

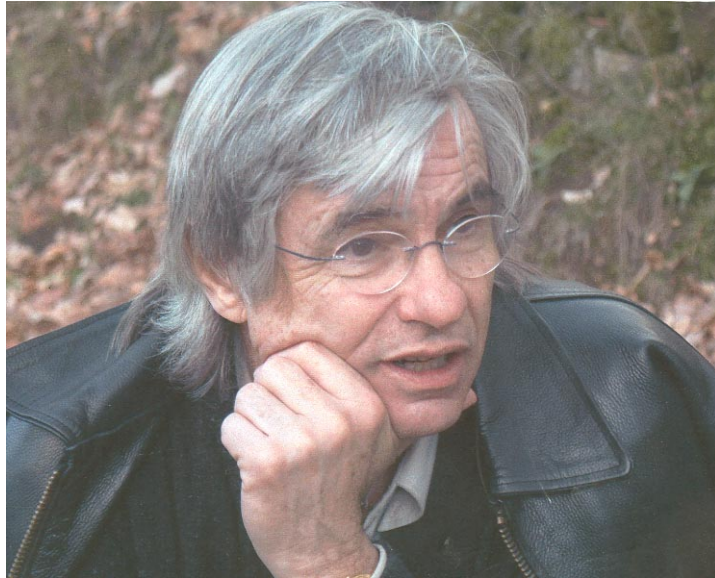
**ANSELME  
LANTURLU**

# ENERGÉTICAMENTE VUESTRO

Jean-Pierre Petit



Traducción:  
Juan Carlos Anduckia



El autor

Jean-Pierre Petit, 68 años, retirado, en el plano científico aún se mantiene activo en numerosos campos: la mecánica de fluidos, la magnetohidrodinámica, la astrofísica, la cosmología teórica, la física teórica, la geometría y la informática. Ha escrito 32 libros, algunos de ellos traducidos a 8 idiomas. Si desea saber más puede visitar su sitio en Internet:

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

El presente archivo pdf puede ser copiado o distribuido sin restricciones. Puede ser incluido en su sitio web y utilizado con fines pedagógicos.

La finalidad es que el mayor número posible de personas tenga acceso a él.



El traductor

Juan Carlos Anduckia, 36 años, reside actualmente en Cartagena, Colombia. Es traductor independiente y mantiene interés en temas relacionados con la actividad científica y su divulgación.



# PRÓLOGO

Había una vez un mundo en el que los humanos no conocían el fuego y cocinaban sus alimentos exponiéndolos al Sol.



Sería bueno si encontráramos otra forma...

Cuando llegaba la noche, regresaban a sus cavernas con pesadas piedras que habían acumulado el calor del Sol.



...Uff...

¿Duermes?

No, las piedras están muy frías...



Qué frío...

Cuando llegue el invierno va a ser peor. La mitad de la tribu ya está resfriada

¿Qué estás haciendo?

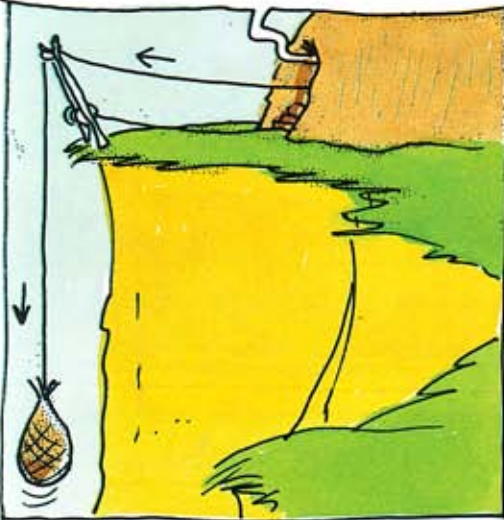
Busco una forma de ALMACENAR ENERGÍA



Es realmente trabajoso traer rápido esas piedras cada tarde



Así que he inventado un sistema que hala la plataforma cargada de piedras calientes hacia el interior de la caverna



En el día, vuelvo a subir la carga



O sea que almacenas ENERGÍA POTENCIAL



Es mas cómodo. ¿Pero por qué es necesario que sigamos suministrando nosotros el TRABAJO?

¿Y ahora qué haces, Anselmo?



Perfecciono mi método de ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

¡Listo!



¿Quieres decir que has almacenado energía en el INTERIOR de esa caja?



El sistema que he inventado representa un almacenamiento de ENERGÍA INTERNA



Energía que puedo TRANSPORTAR y REUTILIZAR a voluntad



AAAAHHH





# ENERGÍA QUÍMICA

¡Vamos, Sofia!  
¡Fue simplemente un  
ALMACENAMIENTO DE  
ENERGÍA INTERNA!



Voy a arreglar un poco la caverna.  
Veamos: salitre, azufre...

...y estos carbones de  
madera, restos del incendio  
de la floresta provocado  
por el dios Trueno



¡Todo tiene que quedar en  
orden, si no Sofia me  
mata!



...Y dale con estas  
grandes piedras





¡Lo tengo, Sofía!  
Hay ENERGÍA en este POLVO NEGRO  
que acabo de inventar



¡Vamos a poder utilizarlo para  
cocinar nuestros alimentos y  
para calentarnos!



Te voy a mostrar...

Si quieres mi opinión, es un buen  
invento, pero no es muy cómodo  
para utilizar



¿Mejor desistir...?



¿Y si mezcláramos  
ese polvo con arena?

¡¡Funciona!! ¡La arena dosifica  
la mezcla, y hace que ésta libere  
su energía más suavemente!



Y se puede controlar  
el flujo de calor

Dejaremos de estar congelados  
por el frío este invierno...





Eso nos dá una gran cantidad de calor, pero no nos deja respirar



¡Podríamos asfixiarnos, más bien!



Eso es. Almacenando el humo producido, la cosa mejora

El humo se condensa en polvo, del que me puedo deshacer fácilmente



Muy bien. Pero continúa siendo poco cómodo...



Ni modo de arrojar todo esto al agua. Contaminaría las aguas del lago

# ENERGÍA NUCLEAR

Vaya, qué extraño. El agua de esa fuente está hirviendo...



¿De dónde viene la energía?

¿Habrá diablillos bajo la superficie?





¿¡...Cajas, con diablillos en su interior!?



Cuenta una leyenda que, antiguamente, la ENERGÍA fue encerrada en los NÚCLEOS de ciertos ÁTOMOS como el URANIO. Dichos átomos fueron fabricados en los soles, en sus calderas infernales, y luego expulsados hasta llegar y quedar prisioneros en la masa de la Tierra, en la época de su formación

Estos átomos no son cajas sólidas y selladas. De cuando en cuando, una de sus tapas se abre...



La leyenda también dice que al FINAL DEL TIEMPO, todos los diablillos habrán salido de sus cajas y el Universo ya no tendrá más energía de este tipo



Y se desinflará cual vejiga de puerco

Pero eso será dentro de mucho, mucho tiempo...



Bueno, por lo menos...

Hay que agradecer a los dioses el haber sido precavidos y habernos obsequiado con tanta energía a nuestro lado

¿Pero cuánto tiempo permanecen los diablillos dentro de sus cajas? ¿Durante cuánto tiempo conservan estos NÚCLEOS su ENERGÍA?



Hijo mío, eso depende de las cajas y de los núcleos de los átomos



# PERIODO DE UN ELEMENTO RADIOACTIVO

Si se considera un ensamble de cajas que contienen diablillos, al cabo de un tiempo  $T$ , que llamamos VIDA MEDIA o PERIODO, la mitad de las cajas habrán liberado sus diablillos. En un lapso de tiempo igual, la mitad de las cajas restantes habrá hecho lo mismo, y así sucesivamente. Esta vida media puede ser muy variable: desde miles de millones de años hasta fracciones de segundo



Si no existieran todas esas cajas con sus diablillos, todos esos núcleos cargados de energía en el centro de la Tierra, tendríamos que soportar mucho más frío en invierno

Sería estupendo si pudiera hallar todos esos átomos cargados de energía



¡Bastaría con reunir los suficientes en una botella para calentarme todo el invierno!

Ten cuidado, Anselmo. Los resortes de la ENERGÍA NUCLEAR son infinitamente más poderosos que los de la ENERGÍA QUÍMICA. CENTENARES DE MILES DE VECES MÁS PODEROSOS



Los diablillos emitidos por los núcleos radioactivos saltan con gran violencia



Veamos un poco si lo que me dice el señor Albert es cierto. Las cerraduras de estas cajas se deslizarán progresivamente, y éstas se abrirán una a una



Pongo las cajas unas al lado de las otras

Bien, al cabo del tiempo de vida media, la mitad de las cajas está vacía



El señor Albert tenía razón

Después de un segundo lapso de tiempo idéntico, la mitad de las cajas restantes ha expulsado igualmente su diablillo



Con esto,  $\frac{3}{4}$  de las cajas se han vaciado...

Y así sucesivamente



El fenómeno se atenúa con el tiempo. El ritmo de apertura de las cajas tiende a disminuir

La Tierra debió ser mucho más radioactiva en sus comienzos

Y luego se calmó

# CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA

¿Pero dónde está el CALOR en todo esto?

¿Y si metiéramos eso en una olla?

Ensayemos...

¡Funciona! La ENERGÍA emitida por los ÁTOMOS RADIOACTIVOS es absorbida por el agua y CONVERTIDA EN CALOR

Pero esta RADIOACTIVIDAD NATURAL no libera mucha ENERGÍA

En otras palabras, hace falta una gran cantidad de materia radioactiva para poderse calentar



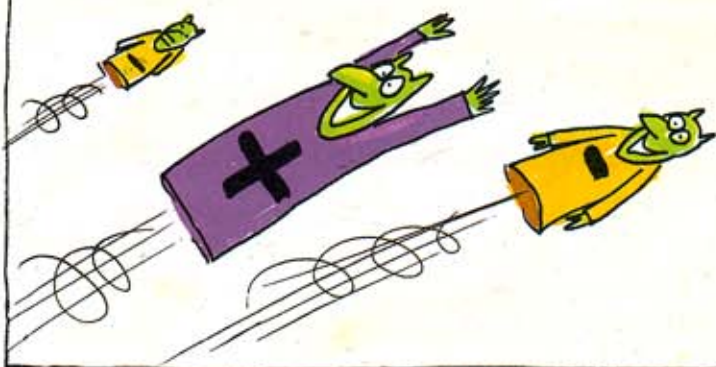
# LAS DIFERENTES ESPECIES DE DIABLOS

En concreto, hay más de una especie de diablos. Lo primero que los núcleos pueden emitir es **RADIACIÓN X o  $\gamma$** : una especie de luz invisible



Se los puede absorber, por ejemplo, mediante una barrera de plomo suficientemente gruesa, convirtiendo su energía en calor

Otros tipos de diablos son aquellos que poseen una **CARGA ELÉCTRICA**

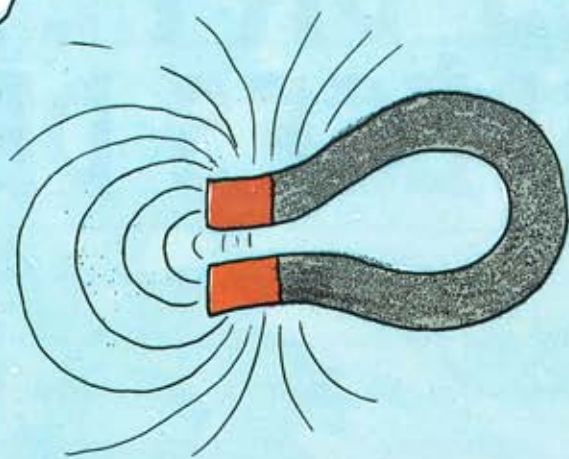


¿Se mueven rápido?

Eso depende de su **ENERGÍA**. Su velocidad puede llegar a alcanzar decenas de miles de kilómetros por segundo

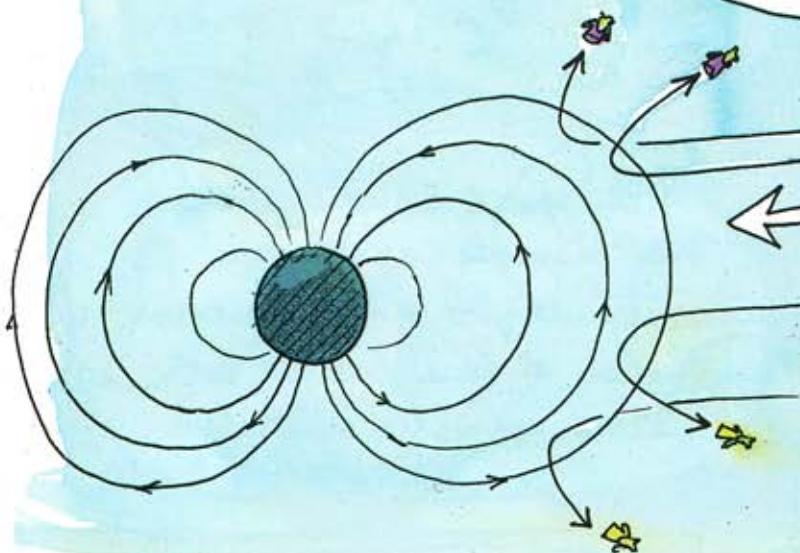


A ese paso, deben poder pasar a través de cualquier cosa...



No. Figúrate que rebotan en presencia de un CAMPO MAGNÉTICO

De la misma forma, las partículas cargadas emitidas por el Sol (viento solar) sufren reflexión en el campo magnético terrestre (\*)



Entonces la Tierra está PROTEGIDA por su campo magnético

Oh, sí. Si la Tierra no tuviera esta barrera magnética natural, las partículas cargadas emitidas por el Sol provocarían serios daños a los tejidos vivos



La tercera especie de diablos es la más ruin: los NEUTRONES. Estos se mueven a velocidades que pueden alcanzar los 20.000 km/s y dado que no tienen CARGA ELÉCTRICA, no pueden ser detenidos por una barrera magnética



Todos estos diablos pueden causar daños irreversibles a los tejidos vivos.  
¡Es preciso protegerse!

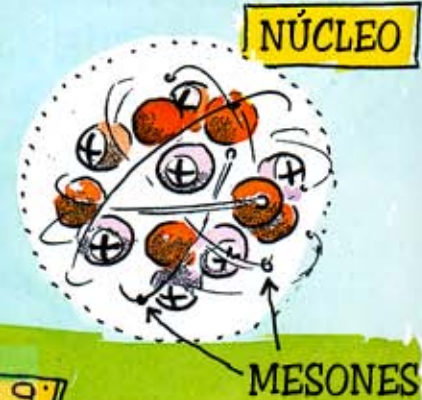
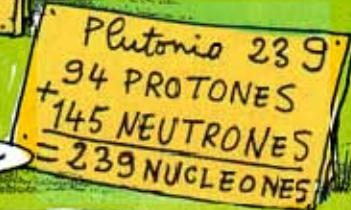
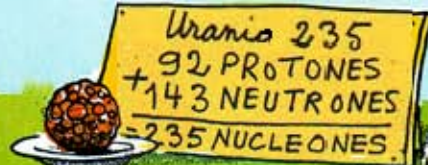
Los neutrones y las partículas cargadas eléctricamente tienen masa y transportan una energía cinética  $\frac{1}{2} m V^2$  que puede ser absorbida por un sólido, un líquido o un gas, y convertida en calor. Me gustaría saber un poco más sobre los tales núcleos





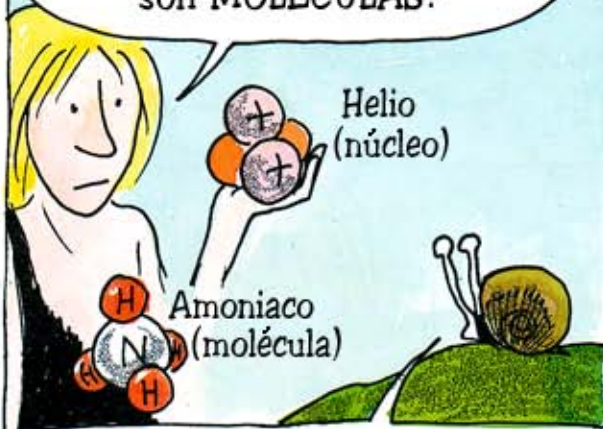
# ESTABILIDAD DE LOS NÚCLEOS

Para fabricar los NÚCLEOS se necesitan NEUTRONES, PROTONES y unas partículas llamadas MESONES

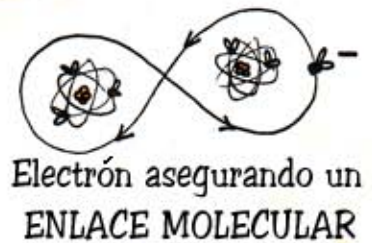


Los MESONES en los NÚCLEOS juegan un poco el papel de los ELECTRONES en las MOLÉCULAS: aseguran la COHESIÓN

¿Entonces los NÚCLEOS son MOLÉCULAS?



Los NÚCLEOS son ensamblajes de NUCLEONES. Las MOLÉCULAS son ensamblajes de NÚCLEOS. Nosotros mismos somos ensamblajes de moléculas



La QUÍMICA se ocupa de los arreglos de las MOLÉCULAS



La FÍSICA NUCLEAR estudia los arreglos de los NÚCLEOS



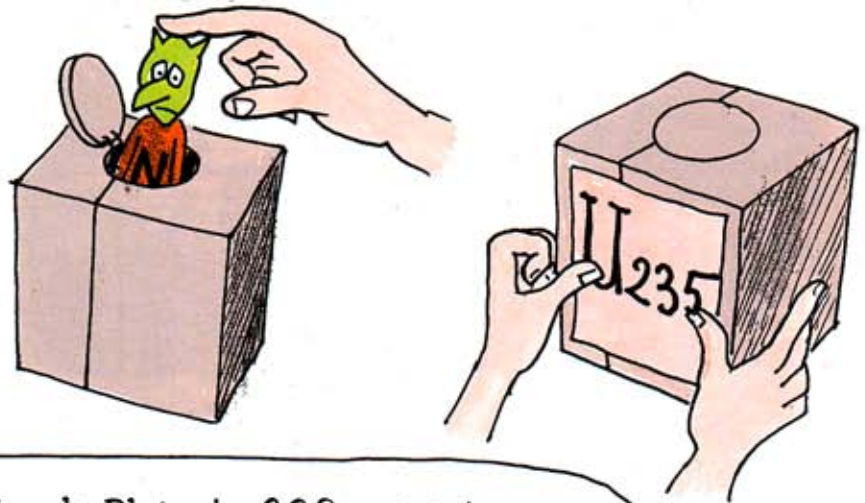
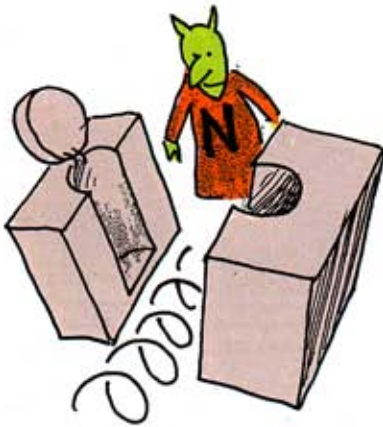
Un núcleo considerado como **INESTABLE** es un núcleo de breve duración

Pero algunos neutrones, al actuar sobre ciertos núcleos (ellos mismos relativamente estables al estar dotados de vidas de larga duración), pueden desestabilizarlos completamente y causar su ruptura, su **FISIÓN**

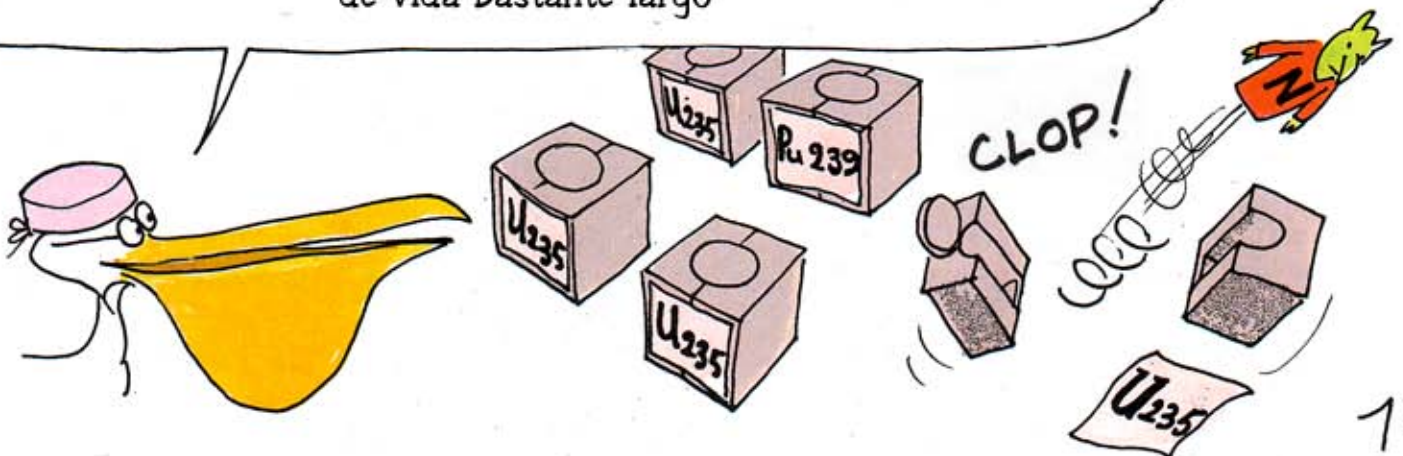
Es el caso del **URANIO 235** y del **PLUTONIO 239**

# LA FISIÓN

Los núcleos pueden representarse como un ensamblaje de dos bloques de masas separables y un neutrón.

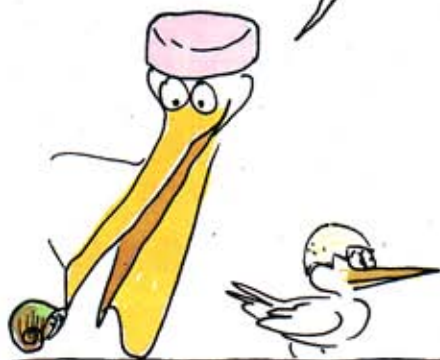


Los núcleos de Uranio 235 y de Plutonio 239 presentan cierto tipo de radioactividad natural, asociada con un periodo de vida bastante largo





Aquí tienes una reacción de FISIÓN. El encuentro con un neutrón desestabiliza el núcleo de Plutonio, que se rompe. El resultado de la reacción es la reemisión de 2 neutrones (\*)

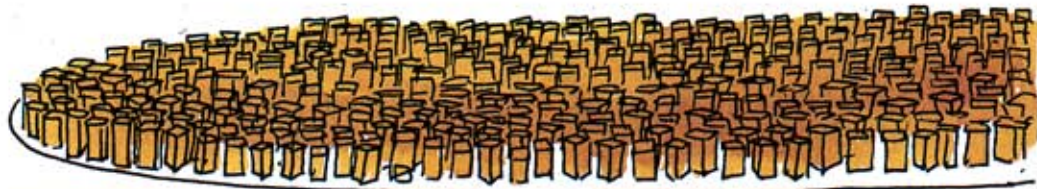


Voy a estudiar eso más de cerca



Anselmo ha reunido una gran cantidad de cajas con diablillos en su interior, dentro de un círculo de radio R

Uranio 235 y Plutonio 239



Ahí van los diablos de ENERGÍA saliendo de sus cajas



Que en este caso son NEUTRONES

¡Ey, mira este caso!



Este diablillo, al golpear una caja vecina, ha desencadenado el mecanismo de ruptura de aquella y la liberación del neutrón-diablillo dentro de ella

18 (\*) Esta imagen es esquemática. De hecho, el neutrón incidente es efectivamente absorbido por el núcleo fisionable (el U235 se vuelve U236 y el Pu239 se vuelve Pu240). Son estos nuevos objetos, bastante inestables, los que se rompen casi de inmediato.



# REACCIONES EN CADENA



¡Estos dos diablos produjeron a su vez la apertura de otras dos cajas!



Que, a su vez...



Sofía, vámonos de aquí...



¡Caray, mira esto!

Si las cajas hubieran sido átomos de verdad, toda la ENERGÍA habría sido liberada en esta REACCIÓN EN CADENA en una fracción de segundo





# CONDICIONES CRÍTICAS

¿Cómo hacer para evitar una catástrofe así?

Fácil: en el momento en que un diablillo es expulsado, parte en una dirección aleatoria y alcanza una cierta distancia. Si el área de repartición de las cajas es pequeña, el diablillo no logrará abrir ninguna otra caja



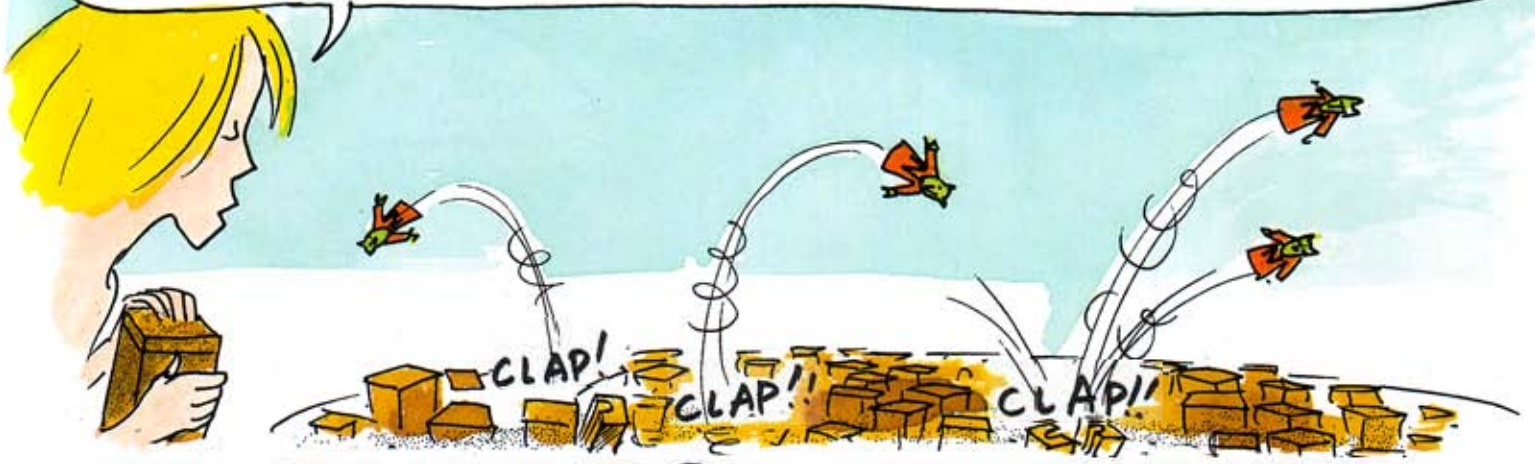
Pero es necesario que la concentración de las cajas no exceda un cierto valor crítico (\*)

Más allá de este valor, se da la REACCIÓN EN CADENA

(\*) Más correctamente, a este valor se le llama MASA CRÍTICA.



De hecho, entre la tasa de emisión débil de la RADIOACTIVIDAD NATURAL, y la REACCIÓN EN CADENA, hay un término medio. Jugando con la CONCENTRACIÓN, aunque los detalles sean bastante peliagudos, se puede fijar el número de diablillos que son emitidos por segundo, es decir el flujo de energía liberada



# EL REACTOR NUCLEAR

¿No habría un medio para controlar mejor el proceso?

Podría haberlo introduciendo algo que absorbiera los diablos, la energía



Digamos papel matamoscas





Descolgando un poco más tus bandas adhesivas puedes llegar prácticamente a detener tu reactor

Todos los diablillos resultan capturados de esta manera y prácticamente desaparecen las reacciones en cadena

Sólo queda la emisión de la energía "normal" de estos cuerpos radioactivos, la cual es considerablemente más débil

Bien. Para hacer un REACTOR NUCLEAR basta con ensamblar suficientes núcleos pesados de URANIO 235 o PLUTONIO 239. Se puede controlar la actividad del reactor con un cuerpo capaz de absorber los diablillos, que aquí están representados por los neutrones de FISIÓN

En concreto, los minerales de Uranio contienen 0,7% de Uranio 235 FISIONABLE. El resto, esto es, el Uranio 238, no es fisionable

Y será el CADMIO el que absorba los NEUTRONES

Al parecer, el Plutonio 239 no existe en la naturaleza. ¿Pero entonces cómo es que se lo puede usar en un reactor?

Eeh... sí, tienes razón...

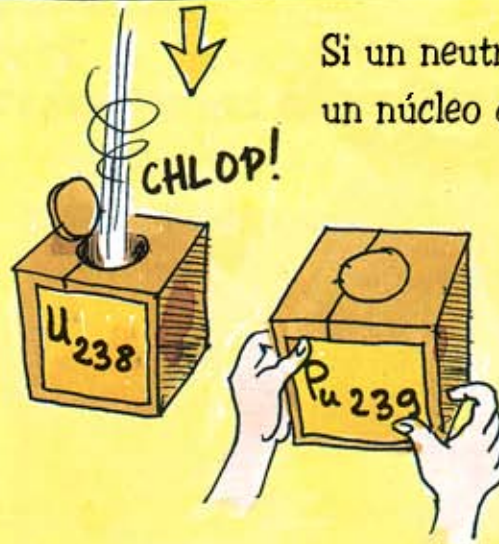


# MATERIAL FÉRTIL

El Uranio 238 puede también él ser considerado como un ensamblaje de dos elementos. Quedaría un lugar vacante para un neutrón



Si un neutrón se aloja en un núcleo de Uranio 238, fértil



se convertirá en Plutonio 239, que es FISIONABLE.

Dicho de otra forma, cuando un reactor de Uranio está en funcionamiento, contiene una mezcla de material FISIONABLE y de material FÉRTIL. A partir del material FÉRTIL se fabrica, entonces, una cierta cantidad de materia FISIONABLE



¿Qué quiere decir una cierta cantidad?

Todo depende del modo de funcionamiento del reactor. Al comienzo, los NEUTRONES DE FISIÓN son emitidos en todas las direcciones, a unos 20.000 km/s



¡IIIJAA!





# REACTORES DE NEUTRONES RÁPIDOS

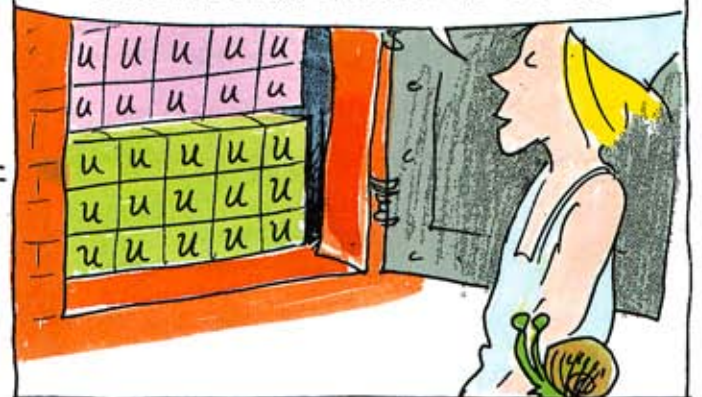
Los NEUTRONES RÁPIDOS interactúan bien con el U238, fértil, y crean Pu239, fisionable, a una tasa aceptable

¿Qué haces?



Estoy cargando mi reactor con un mineral rico en Uranio 235 (Uranio enriquecido)

Enseguida coloco una COBERTURA FÉRTIL de U238



Los NEUTRONES RÁPIDOS se mueven a 20.000 km/s en el CORAZÓN del REACTOR. Si los comparamos con moléculas de un gas, éste estaría a 16 mil millones de grados centígrados

TRES AÑOS DESPUÉS...

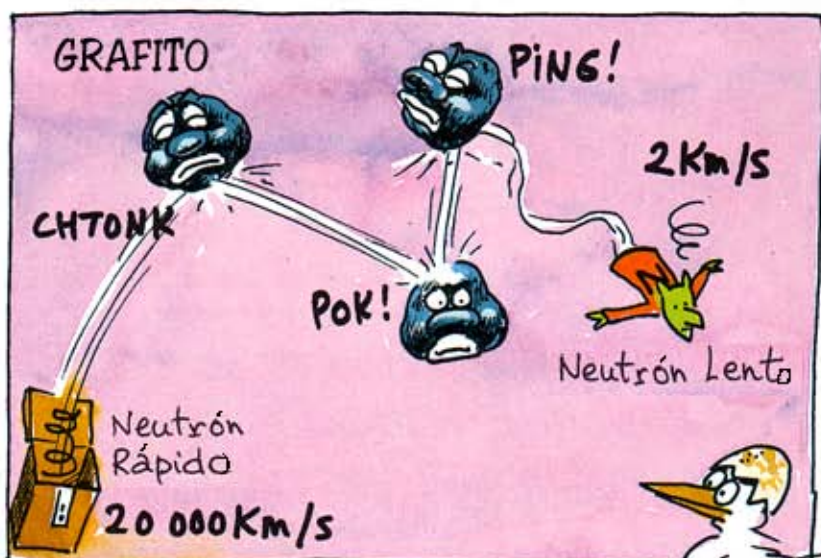
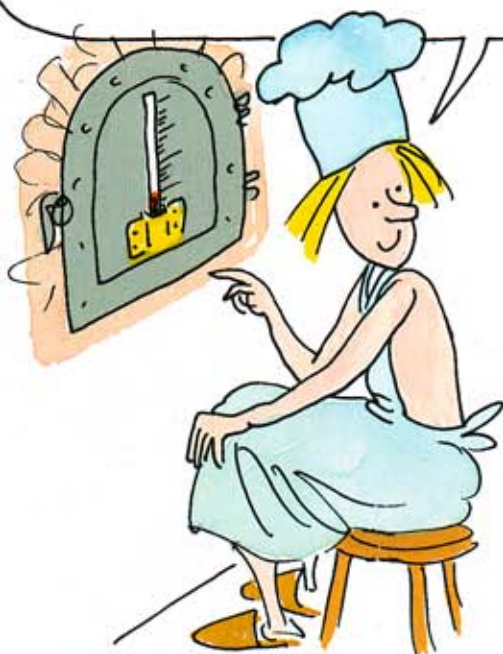
¡Oh, mira! Anselmo ha fabricado Pu239 fisionable sin consumir el U235. Es un SUPERGENERADOR

Es normal, dado que cada fisión pone en juego DOS neutrones rápidos, que permiten transformar 2 U238 en Pu239

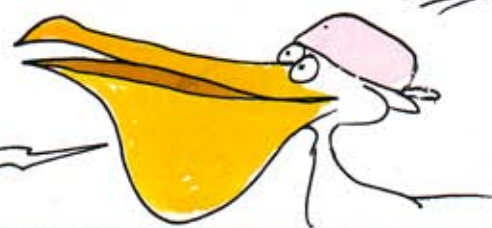


# REACTORES DE NEUTRONES LENTOS

Con el CADMIO puedo absorber los neutrones y regular así el nivel de actividad del reactor (o detenerlo completamente). Pero con GRAFITO o con AGUA PESADA, conocidos como MODERADORES, puedo FRENAR los neutrones sin absorberlos



Se puede así disminuir la VELOCIDAD DE AGITACIÓN TÉRMICA de los neutrones a 2 km/s. Este gas frío de neutrones está a la misma temperatura del reactor



Así se fabrica también algo de Pu239, pero mucho menos que en un reactor de neutrones rápidos

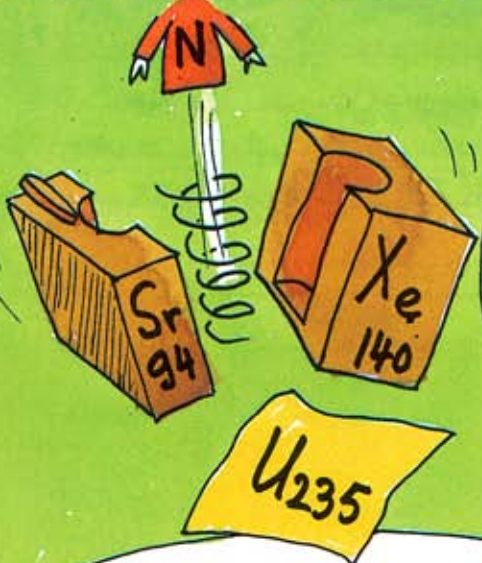
No hay una diferencia neta entre estos dos tipos de reactores. También existen reactores de neutrones "intermedios" que están a mitad de camino entre unos y otros



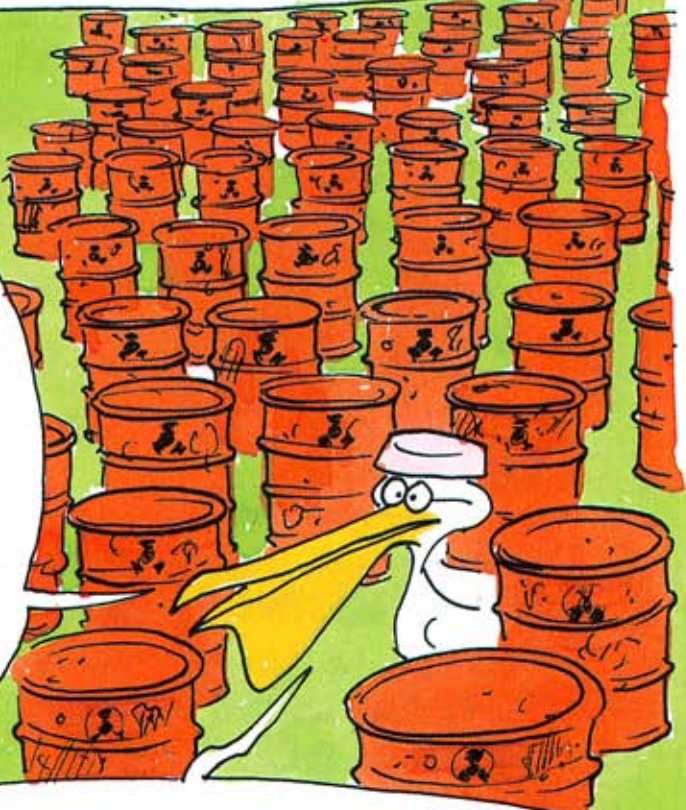


# DESECHOS RADIOACTIVOS

## RADIOACTIVIDAD INDUCIDA



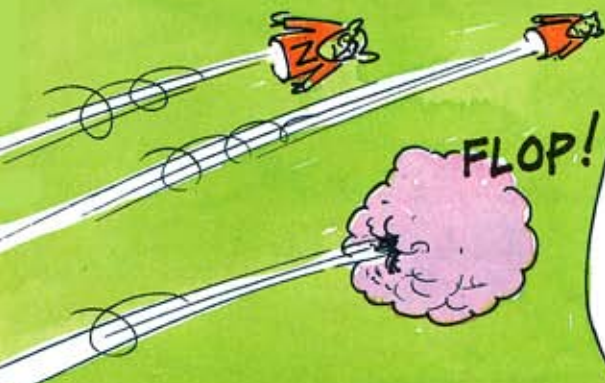
Los núcleos de U235 y de Pu239 pueden escindirse en dos fragmentos en un gran número de formas diferentes. Aquí hay un ejemplo en el que el Uranio 235 se escinde en Estroncio 94 y en Xenón 140, ambos radioactivos. Noten que  $94 + 140 + 1 = 235$



Todo eso es bastante molesto. Muchos de los PRODUCTOS DE FISIÓN tienen larga vida y son radiactivos durante mucho tiempo.

El ESTRONCIO se fija en los huesos y el YODO en la tiroides.

El Plutonio también es muy peligroso. Todo esto provoca CÁNCERES y LEUCEMIAS



Los neutrones de fisión también pueden ser absorbidos por los átomos apacibles que forman la estructura del reactor, transformándolos en peligrosos e inestables, por tanto radioactivos también ellos, y que van a engrosar la masa de desechos



# RADIOELEMENTOS SOBRE MEDIDA



Un reactor produce, entonces, desechos inestables radioactivos de diferentes periodos

No. Estos núcleos son susceptibles de perder masa y emitir núcleos de Helio, electrones o antielectrones (\*)

¿Quieres decir que estos núcleos son susceptibles a su vez de escindirse?

Mira, allí va Anselmo transportando los desechos

CLAP!

Se pueden fabricar radioelementos de periodos diferentes, núcleos radioactivos "sobre medida", colocando ciertos elementos en el reactor y sometiéndolos al bombardeo de los diablillos. Se obtiene así una radioactividad denominada **ARTIFICIAL**

I am a poor lonesome scientist

Ga 68. Periodo: 1 hora.

(\*) Radioactividades "alfa" o "beta".



Los RADIOELEMENTOS ARTIFICIALES fueron descubiertos en los años 1930 por FRÉDERIC e IRÈNE JOLIOT-CURIE; este descubrimiento condujo, años más tarde, al de la FISIÓN

¡Miren! Anselmo ha desaparecido, pero podemos LOCALIZARLO por los diablillos que son emitidos por su cargamento



Iridio 113. Periodo: 4 días

CLAP!

¡Tengo una idea!

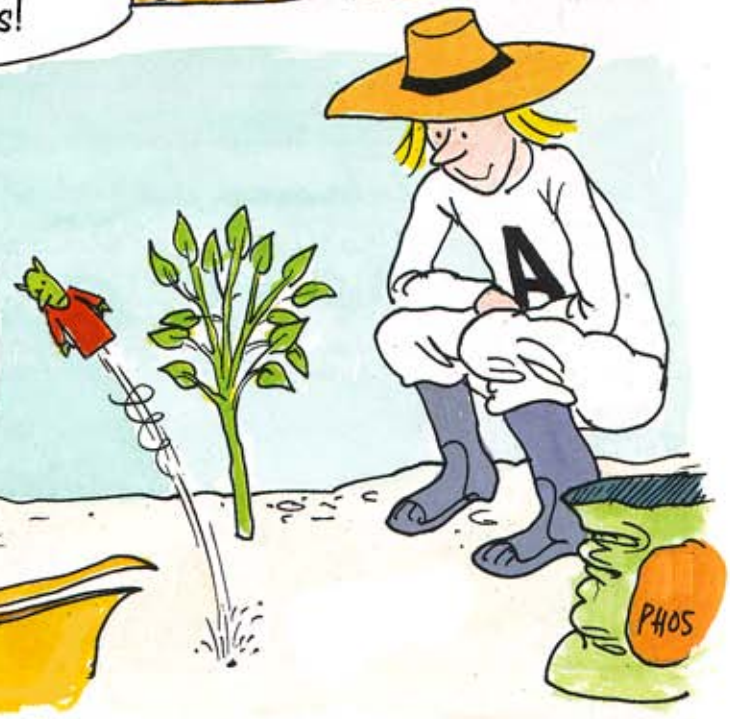
Detectando esta emisión de partículas, utilizando la RADIOACTIVIDAD ARTIFICIAL, podemos seguirle la pista a los núcleos

Podemos incluso llegar a fijar ciertos núcleos, isótopos radioactivos, en las moléculas biológicas (MARCACIÓN), y esto nos permitirá seguir su migración en los tejidos



¡Ey, hay un inestable peligroso entre nosotros!

Existen muchas aplicaciones pacíficas de la radioactividad artificial. Se puede, por ejemplo, estudiar la migración de los abonos en los suelos mediante la inserción en los fosfatos de un isótopo radioactivo del fósforo



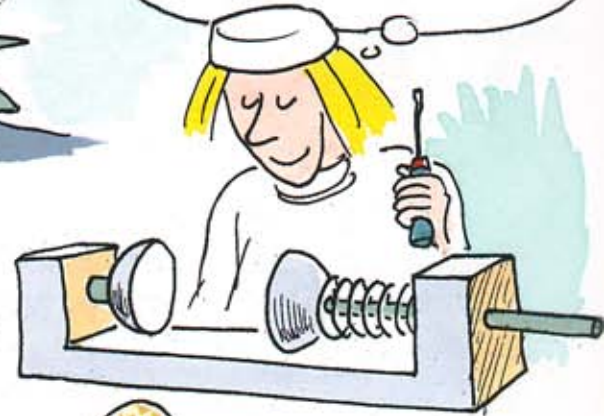


# LAS BOMBAS A



La física nuclear ha permitido que la ciencia de los fuegos artificiales progrese considerablemente. Al reunir brutalmente dos masas de material fisionable ( $U235$  o  $Pu239$ ) con la ayuda de un explosivo, se crean las condiciones críticas y se provoca una fuerte reacción en cadena, así como innegables efectos de carácter estético

Veamos. Al reunir estas estas dos masas, obtengo la MASA CRÍTICA



Un gran número de diablillos de todas las especies son emitidos y los desechos radioactivos son arrastrados hacia la alta atmósfera por el ascenso debido al intenso calor liberado. Lo que permite que la gente pueda admirar el espectáculo



¡Ya casi, ya casi...!

Si quieren entrar al club de los FUEGOS ARTIFICIALES, van a necesitar un material fisionable en estado puro (100% de  $U235$  o  $Pu239$ ). Tienen dos posibilidades: o refinar el Uranio natural, o acercarse al reactor más cercano a ustedes, recogiendo todo el  $Pu239$  producido en cada ciclo de funcionamiento





# LA FUSIÓN



Entonces el Sol es un astro que debe contener mucho Uranio. ¿Es por eso que está tan caliente?

No, Anselmo, no es por eso. En las REACCIONES QUÍMICAS se parte de una mezcla de sustancias, por ejemplo de HIDRÓGENO y de OXÍGENO

¿Pero... así no pasa... nada!?

Eso es porque la temperatura no es suficientemente alta

Calentemos la mezcla

**PAF!**

¿Qué resulta?

H<sub>2</sub>O, agua

Entonces hay reacciones que liberan gran energía sin producir sustancias tóxicas

Si algún día llegamos a utilizar aviones que vuelen con una mezcla de hidrógeno y oxígeno (en estado líquido), a su paso no dejarán más que... ¡nubes!



Tal vez podríamos hacer "arder"  
mezclas de núcleos

A condición de llevarlas a una  
muy alta temperatura

DEUTERIO

TRITIO

HELIO



Podríamos hacer reaccionar  
DEUTERIO y TRITIO, que  
son dos especies de  
HIDRÓGENO PESADO  
(el núcleo del hidrógeno  
liviano está formado por un  
solo protón P).  
Los núcleos de estos isótopos  
difieren sólo en el número de  
neutrones.  
La mezcla Deuterio-Tritio  
tiende a formar Helio

GRAN BAILE  
DIABÓLICO

Aquí hay un elemento del gas  
HIDRÓGENO PESADO, mitad  
DEUTERIO, mitad TRITIO.  
A una temperatura normal, los  
ELECTRONES giran alrededor de los  
núcleos, asegurando los enlaces  
moleculares (ligando los núcleos de  
dos en dos)



Molécula de Deuterio

Molécula de Tritio



El ritmo del baile puede volverse realmente endemoniado. Las moléculas se rompen (disociación) y los electrones-abeja orbitan alrededor de un solo núcleo

A UNOS TRES MIL GRADOS :

No hay manera de orbitar alrededor de estos núcleos, se mueven demasiado

Sí, es cosa de locos. Yo mejor me voy...

El gas caliente se convierte entonces en una sopa de núcleos y de electrones libres : un **PLASMA CALIENTE**.

¡Calor, Marcelo, calor!

¿Saben una cosa?  
Mejor de a cuatro

¿Ustedes creen...?

Sí, a esta temperatura, eso sería más ESTABLE

A partir de 150 MILLONES DE GRADOS (la TEMPERATURA DE IGNICIÓN), puede producirse cualquier cosa

Están excitados...

Siento mi cuerpo forrado

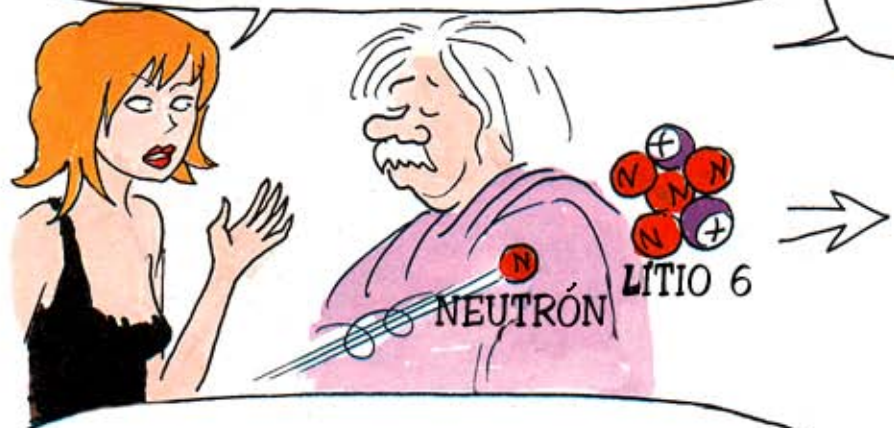
¡Ey, esperen!  
 $2+3 = 5$ , y el Helio tiene cuatro nucleones, ¿no?





Entonces la FUSIÓN es tan polucionante como la FISIÓN, puesto que los neutrones de fusión van a transformar los átomos vecinos, volviéndolos radioactivos

Pero hacemos un esfuerzo por absorber estos neutrones con Litio 6, para producir Helio 4 y Tritio 3



En otras palabras, la envoltura de Litio 6 se comporta como un material "fértil". Esta reacción se considera provee el "carburante de la fusión", Tritio 3

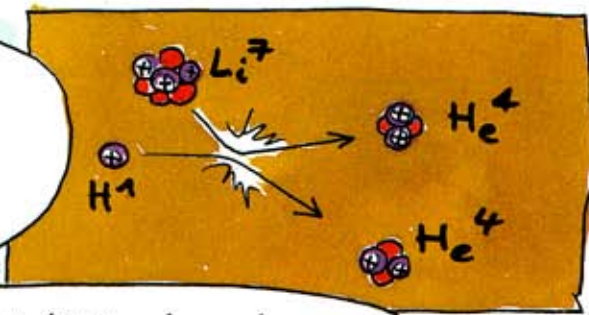
Así es. Un reactor de fusión tiene un parecido con el supergenerador. Y es una suerte pues el Tritio, inestable (\*), no existe en estado natural



(\*) Su vida media es apenas de 12 años.

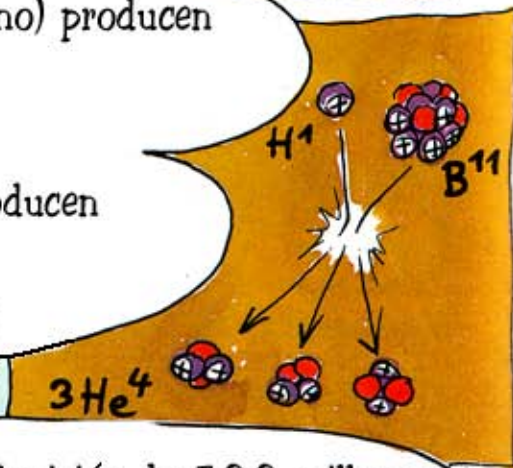


Hmm, veo que existen montones de reacciones de fusión, de rearrreglo de núcleos, que no producen neutrones libres



Litio 7 + Hidrógeno 1 (liviano) producen 2 He 4  
(7 + 1 = 2 x 4)

Boro 11 + Hidrógeno 1 producen 3 Helio 4  
(11 + 1 = 3 x 4)



La primera a una temperatura de ignición de 500 millones de grados, mientras que en la segunda rayamos casi ¡los mil millones de grados!

Sí... evidentemente... Concretamente... ¿cómo es que se fusionan los núcleos?

En el interior del Sol eso ocurre lentamente, a una temperatura de apenas unos quince millones de grados

¿Entonces el Sol no es más que una brasa?

Sí. Para obtener un "fuego" nuclear hacen falta 150 millones de grados para que se puedan producir las reacciones, digamos en un lapso de tiempo del orden de un segundo



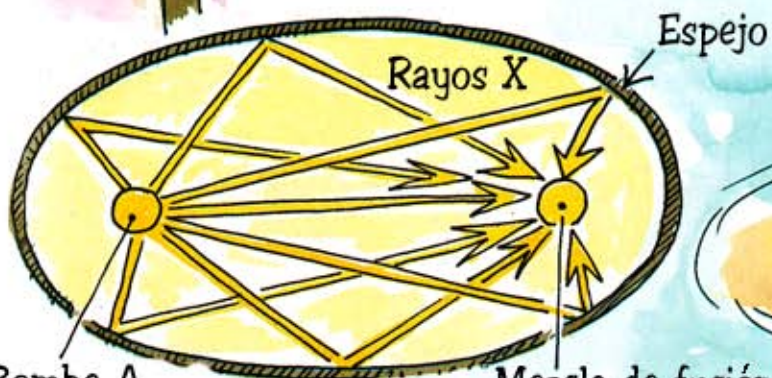
Eso es lo que intentamos hacer en las máquinas llamadas TOKAMAKS

¿Y funciona?

Bueno... hay algunos problemas

Vamos, no hay que perder el tesón

Hum, Edward Teller realizó la fusión creando una nueva bomba. Nosotros no queríamos hacer eso, pero lo hicimos. Teller tuvo una idea (\*). Además de eso, tuvo también otras buenas ideas. Cuando la bomba A explota, comienza por expulsar durante las primeras millonésimas de segundo una gran cantidad de rayos X. Teller propuso reflejar esos rayos con una especie de espejo y enfocarlos sobre un blanco hecho de una mezcla de Deuterio y Tritio



¿Y funcionó?

Claro que sí, bastante bien...

(\*) Edward Teller, investigador en el laboratorio de Los Alamos durante la Segunda Guerra, sirvió de modelo para la película "Dr. Strangelove", de S. Kubrick.



Teller fabricó inclusive el espejo  
en Uranio 238

¿Por qué  
en Uranio 238?

Claro, piénsalo. La bomba H hace explosión.  
Los neutrones de fisión atacan el material  
FÉRTIL U238 y lo transforman en Pu239,  
que se fisiona en seguida

Eso dá como resultado la terrible  
bomba de FISIÓN-FUSIÓN-FISIÓN

# LA FUSIÓN POR ENERGÍA DIRIGIDA

Intentamos realizar la FUSIÓN enfocando sobre una  
mezcla DEUTERIO-TRITIO (en estado líquido) todas las  
formas de ENERGÍA: radiaciones de láseres muy potentes,  
partículas diversas, electrones y núcleos procedentes de  
aceleradores. La POTENCIA en juego es fenomenal.  
Para encender ese fuego TERMONUCLEAR hace falta  
(durante algunas nanomilésimas de segundo) concentrar  
una potencia equivalente a la de un espejo solar con una  
superficie igual a la de Francia sobre una esfera de  
¡menos de un milímetro de diámetro!

La POTENCIA INSTANTÁNEA es enorme, pero la  
ENERGÍA global modesta: esta "cerilla" nuclear  
equivale a doscientos gramos de pólvora

¡Me  
bronceo!



# EPÍLOGO

Necesitamos de la ENERGÍA NUCLEAR.  
Pero todo esto: FISIÓN, FUSIÓN... presenta  
muchos inconvenientes

¡Además están los  
benditos desechos!

Y un montón de riesgos  
accidentales. Si un reactor se  
descontrolara, fundiría su recubrimiento  
de acero, el concreto y hasta el mismo  
suelo (el SÍNDROME CHINO (\*)) y la  
masa en fisión penetraría en éste  
último sin que se pudiera hacer nada  
para detener el proceso

¿Qué hacer?

40 años son pocos. Aún estamos en  
los comienzos de la ERA NUCLEAR

Yo creo en la posibilidad de progresos  
revolucionarios que puedan cambiar por  
completo los datos del problema, pero más  
por el lado de la FUSIÓN que de la FISIÓN

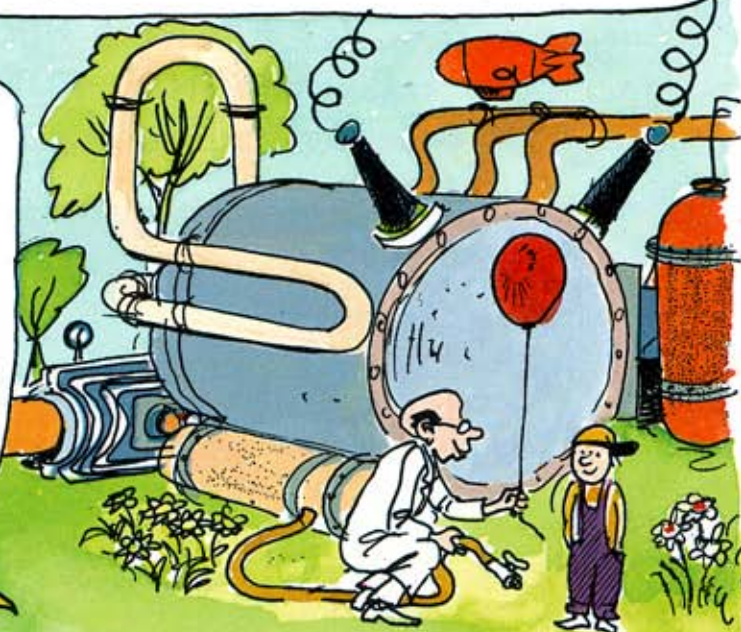
Ah...

(\*) Imagen debida a los estudiosos del átomo, en la que el reactor, atravesando la Tierra de extremo a extremo, reaparecería en... ¡China!



En las reacciones de fusión, en donde no intervienen neutrones en estado libre, teóricamente es posible **CONFINAR** los **PLASMAS DE FUSIÓN** con la ayuda de poderosos dispositivos magnéticos (las partículas cargadas "huyen" de las regiones en donde hay campos magnéticos intensos)

¡La **EDAD DE ORO!**  
La central de fusión, no contaminante (a base litio-hidrógeno o boro-hidrógeno). Único producto de la reacción: helio, con el cual es posible ¡inflar bombas para los niños!



¡Dejen que me ría, esas son fantasías!

¡Así pues, existen estufas de catálisis que permiten hacer fuego **EN LA PROPIA CASA**, con las ventanas cerradas, sin utilizar la chimenea...!

Hum, es cierto.  
Eso produce vapor de agua y gas carbónico, que son respirables en cantidad moderada



¿Podría existir un **CATALIZADOR DE FUSIÓN** que permitiera operar a una temperatura razonablemente baja?



Ya conocemos uno: el carbono



Ah, sí, a propósito, ¿cómo es que el Sol se las arregla para funcionar a base de fusión, siendo que su caldera central sólo está a 15 MILLONES de grados, es decir a una temperatura DIEZ VECES MÁS BAJA QUE LA TEMPERATURA DE IGNICIÓN, que es de 150 MILLONES DE GRADOS?

El carbono sirve como catalizador. Interviene en las etapas, bastante complejas, de la reacción y, al final de cuentas, es regenerado. Se comienza con

Carbono 12 + Hidrógeno 1,  
lo que da Nitrógeno 13. Luego éste es transformado en Nitrógeno 15, y en fin:  
Nitrógeno 15 + Hidrógeno 1 → Carbono 12 + Helio 4 (el ciclo de Bethe)

Pero esa reacción es demasiado LENTA (salvo para el Sol, que tiene todo su tiempo)

# LOS MUONES

En una mezcla gaseosa fría se pueden crear reacciones químicas complejas al bombardear sus moléculas con electrones procedentes de una simple descarga eléctrica.



Ejemplo :  
 $2\text{CH}_4$  (metano)  
 +  $\text{C}_2\text{H}_2$  (acetileno) +  $3\text{H}_2$

Se puede reemplazar, en una molécula, a los electrones por MUONES, partículas que se asemejan a grandes electrones y que acercan los núcleos unos a otros



Entonces por qué no bombardear una mezcla de fusión "tibia" con estos muones...



¿Y funciona?

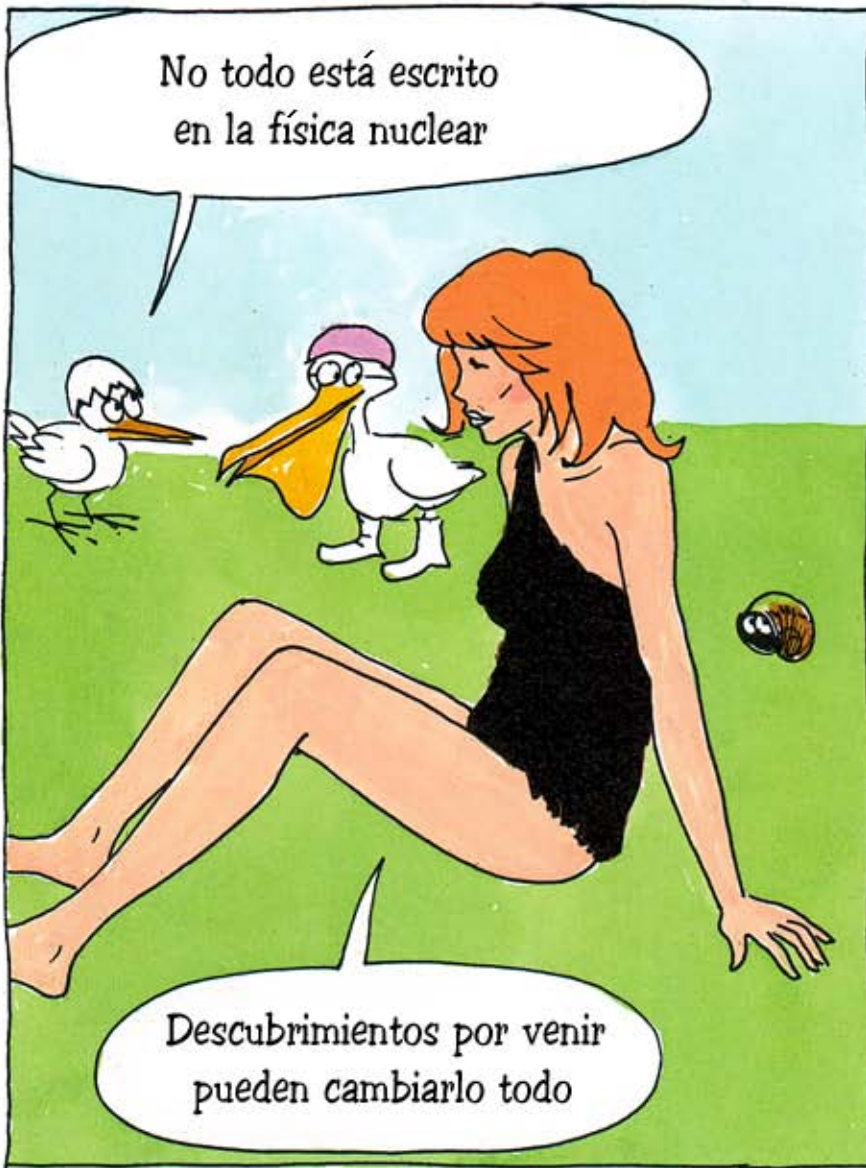
SIN PROBLEMAS, SÍ SEÑOR.

Los muones se pueden crear en un acelerador. Cuando chocan contra núcleos de deuterio y de tritio, se crea helio, y se tiene la fusión. Claro que entre éste experimento de microfísica, basado en unas pocas partículas, y una fusión industrial aprovechable, ¡hay todavía un largo camino por recorrer!

Se puede también jugar con los ESPINES de los núcleos. Es decir, hacerlos bailar vals en lugar de tango. Eso aumenta la eficacia de las colisiones















Ufff, la ciencia...

¡¿Satisfecho?!

Un planeta tan  
lindo...

**FIN**

43