

Desde hoy, al mundo de mañana

El problema energético

Por: **Carlo Rubbia**

Premio Nobel de Física 1984



Carlo Rubbia (Italia, 1934) recibió en 1984 el Premio Nobel de Física por sus experimentos para determinar los bosones vector W y Z. Estas partículas resultaban esenciales para la unificación de las fuerzas electromagnética y nuclear débil. Con este experimento venía a rubricar casi un cuarto de siglo de dedicación a la investigación subnuclear, realizada sobre todo en el CERN, Ginebra, del que fue posteriormente Director General.

En los últimos años ha sido presidente del ENEA italiano, dedicándose además a impartir conferencias alrededor de todo el mundo, no sólo sobre Física, sino sobre el problema energético, del cual es un especialista de primera fila. Actualmente, es asesor del Director General del CIEMAT, visitando Madrid con frecuente regularidad.

Todo el mundo está de acuerdo en el hecho de que el progreso de la humanidad será imposible sin un consumo energético continuo y sustancial. Es decir, la energía es fundamental para el desarrollo de la humanidad, y siempre lo será.

El principal dato a subrayar es obviamente el fuerte incremento de la población mundial, que es actualmente de 90 millones de nuevos nacimientos cada año (10.000 personas cada hora), principalmente en los países en vías de desarrollo. Para poder vivir holgadamente, estos seres humanos que nacen cada hora esperan poder consumir más energía que la consumida en la actualidad.

Hay una gran correlación entre la falta de suministro energético y la pobreza. 1,6 billones de personas (un cuarto de la población mundial actual) está sin electricidad, y cerca de 2,4 billones de personas sólo disponen de biomasa como fuente energética principal.

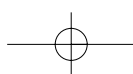
Al consumo de energía actual, las reservas conocidas de carbón, petróleo, gas y nuclear se corresponden con una duración del orden de 230, 45, 63 y 54 años. La duración de las limitadas reservas de combustibles fósiles estará afectada por el descubrimiento de nuevos yacimientos, cuya viabilidad dependerá fuertemente del precio de la energía, y por otro lado por el inevitable incremento de la población mundial, y la mejora de sus condiciones de vida.

Incluso si estos factores son difíciles de asumir, teniendo en cuenta el dilatado tiempo de implantación de las nuevas fuentes

de energía, el final de los combustibles fósiles baratos y abundantes, con la excepción del carbón, está cerca.

El consumo de combustibles fósiles, incluyendo el carbón, puede incluso decrecer antes del problema de las reservas, debido al efecto invernadero. El efecto climático de la combustión de una cantidad determinada de combustibles fósiles incrementa en cien veces la captura de energía debido al incremento de la absorción de la radiación solar reemitida por la tierra (si quemamos 1 de un combustible fósil, el calor solar integrado inducido es >100;)

La extracción de cerca de 1.000 billones (miles de millones) de toneladas de carbón doblará la concentración de CO₂ que se tenía en la época



preindustrial. En la actualidad, nos dirigimos a un escenario donde se doblará el efecto invernadero producido por el CO₂ en 50 ó 75 años. El aliento conjunto de toda la población mundial produce un 10% de las emisiones totales de CO₂, pero hay que señalar que este proviene de la respiración en la que se produce la combustión de un carbono que anteriormente se fotosintetizó a partir del CO₂ atmosférico.

Se debe mencionar que las prescripciones de Kyoto, incluso si fuesen aplicadas en todos los países, serían claramente insuficientes. Por ejemplo, la aplicación de las medidas sólo retrasará 7 años el doblar la concentración de CO₂ en la atmósfera. Puesto que este gas de efecto invernadero permanece en la atmósfera durante muchos cientos de años, el decremento de las tasas de emisión supone únicamente el retraso temporal para alcanzar una determinada concentración de CO₂, sin prevenir que se alcance un nivel determinado. Generalmente se piensa que sólo un cambio tecnológico radical, con la eliminación de la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero, puede modificar drásticamente la situación.

Son necesarias nuevas fuentes de energía no emisoras de gases de efecto invernadero, para poder conciliar el fuerte incremento del consumo energético, que está creciendo rápidamente en los países desarrollados, con un impacto climático aceptable. Ha llegado el momento de considerar seriamente un fuerte desarrollo de medidas de I+D para otras fuentes de energía diferentes, sin las cuales la humanidad puede estar dirigiéndose al desastre. No se tienen muchas alternativas: sólo dos fuentes de energía tienen el potencial de ser alternativas al problema en el largo plazo, la energía nuclear y la energía solar. Pero no la energía solar actual, ni la energía nuclear actual.

La nueva Energía Solar. El consumo actual de energía primaria en el mundo es una fracción de 1/10.000 de la energía que se recibe en las superficies de países soleados. En 1 m² de una buena localización (el cinturón solar), "llueve" el equivalente energético de 250 mm de petróleo. Si se explota adecuadamente,



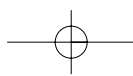
la energía solar puede ser suficientemente importante como para suplir a la humanidad de energía.

Con la excepción de la energía hidráulica, la energía eólica de hoy, junto con la biomasa, y los paneles fotovoltaicos, han alcanzado hasta ahora una modesta penetración en el mercado energético, y todas las predicciones indican que permanecerá durante las siguientes décadas.

Para superar estas limitaciones, se han realizado nuevos desarrollos tecnológicos en diferentes países (España entre ellos), para: (1) reducir el coste de esta energía a un nivel comparable al precio de los combustibles fósiles y (2) introducir un almacenamiento de calor entre la fuente solar y el consumo. La energía está por lo tanto disponible siempre que se necesita, y no sólo cuando la fuente solar está accesible. La tecnología basada en la concentración de la radiación solar es particularmente prometedora, sobre todo en las regiones pertenecientes al "cinturón solar".

La nueva Energía Nuclear. En los años 60, la estrategia de "átomos por la paz" prometió una fuente de energía nuclear barata, abundante y universal, de forma que los pocos países nucleares aseguraban el "know-how" de muchos otros países que hubiesen renunciado al armamento nuclear.

Hoy, la situación está lejos de ser aceptable: debido al desarrollo tecnológico, el nexo entre la aplicación pacífica y militar se ha reducido peligrosamente. El enriquecimiento del uranio se puede extender ➡





UNA ENERGÍA NUCLEAR LIBRE PARA TODOS
LOS PAÍSES SÓLO SERÁ POSIBLE SI EL CORDÓN UMBILICAL
QUE UNE LA PRODUCCIÓN PACÍFICA DE ENERGÍA DE LAS
BOMBAS NUCLEARES DESAPARECE.

hasta un nivel suficiente para producir una bomba de U-235; los reactores de uranio natural (CANDU) generan una considerable cantidad de Pu, suficiente para producir una bomba de Pu-239.

Una energía nuclear libre para todos los países, especialmente para los países en desarrollo, sólo será posible si el cordón umbilical que une la producción pacífica de energía de las bombas nucleares desaparece.

La energía nuclear actual se basa en el U-235, que es el 0,71% del uranio natural, y que puede ser fisionado con neutrones rápidos o térmicos. Un incremento masivo de esta tecnología (en un factor 5 ó 10), para contrarrestar de forma efectiva el efecto invernadero, puede verse afectado por los residuos acumulados, y por la escasez de minas de uranio.

Pero reacciones nucleares más energéticas son posibles. Especialmente interesantes son las reacciones nucleares de fisión de isótopos como el U-238 ó el Th-232, en la cual el elemento natural se va convirtiendo progresivamente es un elemento fisiónable mediante captura neutrónica. La totalidad del combustible inicial se "quema" y la energía cedida de una cantidad inicial de combustible es cien veces mayor que la del caso clásico (reacciones nucleares de U-235.)

Ahora son necesarios 2 neutrones, uno para la reproducción de combustible, y el otro para la fisión, en contraste con el ciclo normal de combustible, basado en el U-235, en el que sólo un neutrón es necesario para provocar la fisión.

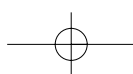
Tras un período de operación, el combustible debe ser reciclado debido a la alta fracción de productos de fisión del mismo, que afecta la operación del sistema, y al alto daño por irradiación de los elementos combustibles, que requiere reconstrucción de los materiales.

En la práctica, esto supone un quemado de entre un 10 y un 15% de la masa metálica del elemento natural (Th-232 ó U-238), y a una energía específica generada de entre 100 y 150 GWd/ton. Esto corresponde con un período ininterrumpido de operación de 5 a 10 años.

En este momento, el combustible es reprocesado y el único residuo son los productos de fisión. La radiactividad es intensa, pero limitada a unos cientos de años.

Los actínidos se recogen sin separación y son las semillas de la nueva recarga, tras ser mezclado con entre un 10 y un 15% de combustible fresco (Th o U-238), para poder compensar las pérdidas debido al quemado. El ciclo es cerrado, la única entrada al mismo es el combustible fresco, y la única salida los productos de fisión, con la excepción de una pequeña fracción de actínidos que no se recuperan y aparecen con los residuos nucleares.

Todo el proceso se repite como una cadena infinita de ciclos. La composición resultante



del combustible alcanza un equilibrio secular de los muchos actínidos que componen el combustible, con cantidades rápidamente decrecientes según se incrementa el número atómico.

Las reservas naturales de U-238 y Th-232 son las adecuadas para varios cientos de años, a un nivel de consumo varias veces superior a la actual producción de combustibles fósiles. Pero la reacción de reproducción U-238/Pu-239 es desgraciadamente muy proliferante. No ocurre lo mismo con el ciclo del Torio, puesto que los tres elementos principales de la descarga, si se separan químicamente, son principalmente el Uranio, y en menor medida en Np y el Pu (Pu-238), impide la fabricación de un artefacto nuclear explosivo de masa crítica debido a: (1) una mayor energía de las desintegraciones α ; (2) actividad γ de las cadenas de desintegración, haciendo virtualmente imposible el transporte de combustible y su manejo; (3) la fisión espontánea que reduce fuertemente la ganancia por el inicio demasiado prematuro de la cadena de fisiones.

Como es sabido, la operación de un reactor crítico es posible por la presencia de neutrones diferidos, que aseguran que existe suficiente tiempo para controlar el coeficiente de multiplicación efectiva. Para el U-235, la fracción de neutrones diferidos es de 0,007, pero es un factor 3 ó 4 veces menor en el caso de las reacciones basadas en ciclos de Th-232 y U-238. Estos problemas se pueden resolver con la ayuda de una fuente externa de neutrones, producidos por un haz de protones de alta energía incidiendo en un blanco de espalación. En ausencia del haz de protones, la configuración del reactor es subcrítica, con un valor de $k_{ef} < 1$ apropiada y sin producción de energía de fisión. Con el haz encendido, la potencia nuclear es directamente proporcional a la potencia del haz. La ganancia $G = [\text{Potencia térmica de fisión}/\text{potencia del haz}]$ es constante.

En conclusión, la energía puede ser producida cuando un núcleo ligero sufre una fusión, o cuando un núcleo pesado sufre una fisión. Tanto en fusión como en fisión, un elemento natural se reproduce primero en un proceso de generación de energía. La fisión de U-233 conducida por la captura de Torio,

y la fusión de D-T conducida por la captura neutrónica del Litio, son procesos de este tipo, que producen un residuo nuclear de menor tiempo de vida y sin proliferación nuclear, capaces de suplir energía para los milenios por venir (la diferencia entre renovables y no renovables se convierte en académica).

Es poco probable que un desarrollo estable a largo plazo de la humanidad se pueda dar sin ambas fuentes de energía. El futuro de la humanidad depende crucialmente de la disponibilidad continuada de una abundante y barata fuente de energía. Si el suministro de energía desaparece, la humanidad sufrirá enormes consecuencias.

Para concluir, cabe señalar que pueden aparecer nuevas tecnologías que resulten exitosas en el largo plazo: pero es necesario abordar ya un gran, urgente e innovador esfuerzo en I+D. Aunque las nuevas fuentes de energía sean eventualmente más esenciales para países en vías de desarrollo, sólo nuestra sociedad desarrollada tecnológicamente podrá impulsar este cambio. ❖

