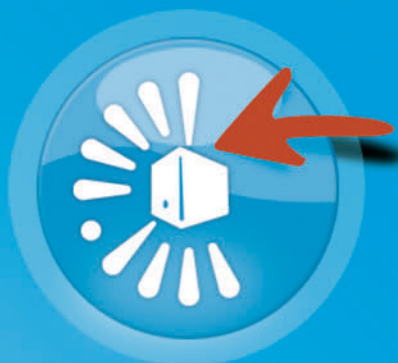
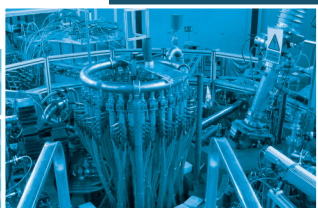


Libro del profesor



Fusión

Unidad Didáctica



INTRODUCCIÓN

La unidad *“La fusión nuclear: una energía de futuro que necesita gente como tu”* se ha concebido como una unidad de apoyo al proyecto Ibercivis para el alumnado de la Educación Secundaria obligatoria (ESO) y el de Bachillerato.

Aborda contenidos de los siguientes bloques temáticos del currículo de la ESO (BOE 5/01/07) y Bachillerato (BOE 6/11/07).

Educación Secundaria Obligatoria:

- La Tierra en el Universo. (Estrellas y galaxias). 1º Curso. Ciencias de la Naturaleza.
- Materia y energía. (Análisis y valoración de las diferentes fuentes de energía, renovables y no renovables). 2º Curso. Ciencias de la Naturaleza.
- Estructura interna de las sustancias. (Caracterización de los isótopos). 3º Curso. Física y Química.
- Las personas y el medio ambiente. (Recursos, riesgos e impactos medioambientales. Principales problemas ambientales de la actualidad. Valoración de la necesidad de cuidar el medio ambiente). 3º Curso. Biología y Geología.
- Cálculos en reacciones químicas. (Observación experimental de intercambio de energía en reacciones químicas). 4º Curso. Física y Química.
- Profundización en el estudio de los cambios. (Tipos de energía). 4º Curso. Física y Química.
- La contribución de la ciencia a un futuro sostenible. (Los problemas globales a los que se enfrenta hoy la humanidad: contaminación, cambio climático, agotamiento de recursos). 4º Curso. Física y Química.

Bachillerato:

- Contenidos comunes. (Análisis de problemas científico-tecnológicos de incidencia e interés social, predicción de su evolución y aplicación del conocimiento en la búsqueda de soluciones a situaciones concretas). Ciencias para el mundo contemporáneo.
- Nuestro lugar en el Universo. (El origen del Universo. La génesis de los elementos: polvo de estrellas. Exploración del sistema solar). Ciencias para el mundo contemporáneo
- Hacia una gestión sostenible del planeta. (La sobreexplotación de los recursos: aire, agua, suelo, seres vivos y fuentes de energía. El problema del crecimiento ilimitado en un planeta limitado. Principios generales de sostenibilidad económica, ecológica y social. Los compromisos internacionales y la responsabilidad ciudadana). Ciencias para el mundo contemporáneo
- Nuevas necesidades, nuevos materiales. (La humanidad y el uso de los materiales. Localización, producción y consumo de materiales: control de los recursos). Ciencias para el mundo contemporáneo

- Medio ambiente y fuentes de información ambiental. (Concepto de impacto ambiental. Riesgos naturales e inducidos. Consecuencias de las acciones humanas sobre el medio ambiente). Ciencias de la Tierra y medioambientales.
- Introducción a la Física moderna. (Física nuclear. La energía de enlace. Radioactividad: tipos, repercusiones y aplicaciones. Reacciones nucleares de fisión y fusión, aplicaciones y riesgos.). Física.
- Interacción electromagnética. (Relación entre fenómenos eléctricos y magnéticos). Física.
- El átomo y sus enlaces. (Enlaces iónico, covalente, metálico e intermoleculares). Física y Química.
- Estudio de las transformaciones químicas. (Estequiometría de las reacciones. Valoración de algunas reacciones químicas que, por su importancia biológica, industrial o repercusión ambiental, tienen mayor interés en nuestra sociedad. El papel de la química en la construcción de un futuro sostenible). Física y Química.
- Transformaciones energéticas en las reacciones químicas. (Aplicaciones energéticas de las reacciones químicas. Repercusiones sociales y medioambientales). Química.
- Materiales. (Impacto ambiental producido por la obtención, transformación y desecho de los materiales). Tecnología industrial I.
- Recursos energéticos. (Obtención, transformación y transporte de las principales fuentes de energía). Tecnología industrial I.

La unidad se ha elaborado con un enfoque interdisciplinar incluyendo contenidos de Geología, Física, Química y Tecnología. La duración prevista para la unidad es de 2 ó 3 sesiones.

Las actividades propuestas incluyen debates y muchos enlaces a portales de Internet por lo que es conveniente realizar si no todas las sesiones, parte de ellas, en un aula informática, con ordenadores o en un aula con pizarra digital, ordenador + Internet + videoprojector.

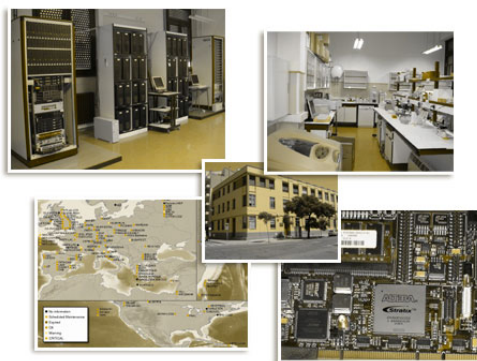
Contenidos de la Unidad:

1. LA ENERGÍA.....	3
2. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA NUCLEAR? FISIÓN Y FUSIÓN	6
2.1. FISIÓN NUCLEAR.....	6
2.2. FUSIÓN NUCLEAR.....	7
2.3. EL PROBLEMA DE LA FUSIÓN ¿CÓMO ALMACENAR LA MATERIA A MILLONES DE GRADOS?	10
3. EL PROYECTO ITER.....	12
4. SIMULAR PROCESOS POR ORDENADOR.	13
5. DIVIDE Y VENCERÁS: la Ciencia necesita tu ordenador	14
6. PARA SABER MÁS.....	15

¿Has colaborado con algún científico?, ¿no? Si piensas que no puedes aportar nada a la ciencia, estás muy equivocado.

¿Crees que en Zaragoza se hace ciencia de la buena, de nivel internacional? Si piensas que no, te has vuelto a equivocar.

En Zaragoza hay un grupo de investigadores que participa en un proyecto internacional para poner en marcha una nueva fuente de energía, la fusión nuclear. Antes de construir un carísimo reactor nuclear quieren simular por ordenador cómo funcionaría. Para eso tienen dos opciones, comprar un ordenador potentísimo y carísimo o aprovechar la potencia de cálculo de los ordenadores domésticos de los voluntarios que quieran colaborar. Como puedes imaginar han optado por esto último.

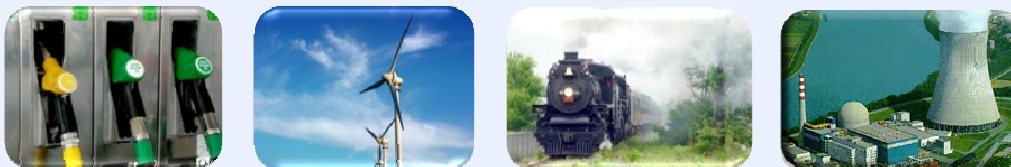


En esta unidad vamos a repasar alguna cuestión sobre energía, vamos a ver qué es la fusión nuclear, cómo se puede almacenar la materia a temperaturas elevadísimas mediante campos magnéticos, qué es la simulación por ordenador y, por último, cómo se pueden utilizar los ordenadores domésticos como el tuyo para realizar grandes cálculos científicos.

1. LA ENERGÍA

Las fuentes de energía han cambiado a lo largo de la historia.

A.1 Ordena cronológicamente estas fotografías.



Comentario:

Con esta actividad se pretende que el alumnado tome conciencia de que las fuentes de energía son agotables, de que han cambiado y cambiarán a lo largo de la historia.

Solución a la actividad A1:

Aunque todas ellas se utilizan en la actualidad y algunas de ellas se conocen desde antiguo, han ido adquiriendo protagonismo en el panorama energético mundial en distintos momentos históricos:

- 1º el carbón fue clave en la Revolución Industrial del siglo XIX y constituyó la principal fuente de energía hasta mediados del siglo XX
- 2º los hidrocarburos tomaron el relevo tras la segunda guerra mundial, con los bajos precios del petróleo y el desarrollo del transporte

3º la energía nuclear de fisión se investigó con fines militares durante la segunda guerra mundial, comenzando su explotación comercial como fuente de energía en 1956 en la central de Sellafield (Inglaterra)

4º las energías renovables han representado durante décadas una parte ínfima del consumo mundial, pero su importancia ha crecido notablemente en los últimos años (sobre todo la energía eólica)

A2 ¿Cuál de todas las energías elegirías para abastecer a toda la humanidad? Antes de contestar piensa también en los inconvenientes.

Comentario:

Se pretende con esta actividad que los alumnos valoren la capacidad de abastecimiento de cada una de las fuentes de energía, el agotamiento de las mismas si se mantiene el consumo actual y su impacto medioambiental.

Solución a la actividad A2:

Las energías utilizadas en la actualidad presentan dos inconvenientes principales: o bien dependen de combustibles cuyas reservas son limitadas y terminarán agotándose, o bien producen graves impactos medioambientales. O bien presentan ambos inconvenientes a la vez.

De las fuentes de energía de la actividad 1, tanto los combustibles fósiles –carbón y petróleo – como los combustibles para las centrales nucleares de fisión se agotarán en las próximas décadas o en pocos siglos. Y si fueran inagotables, ¿tendríamos resuelto el problema energético de la humanidad?

Los combustibles fósiles son los máximos responsables del temido cambio climático y de la contaminación atmosférica que padecemos, por lo que, si fueran inagotables, su utilización sería totalmente insostenible como ya lo es hoy en día. Por otra parte, las centrales nucleares no tienen efecto sobre el cambio climático pero producen residuos radioactivos muy peligrosos, algunos de los cuales tienen una vida media de miles e incluso millones de años. Estos residuos deben por tanto almacenarse para siempre, dejando una herencia que deberán gestionar las generaciones futuras. Si la energía nuclear de fisión fuera inagotable, los desechos se irían acumulando indefinidamente y sería necesario buscar más y más espacios de almacenamiento.

Las fuentes de energía renovables tienen la ventaja de ser, en principio, inagotables, y de no producir contaminación ni desechos. Su impacto ambiental, sin embargo, es muy importante: ¿cuántas presas hidroeléctricas, cuántos aerogeneradores o cuántas placas solares serían necesarios para suministrar energía a toda la humanidad? Seguramente habría que inundar casi todos los valles o cubrir de aerogeneradores y placas la mayor parte de la superficie del globo. Los efectos negativos de los pantanos son bien conocidos, y los de los aerogeneradores ya se pueden apreciar en nuestro entorno: al fuerte impacto paisajístico hay que sumar afecciones a las aves, erosión y destrucción de laderas de montaña por la construcción de pistas de acceso y de líneas eléctricas que evacuen la energía producida, etc.

Seguro que tus abuelos no tenían videoconsola ni chateaban con el Messenger, ni tenían móvil, ni microondas ni... Por eso es fácil entender que el consumo de energía ha aumentado mucho en los últimos tiempos. Este aumento es lo que algunos llaman 'crecimiento exponencial'.



Aquí tienes un enlace de Internet que te ayudará a entender mejor algunas cuestiones sobre el consumo de energía.

A3 ¿Quedará petróleo cuando tengas dinero para comprarte un coche?

Para ayudarte a contestar a esta pregunta puedes conectarte y navegar por la siguiente página web www.ibercivis.es/divulgacion/unidades/fusion/material/cd.html:

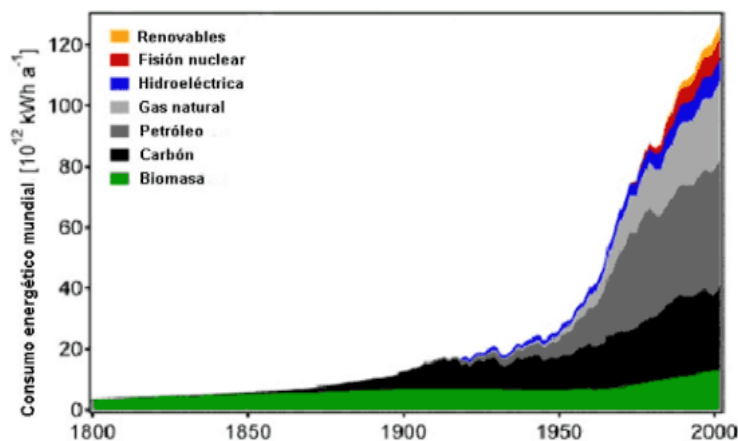
- Contador virtual de población mundial
- Consumo de petróleo
- Emisiones de CO₂
- Las reservas mundiales de petróleo

Comentario:

Los alumnos observarán las diapositivas que se indican en la actividad y tratarán de contestar a las preguntas. Para ello tendrán que hacer algún cálculo matemático sencillo apoyándose en los contadores que vienen en las diapositivas. Al final compararán sus resultados con los que vienen en la diapositiva solución.

Solución a la actividad A3:

La población mundial ha aumentado de forma geométrica a lo largo del siglo XX, en una tendencia que continúa en la actualidad y que nos ha llevado a ser más de 6 500 millones de personas. Lógicamente, el aumento de población supone el aumento del consumo energético, que se ha disparado en los últimos 50 años, en una tendencia que parece imparable.



La situación se agrava si tenemos en cuenta que hasta hace unos pocos años el consumo energético se concentraba en unos pocos países (EE.UU., Europa, Rusia, Japón), dejando fuera del reparto a la mayoría de la población mundial. El gran desarrollo económico de países como China, con más de 1321 millones de habitantes, o la India, con casi 1130 millones, está acelerando notablemente el aumento del consumo de energía en los últimos años.

El petróleo, junto con el carbón y el gas natural, constituyen las principales fuentes de energía a nivel mundial. Se trata de combustibles fósiles, es decir, formados a lo largo de millones de años, pero que estamos consumiendo a un ritmo

infinitamente mayor, por lo que las reservas tardarán en agotarse sólo unas décadas. En el caso del petróleo, las reservas conocidas son inferiores a 1 300 000 millones de barriles; con un consumo diario mundial superior a los 80 000 millones de barriles, se calcula que estas reservas durarán poco más de 40 años. Por supuesto, quedan yacimientos sin descubrir y otros cuya explotación hasta ahora era demasiado cara y que con el aumento de los precios pueden resultar rentables, lo que aumentará notablemente las reservas. Pero esta diferencia puede verse neutralizada por el rápido aumento del consumo.

Al problema de la próxima escasez de petróleo y gas natural se suma su reparto desigual bajo la superficie terrestre, origen de múltiples tensiones y guerras por el control de los yacimientos, sobre todo en Oriente Medio. Estos conflictos se agravarán sin duda conforme los combustibles escaseen y su precio aumente en el mercado, planteándose además la explotación de reservas en zonas naturales como la Antártida, con el consiguiente deterioro medioambiental.

Por otra parte, el consumo de combustibles fósiles genera millones de toneladas de CO_2 que provocan el llamado efecto invernadero: el aumento de la temperatura media de la Tierra con resultados impredecibles pero sin duda gravísimos sobre el clima. En definitiva, seguramente quedará todavía algo de petróleo cuando tengas dinero para comprarte un coche, pero quizás sea ésta la menor de tus preocupaciones...

¿Qué fuentes de energía quedarán para tus hijos? Parece que poco petróleo, no mucho gas, algo de carbón, no sabemos cuánto uranio... Ahora se investiga sobre otras energías, la fotovoltaica, la eólica y sobre nuevos métodos para extraer energía del agua de mar!!! Reproduciendo lo que sucede en las estrellas, la fusión nuclear.

2. ¿QUÉ ES LA ENERGÍA NUCLEAR? FISIÓN Y FUSIÓN

Quizás hayas oído hablar sobre la energía nuclear, isótopos, la bomba nuclear o la de hidrógeno o los residuos radiactivos o...

Veamos qué es la energía nuclear y por qué no es lo mismo la fisión nuclear que la fusión nuclear.



2.1. FISIÓN NUCLEAR



En este enlace puedes ver una animación de una reacción de fisión nuclear.



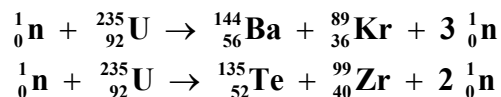
La fisión nuclear es una reacción que se puede producir en "cadena". Esta reacción en cadena puede tener lugar de forma controlada (central nuclear) y también incontrolada (bomba nuclear).

A.4 Explica con palabras sencillas: ¿Qué es la fisión nuclear? ¿Por qué se pueden producir reacciones de fisión en cadena?

Solución a la actividad A4:

La fisión nuclear es una reacción en la que núcleos de átomos pesados, al ser bombardeados con neutrones, se dividen en dos fragmentos formados por núcleos de átomos más ligeros, con gran desprendimiento de energía y la emisión de dos o más neutrones (en promedio 2,4 neutrones).

Reacciones típicas de fisión:



Los neutrones generados en cada fisión pueden provocar la fisión de otros núcleos que emitirán más neutrones que producirán nuevas fisiones y así sucesivamente. Este efecto multiplicador se conoce con el nombre de reacción en cadena.

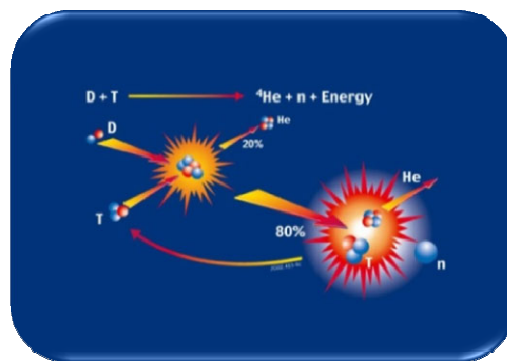
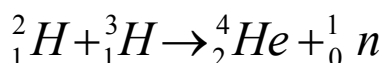
Si, en término medio, se logra que sólo uno de los neutrones liberados produzca una fisión posterior, el número de fisiones que tienen lugar cada segundo permanece constante y la reacción permanece controlada. Este es el principio de funcionamiento de los reactores nucleares, que son fuentes controlables de energía nuclear.

Si la mayoría de los neutrones que se emiten, provocan la fisión de nuevos núcleos, en una fracción de segundo se fisionarán muchísimos núcleos y esta reacción en cadena descontrolada es el principio básico en el que está basada la bomba atómica.

2.2. FUSIÓN NUCLEAR

La fusión nuclear es una reacción en la que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado. En el proceso se libera gran cantidad de energía.

Un ejemplo de reacción de fusión es el siguiente:



En este enlace tienes información sobre la fusión nuclear y también las dificultades técnicas que habrá que superar para que pueda llegar a ser una nueva fuente de energía.



A.5 Completa esta tabla y compara tus respuestas con las de tus compañeros.

	Fisión	Fusión
Combustible		
¿Hay mucho combustible en el mundo?		
Residuos que produce...		
¿Son peligrosos?		

Solución a la actividad A5:

	Fisión	Fusión
Combustible	El único isótopo fisionable que existe en la naturaleza es el uranio-235. En un reactor nuclear no se puede introducir el uranio que se consigue directamente de la naturaleza, ya que su contenido en uranio-235 fisionable es sólo del 0,71%. Este porcentaje se eleva hasta el 3% - 5% mediante un proceso de "enriquecimiento", que consiste en la separación de los isótopos de uranio 235 y 238. Hay otros isótopos fisionables que no existen en la naturaleza pero que pueden obtenerse artificialmente. Los principales son: el uranio-233 y el plutonio-239.	Deuterio (${}^2_1\text{H}$): es un isótopo del hidrógeno que existe en la naturaleza y no radiactivo. Tritio (${}^3_1\text{H}$): este isótopo del hidrógeno es radiactivo y su vida media es de 12,3 años. Por tanto, es difícil encontrarlo en la naturaleza y tiene que ser producido de forma artificial. Se generará en el interior del reactor de fusión a partir de litio. Los neutrones liberados en la reacción de fusión transforman el litio en helio y tritio: ${}_0^1\text{n} + {}_3^6\text{Li} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_1^3\text{H}$ Por tanto, el único combustible radiactivo no requiere transporte, excepto durante la puesta en marcha y el desmantelamiento de la central.
¿Hay mucho combustible en el mundo?	El uranio-235 es un recurso limitado. Según los estudios disponibles, las reservas alcanzarán sólo para unas pocas décadas más, considerando los niveles de consumo actuales y los yacimientos que son rentables económicamente en la actualidad (en la naturaleza existe más uranio pero su coste de extracción es mucho más elevado). En una central de fisión es necesario periódicamente (cada 12, 18 o 24 meses) renovar el combustible en una operación que se llama recarga. En cada ciclo se renueva aproximadamente un tercio del material combustible. Un reactor de 1.000 MW de potencia utiliza entre 20 y 30 t de combustible en cada ciclo. Cuando se comenzaron a construir este tipo de centrales, se consideraba indispensable realizar el "reproceso" de los combustibles gastados, con el fin de recuperar el	Deuterio (${}^2_1\text{H}$): se puede extraer del agua (hay 33 mg de deuterio en cada litro de agua). En la Tierra hay suficiente deuterio en el agua como para proporcionar energía durante miles de millones de años Litio: es un metal ligero y abundante en la naturaleza. La corteza de la Tierra contiene litio suficiente para miles de años de consumo energético a los niveles actuales y los mares también almacenan una enorme cantidad. En todo momento hay muy poca cantidad de combustible en la cámara de reacción (alrededor de 1g de deuterio-tritio en un volumen de 1000 m³). El consumo de combustible de una central eléctrica de fusión será extremadamente bajo. Una central de fusión de 1.000 MW de potencia necesitará cerca de 100 kg de deuterio (correspondiente a 2800 toneladas

	uranio no consumido y el plutonio generado, para su posterior utilización como materiales energéticos eliminando la escasez de estos recursos. Sin embargo, hoy en día, por dificultades técnicas y el aumento de las medidas de seguridad, sólo existen en todo el mundo dos instalaciones de "reproceso" (una en Francia y otra en el Reino Unido).	de agua del mar) y 150 kg de tritio (correspondiente a 10 toneladas del mineral de litio) para operar durante un año entero, produciendo cerca de 7 billones de kWh de energía.
Residuos que produce...	Un núcleo pesado durante la fusión se puede dividir de muchos modos distintos. Se han hallado más de 200 isótopos de 35 elementos distintos entre los productos de fisión del uranio-235, la mayor parte de los cuales son radiactivos.	Cada reacción de fusión produce una partícula alfa (o sea, un núcleo de helio) y un neutrón de alta energía.
¿Son peligrosos?	Los elementos combustibles gastados son residuos radiactivos de alta actividad que tardarán mucho tiempo en llegar a un nivel no nocivo para la salud de los seres vivos (300.000 años en el caso que no sean "reprocesados" y unos 15.000 años cuando han sido "reprocesados"). En consecuencia, estos residuos requieren sistemas muy complejos para su almacenamiento definitivo, que garanticen su aislamiento de los seres humanos y del medio ambiente. La solución teórica dada a este grave problema es almacenarlos en instalaciones denominadas de "almacenamiento geológico profundo" situadas a profundidades de entre 500 y 1000 m. En la actualidad no se ha construido ninguna de estas instalaciones y la solución adoptada en la mayoría de los países ha sido en primer lugar el aumento de la capacidad de almacenamiento de las piscinas existentes en las centrales nucleares. Posteriormente se ha optado, de manera provisional, por la construcción de instalaciones de almacenamiento temporal adicionales dentro o fuera del emplazamiento de las centrales nucleares.	El único gas producido en la reacción de fusión es el helio. Este es un gas inerte y sin riesgo que se encuentra presente en la atmósfera de la Tierra. Una central de fusión de 1 Gw producirá sólo 250 kg de helio cada año. En cuanto al tritio cuando se desintegra emite un electrón (radiación β) de muy baja energía: ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$ Debido a su baja energía, el electrón no puede atravesar la piel. En el aire, los electrones pueden viajar sólo unos pocos milímetros y ni siquiera pueden atravesar una hoja de papel. El tritio no supone, por tanto, un riesgo de irradiación externa. Sin embargo, el tritio sí que representa una amenaza y puede provocar daños si entra en el cuerpo. Durante el proceso de fusión, la cámara que contiene el plasma y los componentes en su interior son irradiados por los neutrones que se producen en las reacciones de fusión. Esto hace que los materiales se vuelvan radiactivos. Se está investigando para obtener materiales de baja activación con el fin de que la radiactividad tenga una vida relativamente corta. Con los materiales estudiados hasta hoy, pasados unos 100 años desde la

		parada de la planta, los materiales podrán ser retirados de ella y “posiblemente” reciclados.
--	--	---

2.3. EL PROBLEMA DE LA FUSIÓN ¿CÓMO ALMACENAR LA MATERIA A MILLONES DE GRADOS?

Para producir la fusión nuclear hace falta calentar mucho la materia. Mucho significa alcanzar temperaturas de más de cien millones de grados centígrados.



A.6 ¿Hay algún material que pueda soportar las temperaturas necesarias para la fusión nuclear? (Ayúdate del siguiente enlace en el que aparecen las temperaturas de fusión de cada uno de los elementos)

Comentario:

Con esta actividad se pretende que el alumno descubra que no hay ningún material que resista tales temperaturas, y que por lo tanto hay que buscar otros procedimientos para poder confinar la materia en estado de plasma.



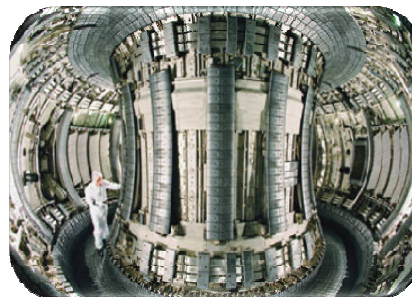
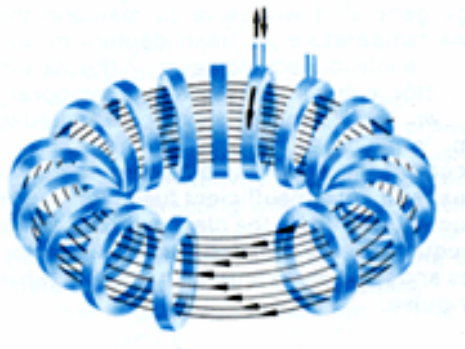
A millones de grados la materia no está ni sólida ni líquida ni gaseosa, sino en un estado que los físicos denominan **PLASMA**. A esas temperaturas, no se mantienen las redes sólidas ni los propios electrones aguantan unidos al átomo.

Hay una especie de sopa de núcleos y electrones, pero todo revuelto y moviéndose a velocidades tremendas.

Para conseguir muchas reacciones de fusión dentro del plasma es necesario confinarlo en un espacio limitado durante un tiempo suficiente. El problema es que unas partículas calentadas a millones de grados salen disparadas inmediatamente en todas direcciones, y no se las puede detener mediante paredes, ya que éstas resultarían dañadas y el plasma se enfriaría. Por suerte, al tratarse de partículas cargadas (iones), se puede conseguir que sigan unas trayectorias determinadas sometiéndolas a campos magnéticos.

Imagina que pudieras construir un “tubo magnético” por el cual se moviesen las partículas. ¿Cómo evitarías que se escapasen al llegar al extremo del tubo? La solución más sencilla sería construirlo como si fuera una gigantesca rosquilla, uniendo un extremo con el otro: así las partículas girarían indefinidamente en su interior sin llegar nunca al final. Este tipo de cuerpo geométrico se llama toro, aunque si su sección no es perfectamente circular es un toroide.

El toroide es la forma elegida para los reactores de fusión tipo Tokamak, que son los más prometedores. Pero



confinar el plasma en su interior es muy complicado, y necesita la combinación de varios campos magnéticos:

- uno helicoidal, creado por una intensa corriente eléctrica dentro del plasma
- otros provenientes de potentes imanes en el centro y alrededor del toroide

Para comprender el funcionamiento básico de estos campos magnéticos, puedes ver dos videos y una animación



CONFINAMIENTO DEL PLASMA

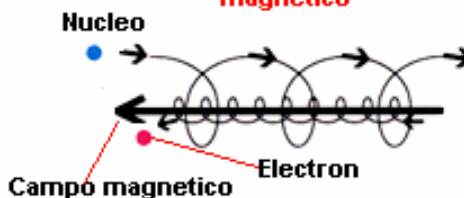
No existe una pared material que pueda contener un plasma que posea una temperatura de millones de grados, la pared sería dañada y el plasma enfriado.

Confinamiento gravitacional

Sol



Confinamiento magnético



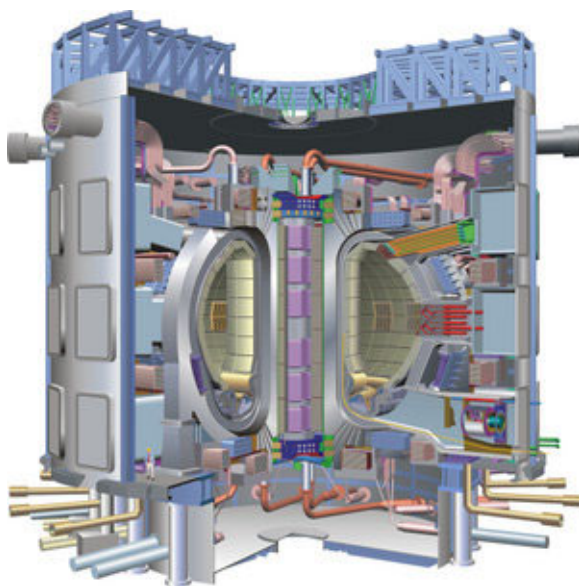
En el Sol la gravedad retiene al plasma caliente y mantiene a los núcleos muy juntos (alta densidad) para realizar la fusión, en la Tierra se arman botellas magnéticas en forma de toro, para confinar el plasma.



Eduardo Gherishman, 23.6.01

Confinamiento magnético.- Se consigue crear y mantener la reacción gracias a grandes campos magnéticos que hacen las veces de muros de contención de las cargas nucleares. Puesto que el plasma está formado por partículas cargadas, éstas deben moverse describiendo hélices a lo largo de las líneas magnéticas. Disponiendo estas líneas de manera que se cierran sobre sí mismas y estén contenidas en una región limitada del espacio, las partículas estarán confinadas durante tiempos lo suficientemente largos como para conseguir muchas reacciones de fusión. Para que se produzca la fusión hacemos girar los núcleos en sentidos contrarios y los hacemos colisionar.

3. EL PROYECTO ITER.



Teóricamente parece que ya sabemos cómo confinar el plasma en un toroide. Pero la realidad no es tan sencilla y siempre hay partículas que logran escapar, chocando contra las paredes, lo que termina enfriando el plasma y deteniendo la fusión. El futuro pasa por conocer mejor las trayectorias de las partículas bajo distintas condiciones y con distintos campos magnéticos, para poder así elegir el modelo en que un menor número de ellas consiga escapar.

Desde hace décadas se está investigando con distintos reactores experimentales. En Cadarache (Francia) se va a construir el mayor de ellos, el ITER (Reactor Termonuclear Experimental Internacional), un gran proyecto en el que participan numerosos países y con el que se espera poder demostrar que la fusión es viable como fuente de energía para nuestras sociedades. Pero si se quiere que la experimentación se centre sólo en modelos con posibilidades, es necesario hacer previamente

millones de simulaciones por ordenador para descartar los que no van a funcionar. Y aquí es donde tú puedes colaborar.

A.7 Con unos conocimientos básicos de inglés puedes intentar simular tu propio tokamak en este enlace. Como verás es muy complicado obtener un plasma adecuado, y eso que sólo se tienen en cuenta tres variables: densidad del plasma, intensidad de corriente eléctrica e intensidad de campo magnético. Imagina lo complejos que deben ser los cálculos en una simulación científica en la que intervienen muchísimos más factores.



Comentario:

Con esta activad se pretende que el alumno se familiarice con el funcionamiento de un reactor de fusión, cual es el movimiento de las partículas que constituyen el plasma y algunas de las variables que intervienen en el proceso. Asimismo es importante que vean la complejidad real del problema y lo difícil que resulta realizar una simulación científica donde intervienen tantas variables y la gran capacidad de cálculo que se necesita.

Información complementaria para el profesor:

Hace ya muchos años que se está investigando en la fusión nuclear para que ésta pueda ser una nueva fuente de energía. Ya se han construido varios reactores experimentales de fusión nuclear y se han conseguido avances pero las cosas son complicadas y hay que seguir investigando.

El futuro proyecto se llama ITER "International Thermonuclear Experimental Reactor" (Reactor Termonuclear Experimental Internacional). Es un proyecto

internacional, creado en 1.986, cuyo objetivo es construir un reactor de fusión que muestre que es posible obtener energía de la fusión nuclear de modo continuado. Es decir, ITER debe producir más energía de la necesaria para su funcionamiento, de forma segura, limpia y sostenida en el tiempo. La idea es poder demostrar que la fusión nuclear para producir electricidad es factible. El proyecto lo componen Europa, Estados Unidos, Japón, China, India Rusia y Corea. Es el segundo proyecto más caro de la Historia tras el de la Estación Espacial Internacional. ITER se construirá en Cadarache (Francia). Se espera que el reactor se comience a ensamblar en 2012 y las primeras pruebas con plasma, es decir la primera fusión de Deuterio y Tritio se produzca a finales del 2016.

La escasez energética y los problemas medioambientales han hecho posible este proyecto de colaboración internacional de tantos y tan diferentes países. El paso siguiente a ITER será DEMO, en el horizonte del 2030 aproximadamente, cuyo objetivo será la construcción del primer reactor de fusión que genere energía a precios competitivos. El paso para la construcción de reactores comerciales se daría hacia 2050.

Para saber más sobre el proyecto ITER pincha en la siguiente página (en inglés):

http://www.efda.org/usercases/students_and_educators.htm

4. SIMULAR PROCESOS POR ORDENADOR

¿Qué es eso de simular procesos? Veamos un ejemplo.

Tú quieres que te aumenten tu raquítica paga semanal. Podrías intentara cada día un argumento nuevo hasta que convencieras a tu madre... o te aborreciera. Otra manera es hacer una simulación por ordenador, un programa que simule su cerebro. Le llamaremos *Cerebrator@ 1.0* Abrimos el programa, introducimos la frase: “¿no te parece que hace mucho tiempo que mi paga está congelada?”. El programa ejecuta los cálculos y te ofrece datos del humor que tendrá tras oír esta frase.

¿Que el resultado no es el correcto? Probamos con otra frase, y luego con otra y con otra... hasta que hallemos la mejor respuesta. Hay miles de millones de frases posibles, así que nuestro ordenador podría estar años y años haciendo cálculos.

Quizás podríamos convencer a nuestros amigos para que se instalaran el programa en su ordenador y que el programa se pusiera en marcha cuando casi no usaran la potencia de cálculo del ordenador. Si consiguieras hacer esto estarías inventando el cálculo distribuido...

Pero habrías llegado tarde, porque ya está inventado.

A.8 ¿Para qué crees que puede usar la ciencia estas simulaciones? Imagina algunas posibles aplicaciones.

Comentario:

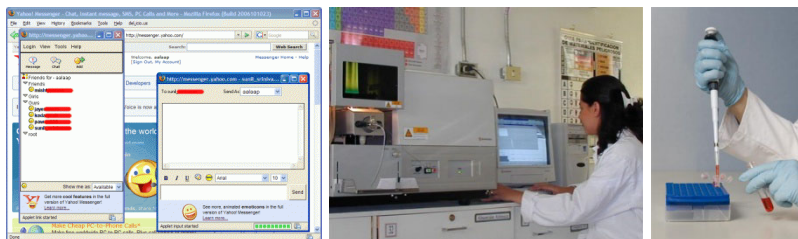
Con esta actividad se pretende que el alumno reflexione sobre las posibilidades que se abre a la ciencia, si puede contar con gran capacidad de cálculo al sumar muchísimos ordenadores, para poder simular procesos que de otra forma serían imposibles de realizar.

Aquí, en la web de la Universidad de Berkeley, puedes ver el proyecto BOINC y las investigaciones que hay en marcha.



5. DIVIDE Y VENCERÁS: la Ciencia necesita tu ordenador

¿Cuál es el intruso? ¿En cuál de estas tres imágenes no se está haciendo ciencia?



Fácil, ¿verdad? Si has contestado que la de la izquierda... otro fallo. Cuando chateas o usas el procesador de textos no utilizas casi nada de la potencia de tu ordenador. Esos tiempos son los que puedes donar a la ciencia sin que lo notes.

A.9 El proceso es el siguiente. Si necesitamos hacer, pongamos por caso, 1000 millones de simulaciones y cada una le cuesta al ordenador, pongamos por caso, 7 minutos... ¿cuántos años son?

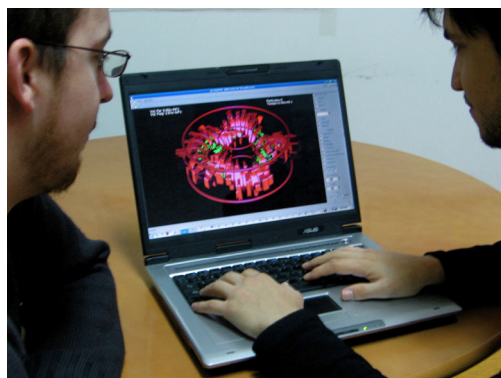
Comentario:

Se pretende con esta actividad que el alumno vea que la capacidad de cálculo de un ordenador es muy limitada y que se necesita unir la capacidad de muchísimos ordenadores si queremos que el problema al que nos enfrentemos tenga solución.

El proceso sería algo así:

Un gran ordenador, el del BIFI, es el que se encarga de repartir el trabajo entre los voluntarios, se encarga de enviar y recoger el trabajo.

Si tú quieres colaborar, te instalarás un programita, te conectarás a internet y se descargará la primera tarea, tu primer cálculo. Una vez que esté finalizado el cálculo, el propio programa enviará los resultados al BIFI y te bajarás el siguiente paquete. El ordenador trabajará cuando no uses casi nada de su potencia de cálculo. Cuando acabe, enviará los resultados al BIFI y te bajarás el siguiente paquete.



El ordenador trabajará cuando... y así sucesivamente.

El objetivo es conseguir no se cuántos cálculos de diferentes trayectorias de las partículas de plasma en el Tokamak, en el reactor.

Todos esos datos proporcionarán una interesantísima información para poder diseñar un reactor de fusión.

Si se obtienen resultados interesantes que ayuden a diseñar el reactor, cuando seas mayor y vayan tus nietos a visitarte a la residencia, podrás decirles orgulloso: "Veis el reactor de fusión que hay a las afueras de la ciudad; pues vuestro abuelo colaboró en los cálculos previos para el diseño". Quizás no te crean o quizás tengan ellos en sus ordenadores programitas de cálculo distribuido como éste y te miren con una sonrisa tipo "¿te estás quedando con nosotros?"

6. PARA SABER MÁS

- Más simuladores de fisión:

<http://library.thinkquest.org/17940/texts/java/Reaction.html>

<http://library.thinkquest.org/17940/texts/fission/fission.html>

- En este enlace puedes leer sobre fusión nuclear con más o menos profundidad.

http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/sun/Solar_interior/Nuclear_Reactions/Fusion/fusion_reactions.sp.html

- Simulación de las líneas del campo magnético creado por un imán.

http://www.walter-fendt.de/ph11s/mfbar_s.htm

- Simulación del campo magnético generado por una corriente eléctrica continua que circula por un hilo rectilíneo indefinido.

http://www.walter-fendt.de/ph11s/mfwire_s.htm

- Simulación del movimiento de una carga en el seno de un campo magnético.

<http://www.surendranath.org/Applets/Electricity/MovChgMag/MovChgMagApplet.html>

- Simulación de aceleración de las cargas en un ciclotrón.

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=33.0>

<http://www.maloka.org/f2000/applets/cyclotron.html>

- En esta página se puede estudiar el funcionamiento del Sol.

<http://www.galeon.com/casanchi/ast/sol2.htm#seis>

- Simulación del proceso de fusión en el Sol.

<http://www.astro.ubc.ca/~scharein/a311/Sim.html>