2005 energía 5 (70) 16, FTE de México

Fuente de Energía

La humanidad necesita mucha energía pero, ¿Para qué y para quién?
Los trabajadores queremos energía para todos, pero también
queremos democracia y socialismo.

La energía de las estrellas

- La crisis energética convencional ya es motivo de guerras y tiende a agravarse.
- En todo el mundo necesitamos prepararnos para la transición a otras fuentes alternas.
- No basta generar energía solo para el consumismo sino para el desarrollo social.

La fusión, posible alternativa

En un futuro no muy lejano la humanidad enfrentará una severa crisis energética. Ya no será posible dilapidar los hidrocarburos, los que se tornarán muy costosos e incluso inexistentes. Las economías de los países requerirán de mucha energía. No existen muchas opciones, una fuente energética alterna está representada por la energía del sol, en su forma de *fusión termonuclear*.

A pregunta expresa a investigadores en el área, europeos y norteamericanos, incluidos los mexicanos (integrantes del FTE) respecto a cuándo será posible lograr la fusión termonuclear controlada, la respuesta ha sido la misma: antes de 50 años.

¿Será posible? Eso depende de varias cuestiones científicas y tecnológicas, económicas y políticas. Ante todo se requerirá de un gran esfuerzo de los investigadores científicos y trabajadores de la ciencia en general.

Existen dos vertientes de la energía solar, una es el aprovechamiento de la radiación solar que llega a la Tierra conocida generalmente como energía solar y otra, la producción tecnológica en la Tierra, de alguna de las reacciones que ocurren en el interior de las estrellas para su aprovechamiento en forma de energía eléctrica. Este es el caso de *la fusión termonuclear controlada*. La base de la fusión es la teoría de Einstein, según la cual la masa se puede transformar en energía.

Ya ha transcurrido más de medio siglo desde los trabajos pioneros sobre la *fusión,* iniciados en la ex URSS por el académico I. Kurchatov. Se han alcanzado importantes desarrollos con los dispositivos llamados *Tokamak* (acrónimo ruso que significa Cámara Toroidal Magnética) pero aún no se domina a esta fuente energética, que parece la única opción que se tiene a la fecha.

La fusión termonuclear representa la fuente primaria de energía en las estrellas. En el centro del Sol, y las demás estrellas, la fusión ocurre continuamente en un ambiente que requiere temperaturas de 10 a 15 millones de grados. Para el caso del Sol, este proceso ha durado ya 4 mil 500 millones de años y serán posibles otros tantos.

Durante la mayor parte de la vida estelar se producen reacciones nucleares que involucran a átomos ligeros. El combustible más utilizado es el hidrógeno del cual existen tres isótopos, a saber H^1, H^2, e H^3, conocidos como hidrógeno ligero,

hidrógeno pesado (Deuterio) e hidrógeno más pesado (Tritio). En la colisión de estos dos últimos se libera energía (cuadro 1). La dificultad está en producir la fusión. Para ello se requiere de un dispositivo que pueda calentar el combustible de Deuterio y Tritio a una temperatura suficientemente alta y confinar al plasma bastante tiempo para que se pueda liberar la energía producida por la fusión (cuadro 2 y 3).

Para llevar a cabo la fusión termonuclear controlada en las condiciones terrestres, los reactores tipo *Tokamak* representarían la alternativa viable (cuadro 5).

Un importante avance se ha logrado en el confinamiento magnético del plasma en el JET (Joint European Torus) (cuadro 6) y en el TFTR (Tokamak Fusión Test Reactor) del PPPL (Plasma Physics Princeton Laboratory) de Estados Unidos. Utilizando una mezcla combustible de D y T se ha podido liberar una energía de 10 megawatts (Mw) de una manera controlada durante un período de casi 1 segundo (1s). Tanto con el JET como con el TFTR la física del Tokamak ha tenido muchos progresos. Ahora, se han preparado las bases para el International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) (cuadro 7). También en pequeños Tokamaks como el *"Novillo"* de México (cuadro 8) se han tenido importantes logros.

Pero, la situación es compleja. Para crear las condiciones que permitan la fusión se requiere: 1) alcanzar temperaturas mayores que las del centro del Sol, 2) Lograr mantener controlada a la reacción de fusión de manera que pueda producirse suficiente energía, y 3) concretar la operación exitosa de una central eléctrica de fusión.

Se trata de lograr –en la Tierra- el control de la fuente de energía de las estrellas. Las ventajas de la fusión comparadas con otras fuentes de energía son muy importantes, ya que, 1) sería una vasta fuente de energía, 2) los combustibles son abundantes, 3) es inherentemente segura ya que el reactor pararía ante cualquier falla en el funcionamiento, 4) no produce contaminación atmosférica ni, por tanto, lluvia ácida ni efecto invernadero, 5) la radiactividad producida, debida al Tritio principalmente, decae muy rápidamente, de manera que, no se tendrían problemas con los desechos (cuadro 4 y 5).

Si se logra dominar a la tecnología de fusión termonuclear, se tendría energía disponible por lo menos para los próximos mil años. Eso es muy importante pero, persiste la pregunta que muchos trabajadores nos hacemos en el mundo: ¿Para qué y para quién?

Esto se refiere a cuestiones de fondo. El mundo necesita mucha energía, sí, ¿pero se trata únicamente de generar por generar? Esto es, ¿se trata de generar cada vez más energía sólo en atención a los requerimientos del mercado y en abstracción de consideraciones sociales? ¿El reto es únicamente pragmático y, al utilitarismo, se le puede considerar como el criterio principal de la verdad? Si esto fuera así, se trataría de un proceso sin relevancia histórica. Sin embargo no lo es, el problema de la energía se desarrolla en un contexto social e histórico determinado.

En general, el capitalismo basa su política energética actual en la quema del petróleo, agotando las reservas mundiales.

En la generación de electricidad, la principal contribución es de hidrocarburos. El uso de carbón en algunas partes es importante con todas las inconveniencias que representa. El potencial hidroeléctrico está presente únicamente en ciertos países. Las demás fuentes contribuyen poco. Como el consumo se incrementa constantemente es evidente que se requieren nuevas y vastas opciones, como la fusión termonuclear.

Pero dominar a la fusión no sólo implica resolver los problemas tecnológicos aún pendientes. Se requiere también, de la definición de una política energética consecuente.

Cuadro 1. Reacciones de fusión

Existen diferentes reacciones que pueden ocurrir en el Sol y otras estrellas pero solamente unas cuantas tienen un valor práctico para la producción de energía en la s condiciones de la Tierra. Todas estas reacciones involucran al hidrógeno y sus isótopos H^1, H^2 y H^3, los últimos conocidos como Deuterio (D) y Tritio (T).

Una de las reacciones de interés para su utilización en un reactor terrestre de fusión consiste en la interacción de un átomo de Deuterio(D) y otro de Tritio (T) para producir un núcleo de Helio (He), también conocido como partícula alfa (α), más un neutrón (n) y cierta cantidad de energía expresada en mega electrón volts (MeV), es decir:

$$D+T \rightarrow He^4\ (3.52\ MeV)+n\ (14.06\ MeV)$$

Cuadro 2. Condiciones para la fusión

Temperatura. Las reacciones de fusión ocurren a temperaturas muy elevadas. Para la reacción Deuterio – Tritio se requieren al menos 100 millones de grados.

Confinamiento de energía. La mezcla de Deuterio y Tritio se debe confinar en condiciones extremas de temperatura. En principio un plasma puede confinarse en un campo magnético. La eficiencia del aislamiento magnético se mide por una cantidad llamada Tiempo de Confinamiento de Energía. Esta es la escala de tiempo característica para enfriar al plasma cuando la fuente de calor es removida.

Densidad. La densidad de los iones debe ser suficientemente grande para que ocurran las reacciones de fusión a las tasas requeridas. La potencia generada se reduce si el combustible se contamina con impurezas de los materiales de las paredes de la vasija y por acumulación de "cenizas" de Helio (He). Los iones deben ser remplazados con nuevo combustible y las cenizas de helio deben removerse.

Cuadro 3. Valores numéricos de la fusión

Temperatura de plasma:
100 – 200 millones de ^{0}C
Tiempo de confinamiento:
1 – 2 segundos
Densidad en el plasma:
2 –3 x 10^{20} partículas/m^3

Las condiciones requeridas se miden por el producto de estas cantidades que se llama Producto de Fusión.

Cuadro 4. Ventajas de la fusión

Es una vasta fuente de energía.
El combustible es abundante.
No existe riesgo de accidente nuclear.
No se producen desechos radiactivos de alto nivel.

No se genera material para armas nucleares.

Cuadro 5. Combustibles para la fusión

Deuterio. Es abundante y puede extraerse de todas las fuentes de agua. Existen recursos suficientes para los próximos millones de años.

Tritio. No existe en la naturaleza pero se puede obtener a partir del Litio.

Litio. Es el metal más ligero y es abundante en la corteza terrestre. Se conocen reservas para al menos los próximos mil años.

Política energética clasista

Dominar a la fusión debe llevar al establecimiento de ciertas bases que la justifiquen socialmente. Entre los criterios de tal política ha de estar el *beneficio social de la humanidad y el aprovechamiento racional de los recursos naturales*

El conocimiento científico y tecnológico adquirido con el dominio de la fusión no es propiedad privada de nadie, ni se ha logrado espontáneamente, es el resultado del conocimiento acumulado de la humanidad. Su utilización debe ser en beneficio de ésta. Los recursos naturales para la fusión están en las aguas de los mares y éstos no son propiedad privada de nadie son patrimonio de la humanidad. El Sol mismo no es propiedad privada de nadie ni podrá serlo jamás.

En consecuencia, se precisa de la cooperación y solidaridad internacional sin discriminación de ningún tipo. En materia técnico-científica es muy importante el proyecto ITER pero mejor sería un proyecto abierto a la participación de los investigadores y trabajadores de todo el mundo, esto es, el proyecto "Energía para todos" con la intervención igualitaria de todos los Estados.

En este contexto, *la industria eléctrica del mundo basada en la energía del sol, como la fusión, debe ser de propiedad social* (bajo control obrero y social) por lo que, no debe haber cabida para la privatización. Más aún, con tan enorme potencial, la energía eléctrica generada debe ser gratuita tratándose del consumo doméstico en todo el mundo (en México ésta sería la llamada Tarifa 1).

Una política energética para el beneficio de la humanidad sólo pueden hacerla posible los trabajadores a través de la lucha organizada y

conciente. Los neoliberales jamás seguirán una política con repercusiones sociales justas. Sería una verdadera tragedia que de la crisis energética próxima saliera fortalecido el capitalismo. Así, no tendría sentido dominar a la energía estelar, pues solo serviría para alimentar con sangre al vampiro, prolongando artificialmente la vida de un sistema social inherentemente injusto. Esto serviría para el enriquecimiento desmedido de unos cuantos en detrimento de la gran mayoría de los seres humanos.

Tal vez, algunos investigadores fueran premiados pero nada más y se trataría de una solución individualista. Mejor que eso, es pertinente asumir la responsabilidad social.

Los investigadores y trabajadores de la ciencia conscientes, tenemos el deber y el derecho a recuperar la personalidad e iniciativa en los procesos de trabajo, asumiéndonos no sólo como asalariados (así sea privilegiados) sino como productores para dirigir tales procesos y sus resultados para el beneficio de todos.

Es necesario, por tanto, hacer enormes esfuerzos para dominar a la ciencia y a la tecnología, para aprovechar racionalmente a la naturaleza y transformar los recursos disponibles con la mayor eficiencia. Pero también es necesario hacer lo conducente para transformar socialmente al mundo.

Los trabajadores estamos de acuerdo en producir más energía pero también requerimos de democracia y de socialismo. Sí, de socialismo, porque esta es la única propuesta coherente actual para la transformación del mundo. No se trata de regímenes burocráticos ni de política socialdemócrata sino de revolución, de cambio social e histórico en sus connotaciones profundas.

Notas:

(1) La información sobre los avances logrados es abundante y está disponible en Progress Tokamak Physics during the TFTR Project en www.pppl.gov
(2) La información sobre el Tokamak europeo puede consultarse en JET under EFDA (the JET facility), Scientific Program en www.efda.org y en www.jet.uk
(3) Información sobre el Tokamak mexicano, "*Novillo*" puede consultarse en Ramos et al., (1983) y Meléndez et al., (1998; 1999a; 1999b).

Cuadro 5- El sistema Tokamak

El plasma consiste en dos tipos de partículas cargadas eléctricamente: los iones (+) y los electrones (-). Para aislar el plasma en las paredes de la vasija de vacío se requieren campos magnéticos. En un campo magnético las partículas se mueven en espiral a lo largo de las líneas de campo pero se difunden lentamente al cruzarlo. Los sistemas de confinamiento magnético más promisorios son toroidales (en forma de anillo) de los cuales el más avanzado es el Tokamak (en ruso, cámara toroidal magnética).

En un Tokamak, el plasma es calentado en una vasija toroidal y confinado por los campos magnéticos manteniéndolo alejado de las paredes de la vasija.

Los componentes básicos del sistema de confinamiento magnético Tokamak son: el campo toroidal producido por las bobinas que rodean a la vasija de vacío y, el campo poloidal producido en el plasma por una corriente inducida mediante un transformador.

Cuadro 6- El Tokamak JET

Este es el Tokamak más grande del mundo. El JET (Joint European Torus) es un programa europeo de fusión establecido en 1978 y coordinado por Euratom (The European Atomic Energy Community). El JET está instalado en Culham, cerca de Oxford, en Inglaterra.

El JET es un dispositivo de 15 metros de diámetro y 12 de altura. El centro es una vasija de vacío en forma toroidal con un radio mayor de casi 3 metros. Se tiene un sistema complejo de campos magnéticos. Durante la operación se utiliza una pequeña cantidad de gas deuterio en la cámara de vacío calentándose mediante una corriente de 7 millones de Amperes y un pulso de 30 segundos para producir un plasma con alta temperatura.

En la primera fase se alcanzaron temperaturas de 50 millones de grados, la que ha llegado a 300 millones de grados utilizando corrientes con ondas de radiofrecuencias de alta potencia para calentar al plasma. En 1991, se alcanzó una significativa producción de fusión controlada. En 1997, se logró una potencia de

fusión de 16 megawatts (Mw) con plasmas de Deuterio y Tritio. La operación y mantenimiento del JET se lleva a cabo mediante un sistema de manejo remoto.

La EFDA (European Fusión Development Agreement) preparó un nuevo convenio para remplazar al JET en 2002.

Cuadro 7- El ITER en Cadarache

El 28 de junio de 2005 en Moscú, los países promotores del proyecto internacional de fusión (Unión Europea, Japón, Rusia, Estados Unidos, China y Corea) acordaron la construcción del reactor ITER en Cadarache, al sureste de Francia. El diseño del ITER empezó en 2001. A la fecha se han construido varios componentes que incluyen las bobinas superconductoras, cámaras de vacío, componentes internos y sistemas de robótica.

El ITER será un reactor experimental y se espera que genere hasta 500 Mw de fusión. El presupuesto del ITER asciende a 4 mil 500 millones de euros, 5 mil investigadores serán contratados y se estima que el plasma se produzca en el 2015. Luego se construiría la primera central eléctrica de demostración.

Cuadro 8- El "Novillo" mexicano

En 1978 se inició un proyecto mexicano de fusión termonuclear y, en 1983, se propuso el diseño de una máquina experimental llamada "Novillo". Este pequeño Tokamak fue diseñado y construido por trabajadores mexicanos del Centro Nuclear de Salazar, México.

El objetivo era desarrollar un dispositivo que permitiera llevar adelante un programa de investigación en física de plasmas. Varios e importantes resultados se obtuvieron algunos de relevancia y originalidad internacional. El grupo de trabajo, encabezado por el doctor Leandro Meléndez, logró fuertes apoyos financieros internacionales. Como siempre ocurre en México, en cuanto se alcanzan resultados importantes, la burocracia procede a destruir los grupos. Así pasó con el "Novillo", en 2004 el proyecto fue absurdamente cancelado.

Referencias

Bahen D. 2000, *Bandera Obrera Política Eléctrica Independiente*, FTE.

Bahen D. 2000, *Desarrollo Tecnológico sin Privatización Eléctrica*, CIME-México.

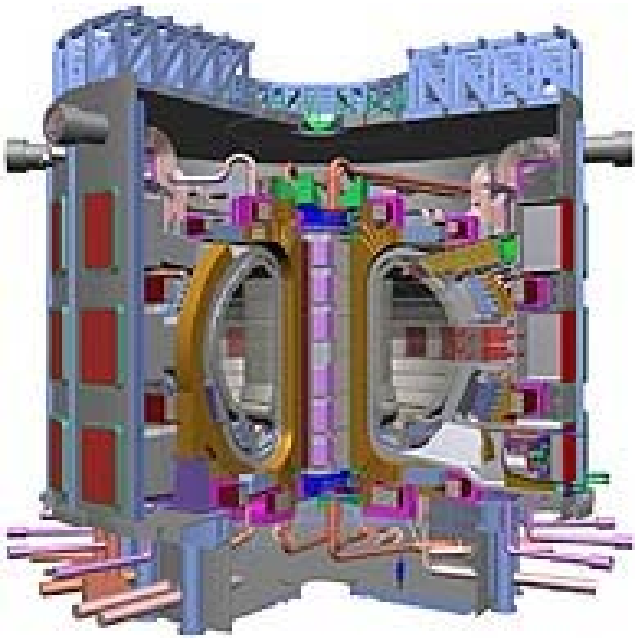
Meléndez L., Barocio S., Chávez E. et, al. 1998, A Simple and Inexpensive Method to Align Toroidal Moduls in Tokamak, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A*. 419, 181.

Meléndez L., Barocio S., Chávez E. et al. 1999a, Start-up Without Preionization in Novillo Tokamak, *The IEEE Transactions on Plasma Science*.

Meléndez L., Barocio S., Chávez E. et al. 1999b, Física de Plasmas: Investigación y Logros Alcanzados, *IX Congreso Técnico-Científico ININ-SUTIN*, 27.

Ramos J., Meléndez L. et al. 1983, Diseño del Tokamak Novillo, *Rev. Mex. Fís.* **29** (4), 551.

Tuma J. 2000, en *Lidové Noviny* Praha 030600. 23.



Corte del proyecto de fusión ITER