante bobinas de campo externas que llevan una corriente muy fuerte.

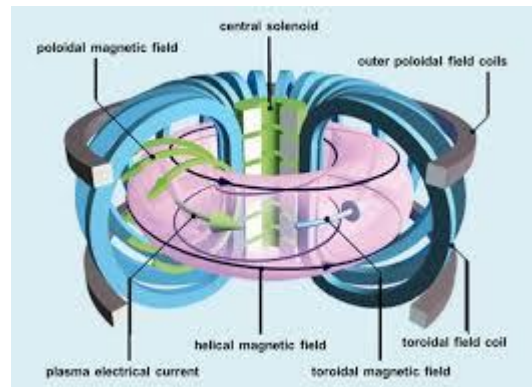


Imagen 13. Tokamak

#### - Tokamak

Se trata de una máquina experimental diseñada para aprovechar la energía de fusión. La energía se absorbe dentro del Tokamak en forma de calor, adherido a las paredes de la máquina. La central de fusión utiliza este calor para producir vapor y después electricidad mediante turbinas y generadores.

En el campo magnético, se inyecta hidrógeno o deuterio, que se calienta mediante radiación de microondas. Enseguida la temperatura del gas asciende lo suficiente para que se ionice, es decir, que los núcleos atómicos pierdan sus electrones asociados.

El gas ionizado resultante se llama plasma. Las partículas ionizadas estarán fuertemente afectadas por el campo magnético y tenderán a seguir las líneas de campo. Debido a que las líneas de campo están diseñadas para doblarse sobre sí mismas dentro del recipiente en forma de donut, las partículas no pueden escapar y son confinadas. De este modo, se impide que el plasma tenga contacto con las paredes del reactor nuclear.

Su movimiento genera calor, el cual se aprovecha para producir vapor que servirá para mover una turbina que, juntamente con un generador, producirá electricidad.

## - Stellarator

Fue inventado por Lyman Spitzer en 1950 y construido un año después en lo que más tarde sería el Laboratorio de Princeton de Física de Plasma. Su nombre hace referencia a las estrellas ("stella") y al uso del mismo principio físico que las sustenta para generar energía ("generator").

Los Stellarator se consideran una alternativa a los Tokamak para la construcción del próximo reactor de demostración, debido a sus ventajas respecto a estos, desde el punto de vista de rentabilidad comercial, debido a la posibilidad de funcionamiento continuo.

En los stellarators, el campo magnético usado para el confinamiento del plasma es generado por bobinas externas con complicadas geometrías, es decir se diferencia de los tokamak en que su plasma no tiene simetría axial, su forma varía al girar a lo largo del eje magnético. Y el proceso por el cual se extrae la energía es el mismo que en los Tokamak.

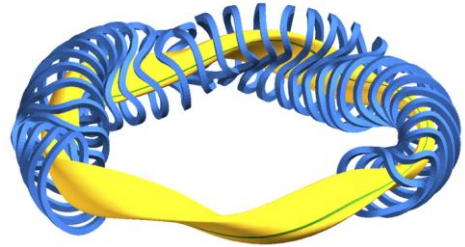


Imagen 14. Stellarator

## Proyecto ITER



Imagen 15. Proyecto

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), es uno de los proyectos energéticos más ambiciosos del mundo y es el más grande del mundo. Se encuentra en el sur de Francia y cuenta con la colaboración de 35 países. Costando alrededor de unos 24.000 millones de euros, es el quinto proyecto más costoso de la historia.

El proyecto consiste en la construcción del reactor nuclear Tokamak más grande del mundo, que consiga funcionar durante el mayor tiempo posible y así demostrar la viabilidad de la fusión como una fuente de energía a gran escala y libre de contaminación. El ITER está diseñado para calentar un plasma de hidrógeno gaseoso hasta 100 millones de grados Celsius. Y debería generar su primer plasma en diciembre de 2025.

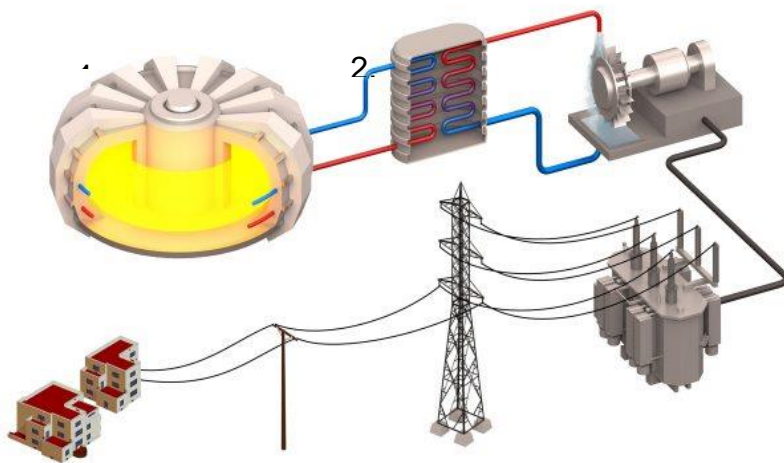
La máquina ha estado diseñada específicamente para:

- Producir 500 MW de potencia de fusión.
- Demostrar el funcionamiento de las tecnologías para una planta de energía de fusión.
- Demostrar las características de seguridad del dispositivo de fusión.
- Demostrar la viabilidad de producir tritio para autoabastecerse

### 3.4 CÓMO OBTENER LA ELECTRICIDAD

En el reactor nuclear la energía contenida en el núcleo de un átomo es liberada en forma de calor (por lo que obtenemos energía térmica). Esta energía térmica calienta el fluido de refrigeración contenido en un circuito primario. Mediante un intercambiador de calor, se transmite la energía térmica a un circuito secundario.

A continuación esta última forma de energía provoca que el fluido de este circuito cerrado se evapore, apareciendo vapor a alta presión, y, por tanto, dotado de energía cinética, que es aquella que poseen los cuerpos debido a su movimiento. La energía cinética del vapor de agua en movimiento se transforma en energía mecánica al hacer girar las turbinas de la central nuclear. Por último, esta se transforma de nuevo, pero esta vez en energía eléctrica mediante un generador de corriente alterna cuyo eje está conectado a la turbina. Un transformador es entonces el responsable de aumentar la tensión eléctrica para que la electricidad pueda ser transportada a los puntos de consumo con la menor pérdida de energía posible. ya que cuando la corriente circula por un conductor, parte de la energía se disipa en forma de calor por efecto Joule.



Reactor nuclear Tokamak  
Intercambiador de calor  
Circuito  
primario  
Circuito

Imagen 16. Esquema obtención de electricidad

## **4. LA FUSIÓN COMO ALTERNATIVA A LA FISIÓN**

### **4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FISIÓN**

#### Ventajas de la fisión:

- Genera una gran cantidad de energía.  
La fisión nuclear permite a las centrales nucleares producir cantidades muy grandes de energía eléctrica, como consecuencia una mayor parte de la población puede hacer uso de ella por un precio estable. Si la producción de esta electricidad proviniera de los combustibles fósiles los precios serían mucho más cambiantes ya que dependería directamente de la disponibilidad de recursos fósiles.
- No se producen gases de efecto invernadero.  
El humo que acostumbra a salir de las grandes chimeneas de las centrales nucleares, no es más que vapor de agua utilizado para movilizar las turbinas que accionan el reactor eléctrico. Así que el proceso de fisión nuclear no produce gases perjudiciales para el medioambiente como el CO<sub>2</sub> o el N<sub>2</sub>O liberados en otros métodos contaminantes de obtención de energía.
- Se reduce la dependencia del petróleo.  
El uso de la fisión nuclear como fuente de energía permite minimizar el uso de recursos fósiles como el petróleo o el carbón para la producción de electricidad.
- Daña menos el medio ambiente.  
En 2019 el 36'22% de la electricidad generada en España fue producida por centrales nucleares, convirtiendo así la energía nuclear en la fuente que más contribuye a reducir emisiones contaminantes.

#### Desventajas de la fisión

##### **Cómo afecta la fisión en el medio ambiente**

- Emisión de CO<sub>2</sub>: al extraer uranio y al llevarlo hacia las centrales se emite este gas el cual es una de las principales causas del efecto invernadero.
- Puede provocar posibles accidentes: El más claro ejemplo de uno de estos accidentes es el que se dio en Chernóbil en 1986, que sacudió toda una generación, y más cercano en el tiempo, el de la central japonesa de Fukushima en el año 2011. Cuando hay un accidente de este tipo en una central nuclear, los niveles de radiación que se liberan resultan mortales para cualquier planta, animal o persona que se vea expuesta. Según el nivel de intensidad de esta radiación, los efectos son mortales a corto, mediano o largo plazo, por ejemplo, causando malformaciones o tumores.

- Puede causar problemas de salud: La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica.
- Genera residuos nucleares: Los residuos nucleares pueden pasar miles de años antes de que empiecen a dejar de ser radiactivos, suponiendo un peligro latente para la flora y fauna del planeta. A día de hoy, se encierran en los cementerios nucleares, sellándolos y aislándolos bajo tierra o en el fondo del mar. El problema es que se trata de una solución a corto plazo y que no es definitiva.
- Entre 1949 y 1982 ocho países se deshicieron de unas 140.000 toneladas de residuos nucleares metiéndolos en bidones de acero y hormigón que tiraron al Atlántico frente a las costas europeas, en la denominada Fosa Atlántica. Los últimos vertidos antes de su prohibición, de Holanda a finales de 1982, hace ahora 35 años, están a 650 kilómetros de Galicia, pero los hay anteriores y más cerca de las costas de la Península Ibérica, como los británicos de 1964 a sólo 200 kilómetros de Asturias. 35 años después del final de los vertidos, y con los primeros acercándose a las siete décadas de antigüedad, una docena de organismos internacionales y españoles son incapaces de responder si alguien vigila esos bidones con algún tipo de programa permanente de supervisión.

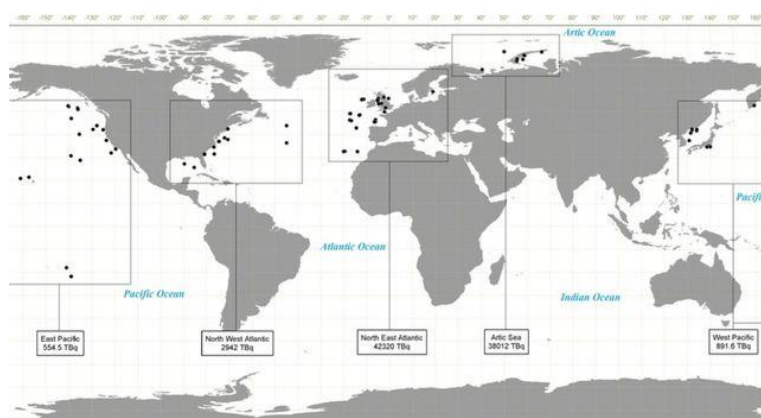


Imagen 17. Vertidos radiactivos en el mundo catalogados

Por su situación, España debería ser el estado más preocupado por los vertidos radiactivos de la Fosa Atlántica. De hecho, en algún punto no bien determinado del Golfo de Vizcaya está también hundido el K-8, un submarino nuclear soviético accidentado en 1970.

- Según un informe de Red Eléctrica de España (REE), actualmente un 22% de la energía utilizada en España proviene de la nuclear. Genera 55,546 Gigavatios en una hora.

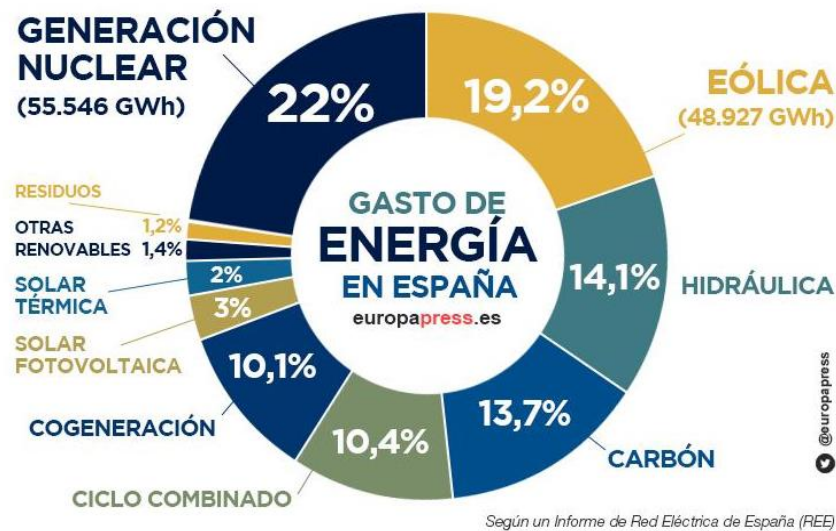


Imagen 18. Informe de Red Eléctrica de España

### Cómo afecta la fisión en los seres vivos

- Cuando la radiación atraviesa la materia orgánica, altera el buen funcionamiento de las células. Ya que la radiación ioniza las moléculas y los átomos de las células, y pone en peligro la salud del organismo.
- El daño depende de la intensidad y del tiempo de exposición a la radiación.
- Pueden producirse daños somáticos, es decir, cuando la radiación no actúa sobre las células reproductivas. Un exceso de radiación puede originar cáncer, pero si la radiación es débil las células son capaces de regenerarse.
- También puede producir daños genéticos, se produce en los genes de las células reproductoras y puede causar defectos en la descendencia del organismo.

### Accidente de Chernóbil

Fue un accidente nuclear que sucedió el 26 de abril de 1986, en una central nuclear en el norte de Ucrania a 18 km de la ciudad de Chernóbil. Es considerado el peor accidente nuclear de la historia junto con el de Fukushima en Japón, y también suele ser incluido entre los grandes desastres medioambientales de la historia. Los restos del reactor están dentro de una enorme estructura de contención de acero desarrollada a finales de 2016. Y los esfuerzos de contención y supervisión

continúan, y se prevé que las labores de limpieza continúen hasta 2065, como mínimo.

CAUSAS: El accidente fue causado por una combinación de un mal diseño de la central nuclear, que además no disponía de un recinto de contención (espacio hermético cerrado por estructuras de acero u hormigón revestido interiormente de acero, que aloja al reactor nuclear y sirve para retener los productos



Imagen 19. Accidente de Chernóbil

radiactivos en caso de accidente), junto con los errores producidos por los operadores de la misma, ya que el entrenamiento era escaso, y no existía un organismo regulador independiente, la Unión Soviética no tenía un sistema independiente de inspección y evaluación de la seguridad de las instalaciones nucleares. El 25 de abril de 1986, se programó el mantenimiento rutinario del cuarto reactor de la central nuclear y los trabajadores planearon utilizar el tiempo inactivo para probar si el reactor podría enfriarse si la central se quedaba sin suministro eléctrico. Sin embargo, durante la prueba, los trabajadores incumplieron los protocolos de seguridad y aumentó súbitamente la potencia dentro de la central. A pesar de los intentos de apagar el reactor, otro aumento de potencia provocó una reacción en cadena de explosiones en su interior. Finalmente, el núcleo de reactor quedó expuesto y expulsó material radiactivo a la atmósfera. Además el tipo de reactor nuclear utilizado, nunca hubiera sido autorizado en los países occidentales. De hecho, nunca se ha construido un reactor de este diseño fuera de la antigua Unión Soviética.

EFFECTOS: Según el informe de la Organización Mundial de la Salud realizado a mediados de 2005, afirma que en un principio, fallecieron 28 personas por el accidente y más de 100 resultaron heridas. El Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas ha informado que más de 6.000 niños y adolescentes desarrollaron cáncer de tiroides tras haberse expuesto a la radiación del incidente.

Todos estos daños no se evitaron debido a que no se evacuó a nadie en las zonas circundantes, ni siquiera la cercana ciudad de Prípiat, construida en los 70' para albergar a los trabajadores de la central, hasta 36 horas después del comienzo del desastre.

Además de los efectos en los seres vivos, hubo consecuencias en el ecosistema. Durante los primeros diez días hubo grandes emisiones de radionucleidos (átomos que tienen un exceso de energía nuclear, lo que los hace inestables) que

contaminaron más de 200.000 kilómetros cuadrados de Europa. Como consecuencia de lo altos niveles de radiación, los científicos estiman que la zona que rodea la antigua central no será habitable hasta dentro de 20.000 años.

## 4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FUSIÓN NUCLEAR

### Ventajas

- La fusión nuclear es una energía limpia ya que no produce gases nocivos (solo produce helio, que es un gas inocuo) y genera residuos nucleares de muy baja actividad.
- Un reactor de fusión nuclear es seguro ya que la propia reacción no es una reacción en cadena y se detiene al cortar el suministro de combustible. No depende de ningún sistema externo de seguridad susceptible de errores.
- Es una fuente inagotable de energía ya que el Deuterio existe en abundancia en la naturaleza y el Tritio es generado dentro del propio reactor a partir del Deuterio.
- La parte del deuterio combustible no representa un problema, ya que en la Tierra es abundante en agua del mar ( $30 \text{ g/m}^3$ ) y además no es radiactivo.
- La reacción de fusión genera aproximadamente 4 veces más energía que la fisión.

### Desventajas

- El tritio combustible no se encuentra de forma natural en la Tierra, por lo que se obtiene artificialmente en un laboratorio a partir del litio. Además es radiactivo.
- Para conseguir la fusión de dos núcleos es necesario emplear temperaturas altísimas, superiores a 100 millones de grados centígrados.
- La pared del reactor de fusión, expuesta a las radiaciones provenientes del plasma, sí se vuelve radiactiva después de un tiempo, aunque la mayor parte de esta radiactividad desaparecerá en un plazo medio de unos cincuenta años, de tal modo que los reactores de fusión no suponen una carga para las generaciones futuras.
- El coste total del proyecto ITER es muy elevado: su presupuesto inicial establecido en 2001 era de 5.000 millones de euros, pero el coste total del proyecto actualmente es de 18.000 millones. Por añadidura, Bernard Bigot, director de ITER, estima que los costes superarán los 22 millones.



## PARTE EXPERIMENTAL

### ESTUDIO

Para analizar la viabilidad de la fusión nuclear como futura fuente de energía se ha realizado el siguiente estudio cuyos datos han sido proporcionados por la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía de la Universidad de Cantabria.

Con estos datos, se han obtenido 9 parámetros por los que quedan definidas las centrales de fusión:

1. Potencia eléctrica necesaria: 1 GW.
2. Combustible usado: plasma de Deuterio y Tritio.
3. Coste del Deuterio: 700 €/kg.
4. Coste del Tritio: 26720 €/g.
5. Vertidos a la atmósfera: vapor de agua de los sistemas de refrigeración abiertos de los intercambiadores de calor.
6. Vertidos a la biosfera: no se vierte ningún agente perjudicial a la biosfera.
7. Residuos: los residuos considerados serán de baja actividad, así como material de oficina y residuos orgánicos debidos al comedor y a los aseos.
8. La central se situará a una distancia de 1 km de la población más cercana, estando en las cercanías de un río en la loma de un monte.
9. Se detendrá la producción durante 1 semana cada 6 meses para revisión de componentes.

Teniendo en cuenta estos factores, se han llevado a cabo los siguientes cálculos:

- Combustible necesario siguiendo los datos del ITER

Cantidad mínima necesaria para un año a pleno funcionamiento las 24h del día.

Deuterio	Tritio	Combustible Total	
253,957	380,292	634,249	kg

- Impacto ambiental

Estos apartados siguen un criterio de ponderación del 0 al 4.

IMPACTO	VALORACIÓN
Impacto Visual	3
Vertidos Gaseosos	0
Vertidos Líquidos	0

Residuos	1
----------	---

- Coste económico

A parte de los 18.000 millones de euros ya gastados en el proyecto ITER, se deben sumar los 10.161.585.330 euros anuales en combustible.

	Deuterio	Tritio	Combustible Total	
CANTIDAD	253,957	380,292	634,249	kg
PRECIO	700	26720000	-	€/kg
TOTAL	177770	10161407560	10.161.585.330	€

- Abundancia del combustible

El deuterio tiene una abundancia en la Tierra del 0,0156% respecto al total de átomos de hidrógeno, es decir, por cada 6500 átomos de hidrógeno, se tiene uno de deuterio. En cambio, el tritio ha de ser obtenido artificialmente debido a que se desintegra, con un periodo de semidesintegración de 12,3 años.

Por lo tanto, el deuterio se considera abundante y el tritio poco abundante.

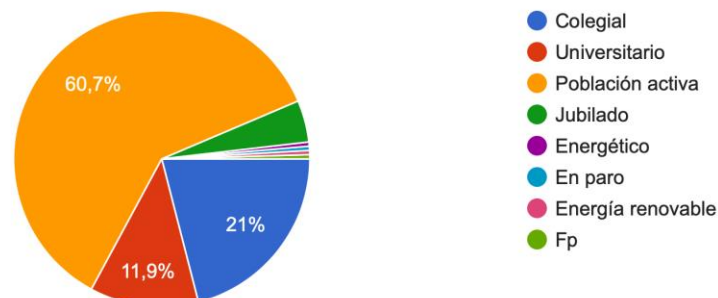
- Opinión social

- **Población general**

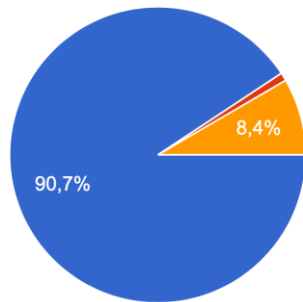
Para conocer la opinión que tiene la sociedad sobre la tecnología nuclear se han encuestado a 200 personas sobre 10 preguntas relacionadas con el tema.

¿A qué sector pertenece?

219 respuestas

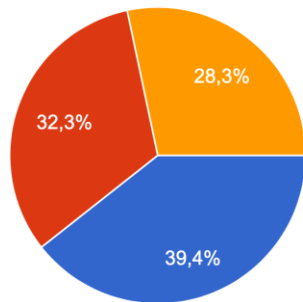


¿Ha oído hablar alguna vez de la energía nuclear?  
226 respuestas



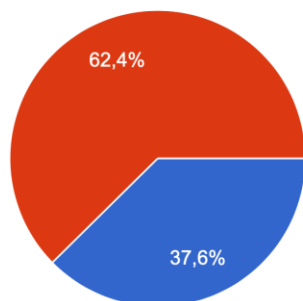
- Si
- No
- Tal vez, pero no estoy seguro

¿Conoce el concepto de fusión nuclear?  
226 respuestas



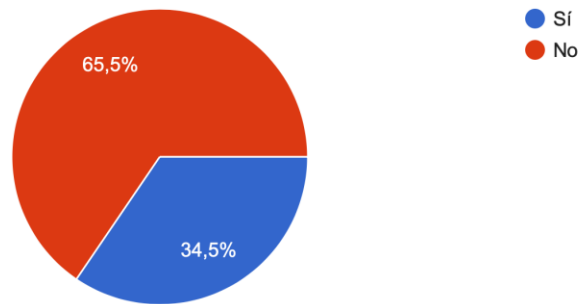
- Si
- No
- Mas o menos

¿Conoce los usos de la fisión nuclear?  
226 respuestas

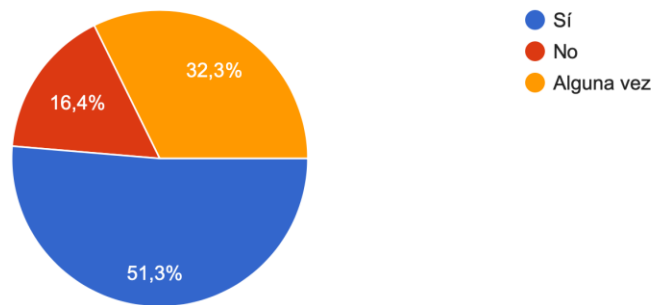


- Si
- No

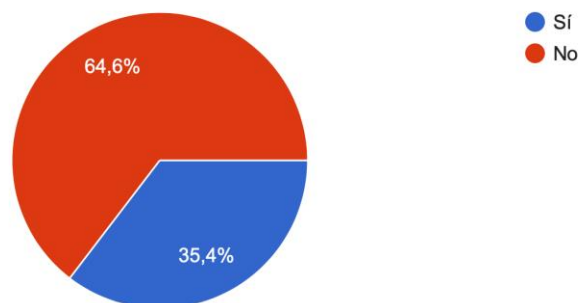
¿Conoce el proceso de obtención de energía a partir de la fisión nuclear?  
226 respuestas



¿Ha leído u oído hablar sobre la fusión nuclear?  
226 respuestas

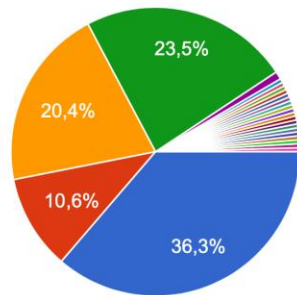


¿Conoce en que consiste la fisión nuclear?  
226 respuestas



¿Que le inspira el concepto de fusión nuclear?

226 respuestas

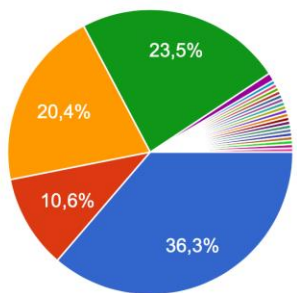


- Peligro y accidentes como el de Cher...
- Armas nucleares
- Energía limpia y renovable
- Contaminación y calentamiento global
- Energía muy potente
- Energía pura
- Generación eléctrica
- Mucha energía rápidamente pero con...

▲ 1/3 ▼

¿Que le inspira el concepto de fusión nuclear?

226 respuestas

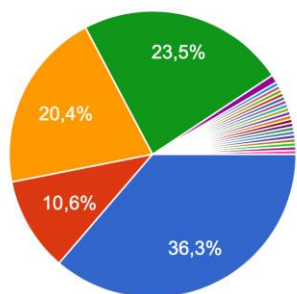


- No
- Unión de dos o más núcleos
- Un tipus d'obtenció de partícules a par...
- Energía eléctrica
- Energía barata, no limpia
- Estudio en desarrollo
- Búsqueda De Fuentes de energía
- Al Sol

▲ 2/3 ▼

¿Que le inspira el concepto de fusión nuclear?

226 respuestas



- Energía pero con riesgo de error hum...
- Energía tradicional no renovable
- Font energia
- No se
- Rector de fusión nuclear (Iter)
- Energía renovable pero muy peligrosa.
- Puede ser una de estas respuestas p...
- Armas nucleares y obtención de ener...

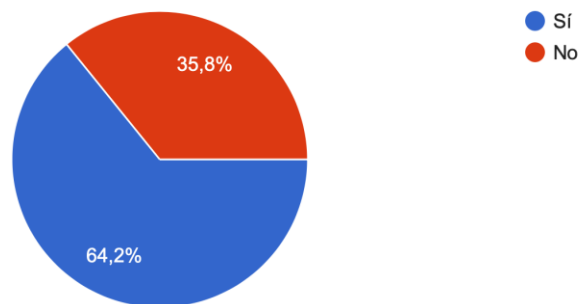
▲ 3/3 ▼

En esta última pregunta “¿Que le inspira el concepto de fusión?” le proporcionamos al público 4 opciones para responder:

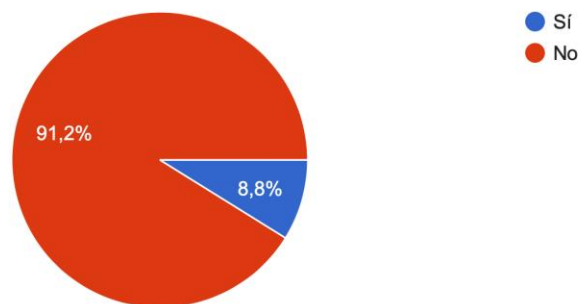
- Peligro y accidentes como el de Chernóbil en 1986
- Armas nucleares
- Energía limpia y renovable
- Contaminación y calentamiento global

Las otras respuestas mostradas han sido escritas por los encuestados, ya que también tuvieron la opción de contestar otra cosa diferente, en el caso de no sentirse identificados con ninguna de las opciones anteriores.

¿Cree que la fusión nuclear es muy distinta a la fisión nuclear  
226 respuestas

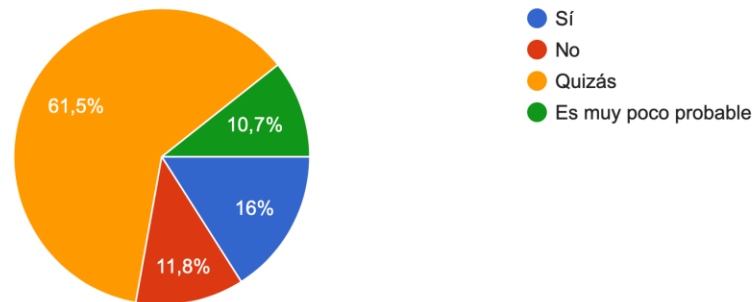


¿Sabe en que consiste el proyecto ITER?  
226 respuestas



Si conoce estos dos conceptos: ¿ Cree que la fusión podría sustituir a la fisión en un futuro próximo?

169 respuestas



#### - Comunidad científica

A través de 4 entrevistas efectuadas a expertos en el ámbito, se han obtenido argumentos a favor de la fusión nuclear, que reflejan una visión mucho más positiva del uso de esta nueva fuente energética.

#### Entrevista a Richard L. Cobben

Actualmente miembro del equipo directivo superior de F4E (fusion for energy) y jefe del departamento de entrega de ITER en F4E.

#### **What career have you studied? What do you do for a living?**

At university I studied mechanical engineering and later on I did a master on I did a master on information technology.

Now I work for Fusion for Energy, which is an agency of the European Commission, we make sure that all the supplies needed to work on the ITER project are purchased and delivered on time to the power station.

#### **What does the ITER project consist of?**

ITER it's still a big research type of project, and it is trying to prove is that fusion really works and that you can get ten times more energy out of it than the one we put into it in order to heat up the plasma.

**What are the main challenges of the ITER project?**

ITER is the first project of its kind so I would say that the main challenge for Europe but also for the other participating countries is to work with all this new technology, overcome the unexpected difficulties that come with it and still get the job done on time. Just to give you an example: heating up the plasma up to 50.000.000 degrees or cooling down the superconductive magnets till -250 degrees in order to create a magnetic field. There is already a huge challenge only in the aspect of temperatures.

**What is the current status of the project?**

I would say that this research project is halfway. We will be installing the first powerplant at the end of 2025, so right now the buildings and premises are in a very advanced stage, but we still have to put deliver the equipment, assemble it in order to make the machinery and start testing it.

**When will nuclear fusion be, or do you believe it will be, commercially viable?**

There is a lot of research being made in this aspect too, we have already thought of a new generation of fusion plants and there is a project related to this, named DEMO, this are the first commercial type of power plants, they will have to be much smaller and much faster when it comes to construction. But this I still too expensive.

At the same time, we are trying to make a step towards more affordable power stations that will benefit and serve society. All countries involved in the project are contributing, and after this phase everyone will take acknowledge and start to assure that the next generation of power plants is coming to place.

**Why do you think so many people associate nuclear fusion with danger or even with the Chernobyl accident? Do you think more emphasis should be placed on environmental and energy education?**

Yes, I do think so, because everything that sounds like nuclear power or energy is still all related to nuclear fission rather than nuclear fusion. So, there is a lot of explanation to be done, communication is very important and try to emphasize that, but we still have to prove a few of things. Right now, people are looking at it in order to wait and see, wondering if it is as safe as they say. But once they learn about it, they start to realize it is actually quite safe.

**How do you think this new source of energy will benefit the environment, and can it be beneficial in any other area?**

I think it will be beneficial for other energy supplies because the base load of wind, water, or solar energy itself are not sufficient to cover all the amount of energy demanded around the world. So fusion is a way of providing more energy to cover, let's say 60 % or 70% of the demand. This is why India or China, which have emergent economies, are very interested in



this because they don't want to be dependent on coal or other fossil fuels anymore. And secondly, if this new source it can be used in the future, for cars for example, its battery could be loaded with this new source of energy and that's how cars could be driven. But we still need to improve a lot of the technology implicated in power plants. For the moment all we expect is to be able to reduce the amount of space that this power plants occupy.

**Will nuclear fusion be enough to curb the environmental impact of the consumer society?**

No, I do not think so, I believe that nuclear fusion is a great contributor to a better sustainable society, but it is not enough to reduce all damage produced. We still have a lot of work to be done. For example. We are still producing a lot of plastics; we are still producing a lot of damaging substances that still impede pollution of reducing.

**What are the advantages of nuclear fusion over other renewable energy sources such as wind or solar?**

The main thing is that with fusion, you can produce much larger quantities of energy. For example, you need a great number of windmills or solar cells to produce the same energy that is produced with fusion techniques. And the problem with these is that if you have no wind or no sunshine, they can't produce any energy at all, this issue will require to have energy storages in premises where this kind of energy is needed. With fusion we try to com up with a continuous process that works day and night.

I am not saying one is better that the other, I believe and hope that with solar, water, wind, and fusion energy we will be able to cover the whole world's demand.

**Do you think that economic interests and political interests (eg. Oil business) are what prevent progress in clean energy?**

I do think that did happen in the past, but times are changing now, for example, the US can foresee on its own, so when it comes to petrol and this kind of things, political aspects are reducing. And the power of the oil bank is now reducing.

And at the same time, you guys are the next generation and you are stepping up in the demand of thing to be greener which is very good.

So politically the influence has become less important, the next generation is really focused on building a sustainable society, so slowly this things will start to get together and we will get there.

**Spain is one of the European countries that invests the least in R&D (research and development). What is your opinion on this subject?**

I don't know exactly how much they contribute, but Spain has been very ambitious, it is well qualified, because it has to do a lot of laboratory work and etc. And if Spain wants to get this commercial power plants (if we start to develop them). Spain is one of the good candidates to get them. We are currently working in Barcelona because fusion for energy is already established there and I think that is important because that

they get more laboratories and projects to work on. But in order to get this new power plants, they need to have a combination of factors in the political field and in the economic field.

### Entrevista a Macarena Liniers Vázquez

Investigadora Científica de OPI en el Laboratorio Nacional de Fusión, en la División de Operación. Investigadora Principal de varias Tareas ITER relacionadas con el diseño de los NBI para ITER.

#### **¿Qué carrera ha estudiado? ¿A qué se dedica?**

Me doctoré en Física hace muchos años, en 1987. Entonces me puse a buscar trabajo y consideré varias opciones. Pero cuando visité el Laboratorio de Fusión en CIEMAT, comprendí que había encontrado el trabajo de mi vida. Mi trabajo de doctorado había sido sobre materiales magnéticos, un tema apasionante. Pero la Fusión Termonuclear me cautivó desde el principio.

Trabajo desde 1988 en el Laboratorio Nacional de Fusión, en CIEMAT. En el Laboratorio hay varios grandes proyectos en marcha, mi trabajo está ligado a la instalación TJ-II, una máquina de plasma donde desarrollamos experimentos en la línea Stellarator. Los Stellarators confinan el plasma mediante campos magnéticos de geometría sofisticada. Tienen un gran potencial para convertirse en futuros reactores.

#### **¿En qué consiste el proyecto ITER?**

ITER es un proyecto internacional para construir el primer reactor de Fusión por confinamiento magnético. Se está construyendo al sur de Francia, con la aportación de siete socios: Europa (es el principal socio, el que más aporta), Japón, EEUU, Rusia, China, Corea e India. Es un proyecto muy ambicioso porque supone un salto enorme de dimensiones entre el experimento más grande actualmente en marcha y las dimensiones de ITER. Aun así, ITER no proporcionará electricidad a la red. Será un reactor experimental. Se podrán obtener hasta 500 Megavatios de potencia de las reacciones de fusión, pero no se convertirán en energía eléctrica.

#### **¿Cuáles son los mayores retos del proyecto ITER?**

ITER es un proyecto con una complejidad enorme, es una hazaña de la ingeniería. Y tiene que alcanzar límites nunca antes alcanzados en muchas magnitudes: el campo magnético más alto en el volumen más grande, las fuerzas magnéticas más elevadas, las temperaturas interiores más altas (¡100 millones de grados!) y las temperaturas exteriores más bajas (¡-260 grados!), el manejo del Tritio (isótopo radiactivo del hidrógeno) en un circuito cerrado, los sistemas de calentamiento del plasma más sofisticados del mundo...se puede decir que es el proyecto más difícil y ambicioso del mundo, más que los viajes espaciales, o los grandes aceleradores donde se estudia la composición de la materia.

#### **¿En qué estado se halla ahora el proyecto?**

Está en un estadio de construcción muy avanzado. Todas las semanas llegan al campus de ITER nuevos componentes para ser ensamblados allí. Los trabajos de instalación se terminarán en 2025, entonces todo estará listo para el primer plasma.

### **¿Cuándo será o estima que será viable la fusión comercialmente?**

Queda todavía bastante tiempo. Después de ITER habrá que construir un prototipo de reactor que ya sea capaz de producir energía eléctrica. Y para este reactor completo de prueba, llamado DEMO, hay que desarrollar elementos tan importantes como unos materiales especiales, que sean capaces de resistir las enormes cargas térmicas y radiactivas. Esos materiales todavía no existen, son de hecho una línea de investigación muy activa en la actualidad. Así que si seguimos la línea de desarrollo que está marcada actualmente, faltarían todavía 50 años hasta la existencia de reactores comerciales de fusión. Claro está que pueden aparecer nuevos descubrimientos que acorten este camino. Se están investigando en la actualidad modalidades de confinamiento magnético apartadas de las líneas convencionales de los tokamak y stellarator. Es curioso porque la mayoría de estas investigaciones se están llevando a cabo en compañías privadas en EEUU, Canadá y Reino Unido, y algunas de ellas han declarado que serán capaces de construir un reactor de fusión rentable económicamente ¡en 15 años! Difícil de creer, pero...¿quién sabe?

### **¿Por qué cree que mucha gente asocia la fusión nuclear con peligro o incluso con el accidente de Chernóbil? ¿Opina que sería necesario resaltar más la educación ambiental y de las energías?**

La gente asocia la fusión con la fisión, que es la reacción nuclear contraria, es la partición de un núcleo pesado en dos núcleos más ligeros, mientras la fusión es la unión de dos núcleos ligeros en otro núcleo más pesado. Los reactores de fisión tienen actualmente mala prensa, después de los accidentes de Chernóbil y Fukushima. Es verdad que no se ha explicado suficientemente al público la diferencia entre ambos tipos de reactores. Es necesario explicar que en un reactor de fusión no hay reacciones en cadena, y por lo tanto ese tipo de accidentes son imposibles. Un reactor de fusión es intrínsecamente seguro.

### **¿Cómo piensa que esta nueva fuente de energía beneficiará al medio ambiente? ¿Puede ser beneficiosa en algún otro ámbito?**

Es verdad que la aplicación comercial de la fusión va a tardar en llegar, y que cada vez es más acuciante el problema del campo climático. Pero la necesidad de la energía de fusión está quedando muy clara: es una energía basada en combustibles abundantes (Deuterio y Litio), y no contaminantes. Una central de fusión producirá una potencia elevada (1-2 Gigavatios), sin prácticamente emisiones de gases de efecto invernadero. Se tendría energía abundante, sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Se frenaría e incluso se podría revertir el cambio climático.

Y una cuestión muy importante: la materia prima de las reacciones de fusión es abundante en el planeta y muy distribuida, por lo que se evitan los problemas estratégicos y políticos

del suministro asociado a los combustibles fósiles, que han dado lugar a tantas crisis económicas y tantas guerras.

### **¿La fusión nuclear bastará para frenar el impacto medioambiental que tiene la sociedad de consumo?**

La fusión puede tener una influencia determinante en el impacto medioambiental debido a la generación de energía. En cuanto al consumo, sólo el impacto del gasto energético asociado a la producción de esos bienes se verá reducido. Pero si no se cambian los modos de producción y sobre todo la obtención de los materiales, el medio ambiente seguirá sometido a una presión asfixiante. En paralelo al desarrollo de la fusión deben desarrollarse métodos de reciclado de materiales que permitan establecer la llamada “economía circular”, una bonita aspiración de la Unión Europea.

### **¿Qué ventajas tiene la fusión nuclear frente a otras fuentes de energías renovables como la eólica o solar?**

Las energías renovables tienen todavía algunos problemas sin resolver, como el del almacenamiento de energía. Estas energías no se producen de forma constante, dependen del viento o de la insolación, y su producción no está adaptada al consumo. Sus picos de producción no tienen por qué coincidir con los picos de demanda. Por tanto deben desarrollarse métodos de almacenamiento de energía que permitan utilizar la energía de modo desacoplado a su producción. Las centrales de fusión se parecerán más a las centrales convencionales, en el sentido de que la producción de energía eléctrica estará controlada y se podrá adaptar a la demanda.

### **¿Cree que los intereses económicos y los intereses políticos (por ejemplo el negocio del petróleo) son los que impiden que se avance en las energías limpias?**

Sí creo que hay una influencia clara en las políticas energéticas. El control del precio de los combustibles está en manos de unos pocos países e inversores, que modulan los precios de acuerdo a su conveniencia. El desarrollo de las energías alternativas necesita una inversión que deja de ser interesante cuando el precio del petróleo baja. Hace falta visión de futuro a largo plazo, y me temo que esa visión está actualmente ausente en el escenario político. Aunque no totalmente. Hay que decir que la Unión Europea lleva años propiciando la investigación en energías alternativas. Y a finales del año pasado la Comisión Europea puso en marcha una iniciativa, el llamado “Green Deal”, que establece el compromiso de Europa para trabajar en los retos del cambio climático y la degradación del medio ambiente. Se pondrá en marcha una estrategia política y económica que ponga el acento en el crecimiento sostenible y en el desarrollo de una sociedad próspera y justa, con el objetivo de conseguir una emisión neta de gases de efecto invernadero nula en 2050.

### **España es uno de los países europeos que menos invierte en I+D. ¿Cuál es su opinión sobre este tema?**

Es una pena que la tendencia ascendente de la inversión en I+D en España se viera truncada en la última gran crisis económica. En los momentos actuales volvemos a vernos inmersos en una gran crisis. Cuando la presión medioambiental y social por un medioambiente más sano sea realmente fuerte, se tendrá que invertir más en investigación. Habría que implicar también a las empresas privadas. Está claro que en los momentos actuales hay que hacer más con menos. Es un esfuerzo que implica a políticos, científicos y empresarios.

#### Entrevista a Francisco Castejón Magaña

Actualmente es consejero del Consejo de Seguridad Nacional, pero ha ejercido de investigador de CIEMAT.

#### **¿Qué carrera ha estudiado? ¿A qué se dedica?**

Estudí Ciencias Físicas en la Universidad de Zaragoza y conseguí una beca para investigar y hacer la tesis doctoral en el CIEMAT.

Allí empecé mi trabajo en fusión por confinamiento Magnético. En concreto, empecé a estudiar el calentamiento de plasmas, que han de alcanzar temperaturas de cientos de millones de grados para que se produzca la fusión. La materia que fusiona a alta temperatura se dice que está en estado de plasma, el cuarto estado de la materia, más allá del sólido, líquido y gaseoso: una especie de fluido constituido por electrones e iones. Después investigué sobre diferentes aspectos de la fusión, incluidos algunos cálculos para el proyecto ITER.

En abril de 2019 fui nombrado Consejero del consejo de Seguridad Nuclear, puesto que ocupo en la actualidad. Cuando acabe mi mandato espero volver a mis investigaciones sobre fusión.

#### **¿En qué consiste el proyecto ITER?**

Se trata de construir el primer reactor experimental de fusión, donde se demostrará la viabilidad científica y tecnológica. Por primera vez se producirá más energía en las fusiones que la invertida en calentar y confinar el plasma.

ITER es un dispositivo llamado tokamak, que ya fabricará el tritio, un elemento clave para su propio combustible que no existe de forma natural en la tierra, hay que fabricarlo.

#### **¿Cuáles son los mayores retos del proyecto ITER?**

El proyecto ITER tiene el reto de probar los materiales que se usarán en los futuros reactores de fusión, que es un campo muy nuevo. Además, se investigará la técnica para fabricar y controlar el tritio. Y también se pondrán en práctica nuevas tecnologías como la manipulación remota o nuevos materiales superconductores para fabricar las bobinas del campo magnético.

Por otra parte, en el ITER se estudiará la estabilidad del plasma en las condiciones extremas en que se encontrará en este reactor y se experimentarán métodos para estabilizarlo.

#### **¿En qué estado se halla ahora el proyecto?**

En estos momentos se está en plena construcción del tokamak y de los edificios auxiliares. en la página web del proyecto ([www.iter.org](http://www.iter.org)) hay muchas fotos e información del grado de avance del proyecto.

### **¿Cuándo será o estima que será viable la fusión comercialmente?**

Es una pregunta muy difícil de contestar puesto que depende de los recursos que se pongan en la investigación y desarrollo de esta fuente de energía.

Si se hicieran los esfuerzos necesarios podríamos tener un reactor de demostración para mediados de este siglo.

### **¿Por qué cree que mucha gente asocia la fusión nuclear con peligro o incluso con el accidente de Chernóbil? ¿Opina que sería necesario resaltar más la educación ambiental y de las energías?**

La fusión nuclear no tiene nada que ver con el accidente de Chernóbil, que ocurrió en una central basada en la tecnología de fisión. La fusión es intrínsecamente segura y no puede dar lugar a ese tipo de accidentes.

Es necesario avanzar más en el conocimiento público de las ventajas y desventajas que tienen las diferentes fuentes de energía.

Y falta desde luego educación ambiental y sobre las diferentes fuentes de energía. Es llamativo que haya tan poca cultura sobre temas tan importantes para la humanidad.

### **¿Cómo piensa que esta nueva fuente de energía beneficiará al medio ambiente? ¿Puede ser beneficiosa en algún otro ámbito?**

Creo que la fusión puede ayudar a resolver el problema global de la energía que tiene la humanidad: impactos ambientales, reparto injusto de los recursos y escasez de fuentes de energía.

### **¿La fusión nuclear bastará para frenar el impacto medioambiental que tiene la sociedad de consumo?**

Claramente no. Es imprescindible reducir nuestro consumo para llegar a una forma de vida sostenible.

Yo concibo el consumo de energía basado en fuentes abundantes y de bajo impacto ambiental, como la fusión y las renovables.

### **¿Qué ventajas tiene la fusión nuclear frente a otras fuentes de energías renovables como la eólica o solar?**

Son complementarias. la fusión es más intensiva y no es intermitente. La eólica y la solar son más limpias y abundantes, pero son intermitentes.

Lo ideal es ir a una cesta energética con fuentes de energía variadas y de bajo impacto.

**¿Cree que los intereses económicos y los intereses políticos (por ejemplo el negocio del petróleo) son los que impiden que se avance en las energías limpias?**

La economía juega un papel fundamental en todo esto. Las renovables están avanzando porque son más baratas que las energías tradicionales. Sería necesario que el precio final de la energía tenga en cuenta los impactos ambientales y sociales que su consumo conlleva. De esta forma, las decisiones económicas estarían mejor informadas.

Creo que sería inteligente que los ciudadanos pudiéramos opinar sobre el modelo energético que queremos.

**España es uno de los países europeos que menos invierte en I+D. ¿Cuál es su opinión sobre este tema?**

Es obvio que la inversión en investigación es positiva desde todos los puntos de vista. Un dinero X gastado en el presente se multiplica en el futuro en forma de servicios y bienestar social. Por ejemplo, cada euro invertido en investigación fusión en España desde 1986 ha producido 11 euros a la sociedad de nuestro país.

La pandemia del COVID-19 nos muestra a las claras lo importante que es tener un sistema científico bien preparado y bien formado. Nos sirve para orientarnos en las medidas que tomamos, para diseñar medicamentos y para diseñar las vacunas.

No hay más que comparar como se ha controlado la enfermedad en unos países y otros. el estado de la investigación y de la sanidad han sido claves.





## Entrevista a Carlos Hidalgo Vera

Profesor de Investigación en el Laboratorio Nacional de Fusión Nuclear [CIEMAT].

### **¿Qué carrera ha estudiado?¿A qué se dedica?**

Siempre me fascinó en mundo de la ciencia y, en consecuencia, finalmente decidí estudiar Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid donde realicé mi tesis doctoral. Actualmente soy Profesor de Investigación en el Laboratorio Nacional de Fusión Nuclear [CIEMAT].

### **¿En qué consiste el proyecto ITER?**

Las reacciones de fusión son las que liberan la energía que alimenta el sol y las estrellas. Para que pueda ocurrir la fusión, los núcleos reaccionantes deben vencer la repulsión electrostática y acercarse lo suficiente como para permitir que entre en juego la fuerza nuclear atractiva. La comunidad científica internacional trabaja en distintas alternativas (confinamiento inercial y magnético), con diferente grado de desarrollo, hacia la realización práctica de la energía de Fusión.

En el caso de la estrategia basada en el confinamiento magnético (que es la que utiliza el proyecto ITER) se requiere calentar los núcleos reaccionantes a temperaturas unas 15 veces mayores que la del centro del Sol (estimada en unos 15 millones de grados) y aislarlos térmicamente del ambiente circundante mediante un intenso campo magnético (del orden de 5-7 T, es decir, unas 100.000 veces el campo magnético terrestre).

### **¿Cuales son los mayores retos del proyecto ITER?**

La realización de energía viable de Fusión nuclear requiere soluciones para una serie de problemas científicos y tecnológicos de enorme envergadura.

Los principales desafíos pendientes en la fusión nuclear incluyen:

- Demostrar la viabilidad tecnológica (incluyendo la autosuficiencia en la generación de tritio) de la Fusión Nuclear. Ello supone confinar eficientemente un plasma en ignición; es decir, suficientemente reactivo como para producir sustancialmente más energía que la consumida en el proceso de generación del plasma (que es el estado de la materia que se alcanza en las condiciones de alta temperatura necesarias para alcanzar la fusión nuclear).
- Desarrollar nuevos materiales que sean resistentes a los intensos flujos de neutrones de fusión nuclear (con energía de 14 MeV) y cuya activación resultante sea baja, de manera que no supongan riesgo radiológico tras un período de tiempo del orden de cien años.

### **¿En qué estado se halla ahora el proyecto?**

El proyecto ITER aglutina el esfuerzo coordinado entre Europa, EEUU, China, Japón, Corea del Sur, India y Rusia sin precedentes en la historia. Sus siete socios, representando más de la mitad de la población mundial, han unido sus recursos para la construcción de ITER. El inicio de los primeros experimentos está planificado para 2026.

### **¿Cuándo será o estima que será viable la fusión comercialmente?**

Lo que hace único al ser humano es su capacidad de imaginar y moldear el futuro mediante la alianza científico-tecnológica. Uno de los grandes sueños del ser humano, quizá uno de los más colosales, es construir una estrella en la tierra o en otras palabras, controlar la energía que mueve el universo.

En la hoja de ruta europea para el desarrollo de la fusión nuclear se espera producir energía de fusión en la segunda mitad del presente siglo.

### **¿Por qué cree que mucha gente asocia la fusión nuclear con peligro o incluso con el accidente de Chernóbil? ¿Opina que sería necesario resaltar más la educación ambiental y de las energías?**

La eficiencia energética de las energías nucleares (fusión y fisión) es elevadísima, lo cual las hace particularmente atractivas.

Durante las reacciones de fisión nuclear, elementos pesados dan lugar a elementos más ligeros. En el proceso de fusión nuclear, ocurre lo contrario: elementos ligeros se unen y dan lugar a elementos pesados. La suma de las masas de reactivos después de una reacción fisión y fusión nucleares es menor que la suma antes de la reacción en una cantidad que llamamos defecto de masa. De acuerdo con la teoría de la relatividad, la fusión nuclear libera una cantidad de energía ( $E=mc^2$ ) donde  $c$  es la velocidad de la luz. El elevadísimo valor de  $c^2$  ( $c^2 = 90.000.000.000.000.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ) explica la ingente eficiencia de la energía nuclear con respecto a las energías de origen químico. Mientras que en el caso de las energías químicas y de fisión nucleares las temperaturas de reacción son fácilmente accesibles (en el rango de los 1.000 K), en el caso de la fusión nuclear se requieren temperaturas en el rango de los centenares de millones de grados.

Los desafíos en el desarrollo de la energía nuclear de FUSIÓN incluyen cuestiones relacionadas con:

- ✓ El proceso tecnológico, ¿es técnicamente factible procesar los desechos nucleares con criterios de eliminación y almacenamiento aceptables?.
- ✓ La aceptación pública, ¿Pueden gestionarse las emisiones ambientales y la eliminación de residuos de manera tal que satisfagan las expectativas de la sociedad?.

Por el contrario, la energía de FUSIÓN nuclear es intrínsecamente segura y medioambientalmente sostenible.

La sociedad tiende a confundir las profundas diferencias entre la energía de fisión y fusión nuclear.

### **¿Cómo piensa que esta nueva fuente de energía beneficiará al medio ambiente? ¿Puede ser beneficiosa en algún otro ámbito?**

La energía es la sangre que mueve la sociedad actual que requiere de nuevas estrategias para su desarrollo sostenible. No podemos permitirnos retrasar la puesta en marcha de acciones para hacer frente al cambio climático si el objetivo a largo plazo es limitar, con un coste asumible, el aumento de la temperatura global del planeta a 2 ° C.

Nos enfrentamos a una fase de transición energética con nuevos motores globales como el cambio climático y la globalización. De hecho, necesitamos una sociedad con un conocimiento crítico que comprenda la ingente cantidad de energía (basada en combustibles fósiles) que debemos sustituir en comparación con las transiciones anteriores. La búsqueda de energía es un esfuerzo global y las nuevas estrategias energéticas requieren tecnologías para la producción, conversión, distribución y ahorro de energía, favoreciendo la innovación sin poner en peligro la seguridad del suministro energético.

Pero debemos ser realistas, la necesidad de nuevas estrategias para la generación, conversión y almacenamiento de energía implica un desafío colosal. Un desafío global en el que la dinámica de los mercados de la energía se debe cada vez más al crecimiento de la población y la demanda de energía. Un desafío global que requiere un visión de futuro.

### **¿La fusión nuclear bastará para frenar el impacto medioambiental que tiene la sociedad de consumo?**

Al igual que el aire, la energía es esencial para la existencia y desarrollo de la especie humana. Una persona necesita para cubrir sus necesidades biológicas del orden de 2000 kcalorias diarias en forma de alimentos, que traducida a unidades de potencia viene a suponer unos 100 W; es decir, somos a nivel de consumo biológico equivalente a una bombilla de 100 W permanentemente encendida. A modo de referencia, un ciudadano europeo consume aproximadamente 4 kW lo que equivale a que nuestro nivel de vida europeo está sustentado por 40 "esclavos" en unidades energéticas. Sin embargo, el acceso a las fuentes de energía está muy lejos de ser uniforme a escala planetaria; mientras en EEUU se alcanzan los 10 kW per cápita (más de 100 esclavos energéticos) en países como Bangladesh el consumo se reduce a los 0.3 kW.

La energía es uno de los factores esenciales que han contribuido al progreso y a la mejora de la calidad de vida de la humanidad. Con un horizonte en el que las necesidades energéticas se duplicarán de aquí a 2050 y con el agotamiento progresivo de los combustibles fósiles, es urgente el desarrollo de fuentes de energía masivas, medio-ambientalmente sostenibles y socialmente aceptables. Este incremento en la demanda energética es consecuencia del efecto combinado del aumento de la población y del consumo energético per cápita en países en desarrollo. Estamos, pues, en una encrucijada de la energía en la que debemos impulsar un modelo energético que nos libere de sus impactos ambientales.

En la actualidad el debate sobre la conexión entre fuentes de energía y cambio climático tiene profundas consecuencias políticas y éticas: si aceptamos que sin energía no hay desarrollo, ¿no debería el acceso a la energía formar parte de la Declaración Universal de los Derechos Humanos?; dado que no es posible extender el modelo de consumo energético de los países desarrollados a los países no desarrollados, ¿qué responsabilidad tienen los primeros en el modelo de desarrollo de los segundos.

## **¿Qué ventajas tiene la fusión nuclear frente a otras fuentes de energías renovables como la eólica o solar?**

Las grandes ventajas de la fusión nuclear son cuatro:

Los combustibles necesarios para su explotación en la tierra (isótopos de Hidrógeno y Litio) son prácticamente inagotables

1. Su eficiencia es inconmensurable (es la que mantiene viva al universo con una antigüedad de 13.000 millones de años).
2. Sus residuos (átomos de Helio) y materiales activados (en el rango de 100 años) son ambientalmente sostenibles.
3. Es una fuente de energía nuclear pero sin posibilidad de reacciones en cadena y en consecuencia intrínsecamente segura.

El problema de la fusión nuclear es que, por su complejidad científico tecnológica no está disponible, siendo su solución uno de los grandes retos a los que se enfrenta la humanidad.

## **¿Cree que los intereses económicos y los intereses políticos (por ejemplo el negocio del petróleo) son los que impiden que se avance en las energías limpias?**

La energía es uno de los factores esenciales que han contribuido al progreso y a la mejora de la calidad de vida de la humanidad. Con un horizonte en el que las necesidades energéticas se duplicarán de aquí a 2050 y con el agotamiento progresivo de los combustibles fósiles, es urgente el desarrollo de fuentes de energía masivas, medio-ambientalmente sostenibles y socialmente aceptables. Este incremento en la demanda energética es consecuencia del efecto combinado del aumento de la población y del consumo energético per cápita en países en desarrollo.

Estamos, pues, en una encrucijada de la energía en la que debemos impulsar un modelo energético que nos libere de sus impactos ambientales.

## **España es uno de los países europeos que menos invierte en I+D. ¿Cuál es su opinión sobre este tema?**

La sociedad y los políticos (que en los sistemas democráticos son elegidos por los ciudadanos) deben entender que invertir en ciencia nos es un gasto sino la mejor inversión de futuro.

España requiere mantener una política energética coherente y sostenida que fortalezca la relación mutuamente beneficiosa entre educación, investigación e innovación.

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES DE LAS ENCUESTAS A LA POBLACIÓN:

Gracias a las anteriores encuestas realizadas a la población, hemos podido analizar qué y cuánto sabe la gente sobre fusión y fisión, a qué conceptos las asocian y qué conocimientos poseen sobre energías renovables.

Las conclusiones obtenidas del estudio estadístico muestran que:

- La mayoría de los encuestados son conscientes de que existe alguna diferencia significativa pero desconocida entre la fusión y la fisión nuclear, ya que el 70% de la población asocia la fisión nuclear con accidentes catastróficos, riesgo, armas y contaminación. Esto lleva a pensar que las diferencias entre fusión y fisión no son obvias.
- El 91% no sabe en qué consiste el proyecto ITER, lo que nos hace pensar que es un proyecto poco popular a pesar de encontrarse involucrados más de 30 países, entre ellos China, Arabia Saudí, Estados Unidos, Rusia, Alemania, Francia, España...
- La mayoría de los participantes expresan incertidumbre acerca del potencial que posee la fusión para convertirse en el principal sustituto de la fisión nuclear en un futuro hipotético. Solo un 16% cree que las capacidades energéticas de la fusión podrían cumplir tal objetivo.

Ya que las encuestas revelan que la mayoría de la población desconoce las diferencias entre la fusión y la fisión nuclear, creemos que resultaría muy útil que las futuras generaciones pudieran reconocer las características propias de cada proceso, para así desvincular de la fusión nuclear aquellas connotaciones negativas a las que se encuentra ligada por su similitud fonológica con el término de fisión.

Para ello, hemos considerado la opción de crear un vídeo didáctico, orientado a los jóvenes y a los niños. De esta manera, poco a poco incrementaremos la educación ambiental y el interés de las futuras generaciones por las energías renovables y lo que estas pueden hacer para convertir el planeta en un lugar mucho más sostenible.

## **CONCLUSIONES DE LAS ENTREVISTAS REALIZADAS A EXPERTOS:**

Todos ellos coinciden en puntos importantes sobre el futuro de la fusión como nueva fuente de energía, sobre la relevancia del proyecto ITER y sobre la responsabilidad que tienen las generaciones venideras en sus manos para crear un mundo más sostenible.

Las conclusiones obtenidas de las entrevistas realizadas a los expertos son las siguientes:

- ITER es un proyecto mayoritariamente experimental, enfocado a la investigación. Precisamente por eso, solo se podrán obtener hasta 500 Megavatios de potencia de las reacciones de fusión, que no se convertirán en energía eléctrica.
- La complejidad técnica del proyecto, la resistencia de los materiales expuestos a condiciones extremas, juntamente con la manipulación y control del tritio, representan los mayores retos para ITER.
- Los primeros experimentos están programados para el 2025, por entonces los trabajos de instalación estarán terminados y todo estará listo para el primer plasma.
- Para que la fusión sea viable comercialmente, es necesario idear un prototipo de reactor capaz de producir energía eléctrica y soportar enormes cargas térmicas y radiactivas. De todas formas, ya hay un proyecto en marcha llamado DEMO destinado a la investigación acerca de estos aspectos.
- La mayoría de la población asocia la fusión con la fisión, pese a ser reacciones nucleares contrarias. Por eso rechazan la fusión, por temor a que accidentes como el de Chernóbil se repitan, sin tener en cuenta que en esta fuente de energía no hay reacciones en cadena y por lo tanto es intrínsecamente segura. Se debería hacer más énfasis en la educación ambiental y en el conocimiento de las diferentes fuentes de energía para solucionar el problema del rechazo a la fusión.
- La fusión utilizará combustibles abundantes y no contaminantes, y una central de fusión producirá una potencia elevada (1-2 Gigavatios). De esta manera, proporcionará suficiente energía como para cubrir entre un 60% y un 70% de la demanda actual y, a la vez, frenará el cambio climático.
- Al ser el tritio y el deuterio tan abundantes en la Tierra, se evitarán guerras y crisis económicas que muchas veces han sido ocasionadas por conflictos políticos a la hora de obtener combustibles fósiles.

- La fusión contribuye al objetivo de conseguir un desarrollo sostenible mediante la transición energética. Aunque para lograrlo es necesario tomar más medidas: frenar el consumismo descontrolado, cambiar la manera de producir y la extracción de materiales, y desarrollar nuevos métodos de reciclaje.
- Una gran ventaja de la fusión nuclear frente a otras fuentes de energías renovables es que no depende de ningún factor externo, por lo que puede producir energía de forma constante, es decir, no es intermitente.
- En el pasado no se apostaba apenas por energías renovables debido a los intereses políticos y económicos, ya que el control del precio de los combustibles estaba y sigue estando en manos de algunos países e inversores a los cuales no les interesa perder dinero. Pero actualmente, a causa del agotamiento progresivo de los combustibles fósiles, se están impulsando cada día más las energías limpias.
- A consecuencia de la última crisis económica en España, la inversión en I+D se ha reducido, pero aun así, este país es uno de los candidatos para poner en marcha las plantas de energía de fusión de uso comercial, cuando llegue el momento.

Tras realizar las entrevistas, fuimos realmente conscientes de lo que significa el proyecto ITER para muchas de las personas involucradas en él. Los entrevistados se mostraron muy agradecidos por nuestro interés y estuvieron encantados de poder aportar su opinión en este pequeño trabajo de investigación. Puntualizaron que es muy importante que las futuras generaciones se mantengan interesadas en este tipo de áreas, ya que ellos creen profundamente que ITER y DEMO son el futuro de una sociedad responsable que vela por el medio ambiente. Fue entonces, cuando nos dimos cuenta del impacto social, ambiental, político y económico que supondría el éxito de ambos proyectos.

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, concluimos afirmando que la fusión nuclear es un proyecto muy ambicioso y de grandes expectativas, sin embargo su realización no podrá llevarse a cabo hasta mediados del siglo, ya que quedan muchos retos tecnológicos y científicos por superar.

## BIBLIOGRAFÍA

### WEBS

- Energía Nuclear (2019) Fusión Nuclear  
<https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fusion-nuclear>
- Foro Nuclear. El proyecto de fusión nuclear ITER <https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/122980-el-proyecto-de-fusion-nuclear-iter>
- Laboratorio nacional de fusión, “Confinamiento magnético”  
<http://www.fusion.ciemat.es/energia-de-fusion/confinamiento-magnetico/>
- Lucera. Fusión nuclear, energía limpia  
<https://lucera.es/blog/fusion-nuclear-energia-limpia>
- Energía Nuclear  
(Átomo) <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/atomo>  
(Funcionamiento central) <https://energia-nuclear.net/funcionamiento-central-nuclear>
- Cómo se genera la energía del Sol  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/106/htm/sec\\_12.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/106/htm/sec_12.htm)
- Los Stellarators  
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6598/05Capitulo05.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Laboratorio Nacional de Fusión  
<http://www.fusion.ciemat.es/energia-de-fusion/el-proceso-de-la-fusion/>
- Cátedra Enresa, producción de residuos  
<http://www.catedraenresauco.com/productores-de-residuos-radiactivos-en-espana/>
- Chernóbil, ¿cómo fue el accidente?  
<https://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/120252-chernobil-icomo-fue-el-accidente>
- El desastre de Chernóbil: qué ocurrió y sus consecuencias a largo plazo



<https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/05/el-desastre-de-chernobil-que-ocurrio-y-sus-consecuencias-largo-plazo>

- Ventajas de la fisión nuclear  
<https://www.ecologiaverde.com/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-nuclear-1114.html>

## ARTÍCULOS

- Diariomotor (2018). Antonio Fajardo. Fusión Nuclear, la solución a nuestros problemas energéticos.  
<https://www.diariomotor.com/tecnovia/2011/08/09/fusion-nuclear-la-solucion-a-nuestros-problemas-energeticos/>
- Tecnoexplora (2019). María Morte. La Fusión Nuclear, la tecnología que promete cambiar el mundo en 10 años. [https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoexplora/ciencia/fusion-nuclear-tecnologia-que-promete-cambiar-mundo-anos\\_201907015d1a31fd0cf27fe1b55d4ce2.html](https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoexplora/ciencia/fusion-nuclear-tecnologia-que-promete-cambiar-mundo-anos_201907015d1a31fd0cf27fe1b55d4ce2.html)
- The New York Times (2019), Stanley Reed, “The Fusion Reactor Next Door”  
<https://www.nytimes.com/2019/05/13/business/fusion-energy-climate-change.html>
- Xataka (2019), Javier Jimenez, “Stellarator vs Tokamak: la no tan reñida carrera tecnológica por la fusión nuclear”  
<https://www.xataka.com/energia/stellarator-vs-tokamak-la-no-tan-renida-carrera-tecnologica-por-la-fusion-nuclear#comments>
- The Telegraph (2019), Jillian Ambrose, “Inside the world's largest nuclear fusion project” <https://www.telegraph.co.uk/business/2019/03/31/exclusive-first-look-inside-worlds-largest-nuclear-fusion-project/>
- Sinc (2017), Nuevo avance de stellarator frente a tokamak en la carrera por la fusión nuclear  
<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Nuevo-avance-de-stellarator-frente-a-tokamak-en-la-carrera-por-la-fusion-nuclear>
- El Diario.es (2017), 35 años de los últimos vertidos nucleares frente a las costas gallegas: ¿Quién vigila?  
[https://www.eldiario.es/galicia/politica/ultimos-vertidos-nucleares-frente-gallegas\\_0\\_710079897.htm](https://www.eldiario.es/galicia/politica/ultimos-vertidos-nucleares-frente-gallegas_0_710079897.htm)

## GLOSARIO

**Antipartícula:** Partícula elemental que tiene masa en reposo, espín y módulo del isospín iguales a los de la partícula correspondiente, y valores opuestos de la carga, paridad y otras magnitudes características. Las antipartículas se designan anteponiendo el prefijo anti al nombre de la partícula correspondiente; así, dícese: antineutrón, antiprotón, etc. Se representan, normalmente, con el mismo símbolo de la partícula, afectado de una tilde.

**Confinamiento:** En fusión nuclear, acción de mantener un plasma dentro de una región determinada del espacio. Existen dos tipos de confinamiento: el magnético, que es de tipo estático, y el inercial, que es de tipo dinámico.

**Deuterio:** Isótopo natural del hidrógeno, cuyo número másico es 2. Se representa por el símbolo D. Su núcleo, el deuterón, contiene un protón y un neutrón. Aunque su abundancia natural es muy pequeña, puede obtenerse, prácticamente puro, por técnicas de separación isotópica. Tiene una sección eficaz apreciable para la producción de fotoneutrones. Su poder de moderación es muy elevado, por lo que, combinado con el oxígeno en el agua pesada, se utiliza como moderador. El deuterio se llama también hidrógeno pesado.

**Electrón:** Partícula elemental estable, del género de los leptones, que forma parte de los átomos y que posee una carga de electricidad negativa de valor  $(1,602 \cdot 10^{-19}) \cdot 10^{-19}$  C. Su masa en reposo es 1836,2 veces menor que la del protón. Su símbolo es e<sup>-</sup>.

**Fotón:** Partícula elemental perteneciente al género de los bosones, con masa en reposo y carga nulas y espín unidad. Es el cuanto elemental de energía electromagnética y es responsable de la interacción electromagnética. Su antipartícula es ella misma. Su símbolo es  $\gamma$ .

**Gigavatio:** Medida de potencia eléctrica que es igual a 1 000 millones de vatios.

**MeV:** Unidad de energía, que equivale a  $10^6$  eV (electronvoltio) siendo este último a la energía potencial que experimenta un electrón al moverse desde un potencial VA hasta un potencial VB siendo la diferencia de potencial  $VA - VB = 1V$ . Equivale a  $1,60217656 \cdot 10^{-19}$  Julios.

**Neutrón:** Nucleón cuya carga eléctrica es nula. Su masa en reposo es 1,001 36 veces la del protón. Interviene en la constitución de los núcleos atómicos y es inestable fuera de ellos, con una vida media de  $10^{10} \pm 30$  segundos, dando lugar a un protón, un electrón y un antineutrino. Su símbolo es n. Es un barión, con espín  $\frac{1}{2}$ , paridad positiva y extrañeza nula. Constituye el miembro del doblete nucleónico con componente Z del isospín igual a  $-1/2$ .

**Nucleón:** Nombre genérico que se da a las partículas constituyentes de los núcleos atómicos, es decir, al protón y al neutrón. Se considera que, en realidad, sólo existe la partícula nucleón, capaz de manifestarse en dos estados.

**Partícula alfa:** Núcleo de 4 He emitido en una desintegración nuclear. Por extensión, toda agrupación de dos neutrones y dos protones. Se representa por el símbolo  $\alpha$ .

**Partícula beta:** Electrón, positivo o negativo, emitido en la desintegración de un núcleo atómico. Se representa por el símbolo  $\beta$ .

**Plasma:** Fluido que resulta cuando se ioniza casi totalmente un gas a temperaturas muy elevadas. Contiene iones positivos y electrones en concentración prácticamente igual, por lo que en grandes volúmenes es eléctricamente neutro y buen conductor de la electricidad.

**Protón:** Nucleón cuya carga eléctrica es positiva e igual a la del electrón. Su masa en reposo es  $(1,67252 \pm 0,00008) \cdot 10^{-27}$  kg. Interviene en la constitución de todos los núcleos atómicos y constituye por sí solo el núcleo del protio. Su símbolo es p. Es un barión estable, con espín  $1/2$ , paridad positiva y extrañeza nula, y constituye el miembro del doblete nucleónico con componente Z del isospín igual a  $+1/2$ .

**Quark:** Según las teorías físicas desarrolladas a partir de 1964, voz inglesa, de muy difícil traducción, empleada como nombre genérico de un grupo de partículas subelementales, las cuales, junto a los leptones y a las antipartículas correspondientes, constituyen los ladrillos del universo; a semejanza de los leptones, los quarks se dividen en tres familias, con dos miembros en cada una: los quarks arriba (u) y abajo (d); los quarks encanto (c) y extraño (s); y los quarks cima (t) y fondo (b); todos ellos tienen carga eléctrica semientera, número bariónico  $1/3$  y espín  $1/2$ . Según estas teorías los hadrones están formados por una combinación de quarks y antiquarks; los bariones son la unión de tres quarks y los mesones la unión de un quark y un antiquark.

**Radiactividad:** Propiedad que presentan algunos nucleídos de desintegrarse espontáneamente. // 2. En una cantidad dada en una sustancia, número medio de desintegraciones nucleares que se producen por unidad de tiempo. Su unidad es el becquerelio (Bq).

**Radiación gamma:** Radiación electromagnética emitida durante una desexcitación nuclear o un proceso de aniquilación de partículas. Su longitud de onda, en general, es menor que la de los rayos X, por lo que es extraordinariamente penetrante.

**Radiactividad natural:** Radiación ionizante existente en la naturaleza en ausencia de cualquier instalación nuclear o fuente radiactiva artificial. Se debe a la radiación cósmica y a los radionucleidos naturalmente presentes en la corteza terrestre y en la atmósfera.

**Tritio:** Isótopo radiactivo del hidrógeno cuyo número másico es 3. Se representa por el símbolo T. Su núcleo contiene un protón y dos neutrones. Es un emisor puro de radiación beta débil y de período largo. Se produce en la naturaleza por acción de los rayos cósmicos y artificialmente por acción de los neutrones sobre el deuterio, el litio y el boro. Es un producto de fisión ternaria. Se emplea para marcar moléculas y como trazador y desempeña un papel importante en las reacciones termonucleares. La contaminación de la biosfera por tritio aumenta a causa de las explosiones nucleares y de la exploración de los reactores nucleares.

**Uranio enriquecido:** El uranio del combustible nuclear se somete a enriquecimiento, para aumentar el porcentaje del isótopo U-235 desde el 0,7% natural al 3-5% necesario para el funcionamiento del reactor. Son métodos de enriquecimiento del uranio, entre otros, la difusión gaseosa, la ultracentrifugación, la separación isotópica mediante toberas, rayo láser o intercambio químico.

**Vatio:** Unidad de potencia en el sistema internacional de unidades (SI). Su símbolo es W y equivale al producto del julio por el recíproco del segundo.

## ANEXO:

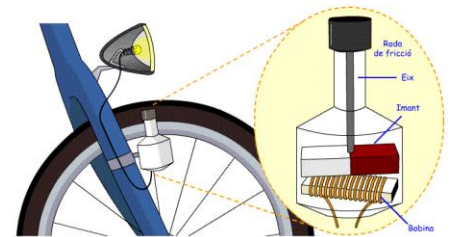
Estas son algunas de las prácticas que pudimos realizar en el Forschungszentrum de Jülich durante nuestra visita a Alemania.

### Práctica 1:

## SUPERCONDUCTIVIDAD

### Inducción electromagnética

Si nos fijamos en la dinamo que hay en las bicicletas, podemos observar que hay un imán unido a una ruedecita. Cuando la bicicleta se mueve, también lo hace la ruedecita de la dinamo impulsada por el rozamiento con el neumático, lo cual hace que al estar unida con un eje al imán, éste también se mueva. El imán se encuentra en una bobina, y la dinamo está conectada con las luces de la bicicleta a través de un cable.



¿Por qué las luces de la bicicleta solo se iluminan cuando pedaleo?

#### MATERIALES NECESARIOS:

2 cables de conexión, multímetro, set (contiene una bobina de 600 espiras y un anillo imantado)

#### EXPERIMENTO:

1. Conecta el multímetro con la bobina (el cable negro en COM y el cable rojo en mA).
2. Para medir la corriente coloca la perilla del multímetro en mA.
3. Ahora mueve el imán hacia arriba y presta atención al monitor del multímetro.
4. Repite el experimento pero esta vez solo moviendo la bobina.

#### OBSERVACIONES:

Al mover cualquiera de los objetos (bobina o imán) se produce electricidad. Cuanto más rápido lo muevas, más electricidad será producida.

#### EVALUACIÓN:

1. Completa el texto con las siguientes palabras:  
corriente eléctrica - corriente eléctrica - Inducción electromagnética - imán - imán - bobina

Cuando se mueve un imán a través de una bobina, se produce una corriente eléctrica. Cuando se mueve una bobina alrededor de un imán, se produce también una corriente eléctrica. Este principio se llama Inducción Electromagnética.

2. ¿Qué observas cuando no se mueven ni la bobina ni el imán?

Si no se mueven ni el imán ni la bobina no se produce corriente eléctrica.

3. ¡Soluciona el problema!

Para conseguir corriente eléctrica necesitamos movimiento relativo entre un imán y un conductor, que en este caso es la bobina.

4. Completa el resumen con las siguientes palabras:

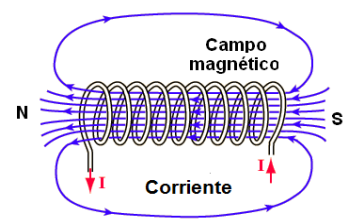
Inducción electromagnética - conduce - brillar - imán - bobina - bobina - corriente - resistencia - resistencia

Resumen: En este último experimento, se nos ha presentado el principio de la inducción electromagnética. También sabemos que la bobina es un cable enrollado y, por lo tanto, conduce corriente eléctrica. Cada conductor eléctrico, por lo tanto la bobina también, tiene una resistencia. Asimismo, sabemos que la resistencia tiene un efecto sobre la corriente eléctrica. Recordemos el ejemplo de la dinamo de la bicicleta: cuando montas en bicicleta por la noche y te detienes en el semáforo, ni la bobina se mueve, ni el imán en la dinamo. Las luces de la bicicleta dejan de brillar. La razón de esto es que la corriente producida no es suficiente para superar la resistencia de la bobina.

### Inducción electromagnética de una corriente en bucle en un superconductor

En este último experimento hemos aprendido que podemos producir una corriente eléctrica en un conductor con un imán. Para entender el siguiente experimento debemos saber que este fenómeno también funciona al revés: cada vez que la electricidad fluye a través de un conductor eléctrico (como una bobina), un campo magnético se produce alrededor del conductor por el flujo de corriente.

La ilustración de la derecha representa el campo magnético de una bobina, a través del cual fluye una corriente.



¿Cuál es la cantidad de resistencia en un anillo superconductor?

MATERIALES NECESARIOS:

Recipiente de espuma, brújula, clavo (imán de barra débil), un par de pinzas, anillo superconductor, guantes de protección y nitrógeno líquido

#### EXPERIMENTO:

1. Pon la brújula sobre la mesa frente a ti.
2. Pon el clavo dentro del anillo y seguidamente retíralo.
3. Mueve el anillo alrededor de la brújula en un movimiento circular. OBSERVACIÓN: la aguja de la brújula no se mueve.
4. Un miembro del equipo sujeta el anillo con las pinzas y los guantes puestos y lo sumerge en el nitrógeno líquido que ha sido previamente vertido en el recipiente de espuma.
5. Retira el anillo del recipiente y muévelo alrededor de la brújula en un movimiento circular.  
OBSERVACIÓN: la aguja de la brújula sigue sin moverse.
6. Vuelve a sumergir el anillo en el nitrógeno líquido pero esta vez el clavo debe estar dentro del anillo. Asegúrate de que el clavo no se cae durante este proceso.
7. Retira el anillo del recipiente y deja caer el clavo en el departamento vacío del recipiente de espuma. Seguidamente debes volver a sumergir el anillo. Este paso debe ser muy rápido.
8. Después de dejar el anillo en el nitrógeno líquido durante 1 minuto aproximadamente, puedes sacarlo del recipiente y volver a moverlo alrededor de la brújula.  
OBSERVACIÓN: la aguja se mueve siguiendo la dirección del anillo.
9. Deja que el anillo vuelva a estar a temperatura ambiente.
10. Rodea la brújula con el anillo por última vez.  
OBSERVACIÓN: la aguja ya no se mueve.

#### EVALUACIÓN:

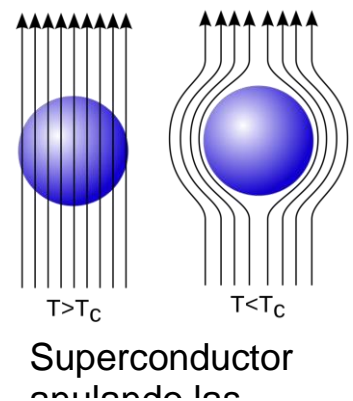
1. ¡Intenta explicar tus observaciones! ¡También ten en cuenta la información sobre este experimento!  
El anillo superconductor debe enfriarse para perder su resistencia. De modo que si movemos un imán a través del anillo mientras esté suficientemente frío, obtendremos corriente eléctrica siempre y cuando lo mantenemos en esa temperatura.
2. ¿Por qué la corriente eléctrica en el anillo no se detiene cuando el imán ya no lo atraviesa, en contraste con el experimento de inducción?  
Aunque el imán no se mueva dentro el anillo, seguimos teniendo corriente eléctrica porque el anillo sigue frío y por lo tanto no opone resistencia, a diferencia del

experimento de la inducción. Además, la forma circular del anillo hace que la corriente circule infinitamente.

3. Nombra dos razones por las que varía la resistencia.
  - a. Por la temperatura del superconductor, no tendrá resistencia cuando la temperatura esté por debajo de la temperatura crítica.
  - b. Por la longitud del conductor.

### Diamagnetismo: efecto Meissner

Hay materiales, como los imanes, que producen campos magnéticos, caracterizados por líneas de campo magnético (Ferromagnetismo). Sin embargo, también existen materiales que anulan estos campos magnéticos, debido a la expulsión de líneas de campo magnético del interior del material (Diamagnetismo). Los materiales que a una temperatura crítica pasan al estado superconductor (resistencia nula), tienen como característica la anulación del campo magnético, que como consecuencia impide que penetre en el interior del superconductor.



En 1933, los físicos alemanes Walther Meißner y Robert Ochsenfeld descubrieron esta característica de los superconductores. Está representado en el gráfico de la derecha. Si la temperatura es menor que la temperatura crítica, el campo magnético será expulsado del interior del material. El comportamiento diamagnético de los superconductores es visible a simple vista.

¿Cómo puede ser detectado el Diamagnetismo?

#### MATERIALES NECESARIOS:

Set experimental (contiene una placa de Petri, un imán con forma de cubo y un superconductor), recipiente de espuma, un par de pinzas, guantes de protección y nitrógeno líquido

#### EXPERIMENTO:

1. Haz que el imán levite.
2. ¡Toma notas mientras experimentas!  
Para conseguir que el imán levite, tenemos que verter el nitrógeno líquido sobre el superconductor que está en la placa de Petri. A continuación, al poner el imán sobre este material, levita.

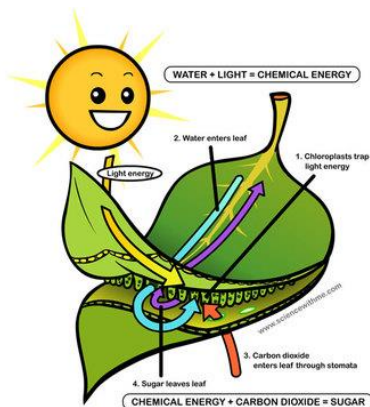
#### EVALUACIÓN:



1. ¿Cómo has conseguido que el imán levite? ¿Has enfriado el superconductor antes de poner el imán sobre él o después?  
Para que el imán levite, primero debemos enfriar el superconductor con el nitrógeno líquido, y después poner sobre él el imán.
2. ¡Soluciona el problema!  
A una temperatura alta, el superconductor es un conductor normal y permite que el campo magnético lo atraviese. Cuando bajamos la temperatura con el nitrógeno líquido, el superconductor repele el flujo magnético externo producido por un imán, haciendo que éste levite.
3. ¡Nombra dos características de los superconductores que hayas aprendido hoy!
  - a. Superconductividad: en ausencia de campos magnéticos, por debajo de una temperatura crítica, su resistividad es nula.
  - b. Diamagnetismo: propiedad que consiste en repeler los campos magnéticos del interior de los superconductores cuando están por debajo de su temperatura crítica.

## Práctica 2:

### Plantas como proveedores de energía



#### Información:

Como muchos de vosotros ya sabréis, la mayoría de las plantas realizan la fotosíntesis, las algas y algunos bacterios también usan este proceso bioquímico para producir sustancias ricas en energía a partir de sustancias poco energéticas, con la ayuda de la luz solar.

Los pigmentos de clorofila situados en los cloroplastos (orgánulos celulares) absorben la luz (energía electromagnética) y la convierten energía química en forma de glucosa (azúcar). Este proceso es necesario para el metabolismo y crecimiento de las plantas.

#### Hipótesis:

¿Qué requisitos previos deben cumplirse para que la fotosíntesis pueda tener lugar?  
Para responder a esta pregunta, ahora debes realizar algunos experimentos:

- 1) Investigación de la actividad de fotosíntesis en función del contenido de CO<sub>2</sub> del ambiente y la intensidad de la luz.

**Instrumental:** Tres tubos de ensayo, soporte, cronómetro, bisturí, clips de papel, agitador magnético, cilindro de medición de 250 mL, calefactor, retroproyector, una lámpara Osram Fluora.

**Productos químicos:**  $NaHCO_3$  (bicarbonato sódico), agua mineral y agua destilada.

### Procedimiento 1.1

- Verter 150 mL de agua mineral en vaso de precipitados de 250 mL, agregar ..... y mezclar con el agitador magnético el agua, hasta que no queden burbujas.
- Llenar  $\frac{3}{4}$  de un tubo de ensayo con agua destilada.
- Cortar un trozo de alga, aproximadamente 8 cm.
- Introducir el alga en el tubo de ensayo que contiene agua destilada, con la parte del corte hacia arriba y esperar 1 min hasta que las burbujas empiecen a salir hacia la superficie.
- Contar durante 2min las burbujas que salen de la planta.
- Repita este proceso con el agua mineral y el  $NaHCO_3$  .

### Observación:

Medio acuoso	Agua destilada	$NaHCO_3$	Agua mineral
Número de burbujas	5	8	13
	9	15	17
Total	14	23	30

### Procedimiento 1.2

- Llenar tubo de ensayo con agua mineral sin gas.
- Cortar un trozo de la planta y colocarla dentro del tubo con la parte del corte hacia arriba.
- Posicionar el tubo de ensayo bajo la luz solar y esperar 1 min aproximadamente hasta que las burbujas empiecen a salir a la superficie

- Cuenta las burbujas que salgan a la superficie en los siguientes 2 minutos.
- Repetir este proceso en la oscuridad, en el OHP y en la lámpara de Osram Fluora.

### Observación

Fuente de luz	oscuridad	OHP	Osram Fluora	sol
Número de Burbujas	0	28	61	83
	0	30	57	94
Suma del grupo	0	58	118	177

### Conclusiones:

Contestar la pregunta inicial con la ayuda de los resultados anteriores.

Incluye un análisis de los errores en la evaluación

Hemos observado que la planta realiza mejor la fotosíntesis si se encuentra en agua rica en sales minerales como ( $NaHCO_3$ ).

También hemos notado que la planta es capaz de convertir las sales minerales en energía química en forma de glucosa (energía)

Los resultados de las prácticas demuestran que las plantas no son capaces de realizar la fotosíntesis en agua destilada, ya que esta no contiene sales minerales para que la planta obtenga energía.

Lo siguiente que hemos observado es que cuanto más energía posea la fuente de luz, más efectiva resultará la fotosíntesis.

Finalmente, las plantas o pueden realizar las fotosíntesis sin luz, ya que no tienen una fuente de energía para realizar el proceso

### Información:

Ahora podemos considerar fácilmente que las plantas tienen que almacenar su energía de alguna forma. Tan pronto como empieza a oscurecer, las plantas tienen que vivir de sus suministros. Además, hay partes de las plantas que necesitan “un suministro inicial” hasta que puedan realizar la fotosíntesis independientemente.

### Pregunta:

¿Cómo almacenan las plantas la energía absorbida?

### Instrumental:

vasos de precipitados de 250 mL y 100mL, calefactor, pinzas, bisturí, algas.

**Productos Químicos:** solución de lugol, gasolina de limpieza, agua

**Hipótesis:**

Cual es la sustancia de almacenamiento de energía de las plantas?

**Procedimiento 1.3**

- Introducir el alga en agua caliente durante 1 o 2 mins
- Retirar el alga con la pinzas y introducirla en el vaso con la gasolina, dejar reposar durante 2 mins.
- Retirar el alga de la gasolina y añadir 5 gotas de Lugol a la gasolina
- Revolver vigorosamente y observar

**Observación:**

La gasolina se mezcla con la glucosa

**Conclusiones:**

Las plantas utilizan el azúcar o glucosa que la ellas mismas han segregado durante la fotosíntesi para almacenar la energía producida.

las plantas utilizan almidón para almacenar alimento en sus raíces.