

progresos de la fusión controlada

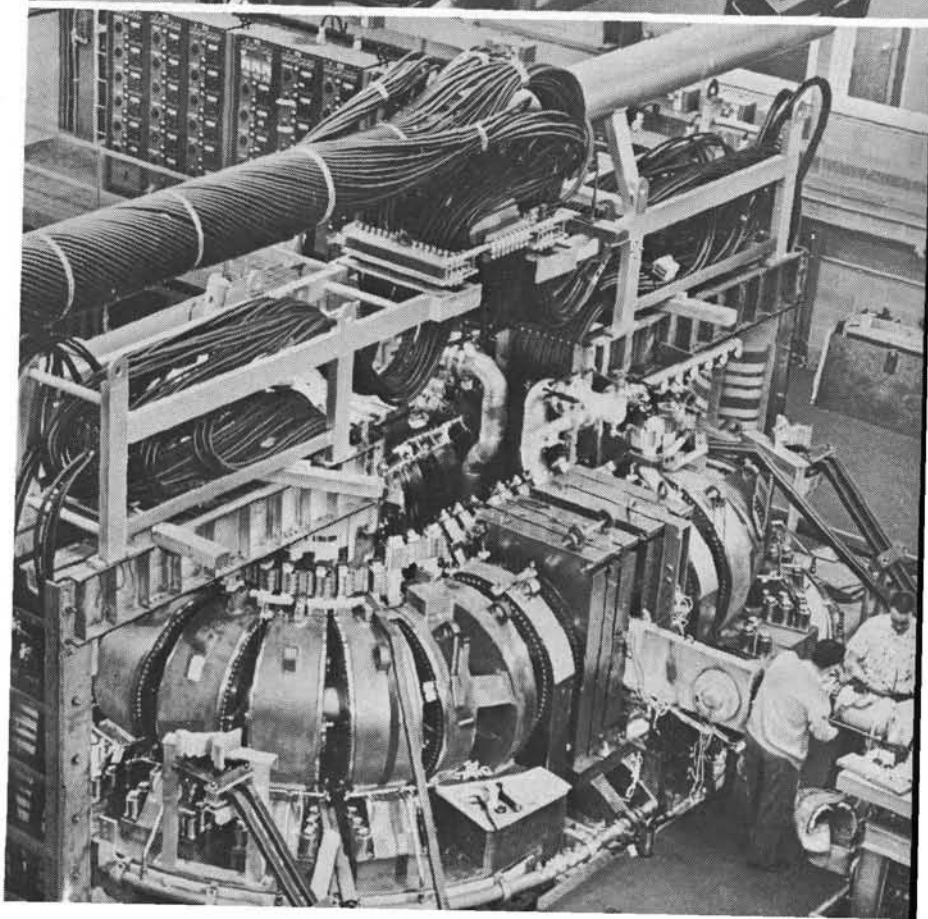
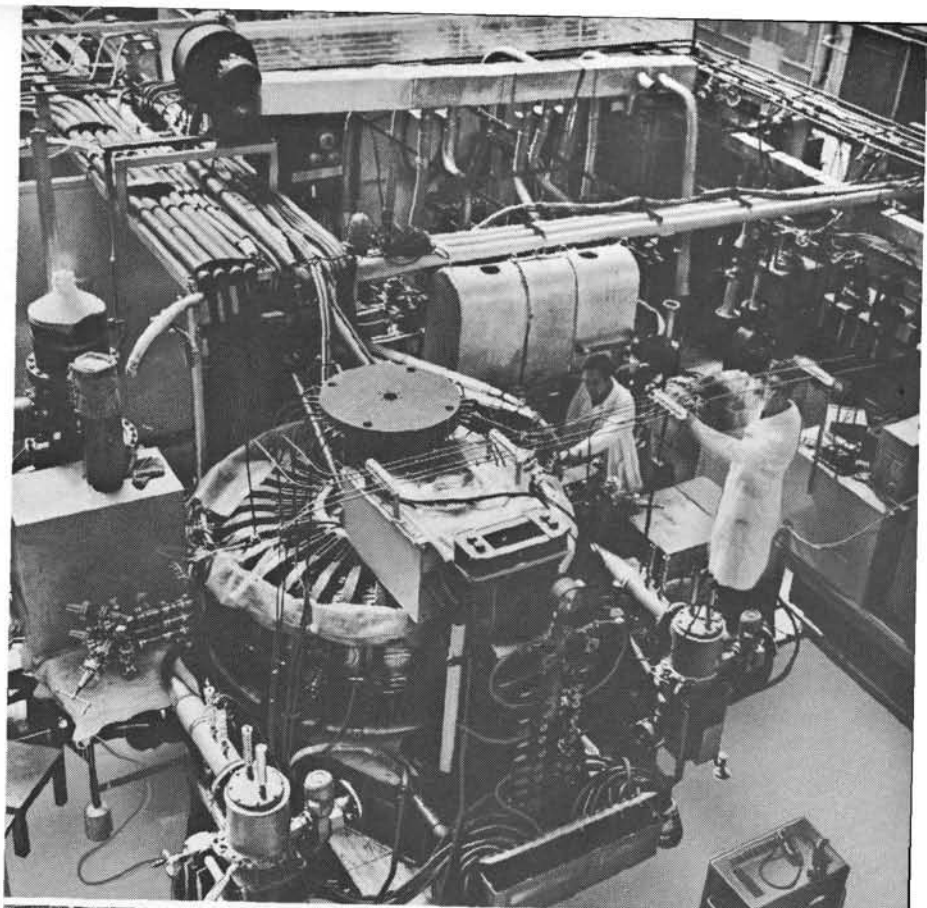
Las investigaciones sobre la fusión termonuclear controlada hacen pensar que en lo futuro podrá disponerse de recursos energéticos prácticamente ilimitados. El informe de un Grupo de expertos reunido por el Organismo en Trieste el pasado mes de junio indica que existen verdaderas posibilidades de resolver algunos de los problemas de carácter práctico que aún quedan pendientes.

Los 11 miembros del Grupo y los tres funcionarios del Organismo que se encargaron de preparar la reunión y que asistieron a ella, sabían lo que iban a tener que admitir como hechos inevitables. La rápida expansión demográfica mundial y el aumento del nivel de vida en el mundo entero crean una demanda de energía eléctrica cada vez mayor. Por otra parte, los recursos de que actualmente puede disponerse tienen un límite que puede calcularse y que siempre es demasiado finito.

La fuente energética no nuclear más importante está constituida por el conjunto de los combustibles fósiles; carbón, petróleo, etc., recursos cuyo total se ha calculado que asciende a unos 100 Q (siendo Q una unidad arbitraria equivalente a 3×10^{14} kWh o a 12^{21} julios). De no pesar sobre estos recursos otra demanda, bastarían para satisfacer las necesidades energéticas del mundo hasta el año 2050. Ahora bien, no cabe duda de que hay y habrá otras demandas; para poner sólo un ejemplo, indiquemos que sólo la industria química exige cantidades cada vez mayores de hidrocarburos para la fabricación de plásticos. Además, el empleo de combustibles fósiles tiene como secuela la liberación de anhídrido carbónico y de otros residuos que pasan a la atmósfera con los consiguientes y bien conocidos efectos nocivos. Otras fuentes de energía tales como el Sol (cuya energía puede ser aprovechada, por ejemplo, mediante células solares), las fuentes generadoras de energía hidroeléctrica, los vientos y las mareas no parece probable que puedan ayudar mucho a a cubrir la demanda.

El TOKAMAK-3,
uno de los
aparatos con que los
científicos de la
Unión Soviética han
logrado prometedores
resultados en las
investigaciones sobre
la fusión controlada.

Foto: URSS



Un modelo primitivo de
estelerator,
utilizado para las
investigaciones sobre
física del plasma
en el Princeton Plasma
Physics Laboratory.
Foto: Princeton University

Se tiene así que el desarrollo de la energía nucleoelectrónica resulta esencial. Se está recurriendo ya a la fisión nuclear. A finales del año pasado se encontraban en servicio en 14 países 91 reactores de potencia que sumaban una capacidad generadora de 15 500 megavatios, y se ha calculado que para 1980 la capacidad generadora de las centrales nucleares habrá aumentado hasta un total de 330 000 megavatios aproximadamente y que a ella corresponderá el 15 por ciento aproximadamente de la electricidad total que por entonces se produzca.

Las reservas de minerales uraníferos y toríferos de alta ley se estima que ascienden también a unos 100 Q, si bien esta cifra podría ser mayor si los depósitos de mineral pobre resultasen susceptibles de explotación económica.

En opinión del Grupo de expertos, la fusión nuclear podría ser una fuente de energía prácticamente ilimitada para el futuro. Las centrales eléctricas de fusión que actualmente se estudian podrían emplear deuterio y tritio, utilizándose litio en un ciclo de reproducción para la reelaboración del tritio. Se supone que los recursos de litio de alta ley son más que suficientes para satisfacer la demanda en los primeros decenios de producción de electricidad a partir de la fusión, y el Grupo de expertos estimó, además, que si resultase posible aprovechar los recursos de litio presentes en el mar y contenidos en minerales pobres, podría disponerse de otros 10 millones de Q.

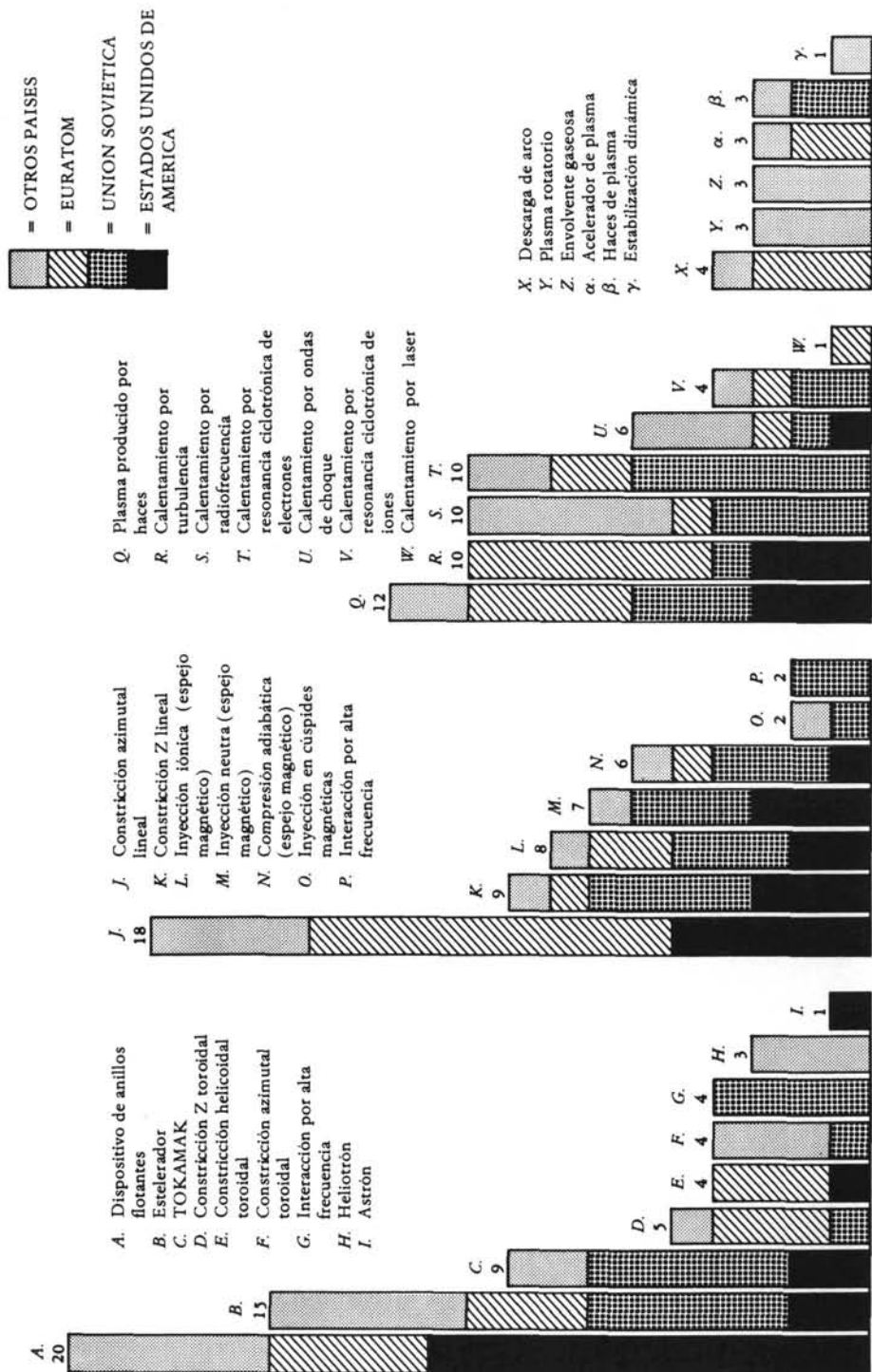
Los expertos del Grupo manifestaron su esperanza, sin embargo, de que mucho antes de que se agoten los recursos de litio de alta ley llegue a ser exequible la reacción de fusión deuterio-deuterio. De ser así, puede decirse que los recursos energéticos serán prácticamente ilimitados; los cálculos de mayor confianza los cifran en unos 10^{10} Q.

Los estudios realizados indican que, antes de poder construir un verdadero reactor de fusión, es preciso cumplir dos condiciones fundamentales. En primer lugar, es preciso crear un plasma y mantenerlo a una temperatura comprendida entre 50 y 500 millones de grados centígrados. En segundo lugar, ese plasma tiene que quedar confinado durante un período de tiempo lo suficientemente largo para que se satisfaga el llamado «criterio de Lawson», es decir, que el producto de la densidad del plasma y del tiempo de confinamiento sea superior a unos 10^{14} iones-segundo por centímetro cúbico. En los trabajos realizados en la Unión Soviética con una máquina del tipo TOKAMAK, y en los Estados Unidos con una máquina del tipo SCYLLA, se ha conseguido ya alcanzar valores comprendidos entre 3 y 6×10^{11} , los cuales se admite que son inferiores en dos o tres órdenes de magnitud al valor deseado. No obstante, algunos investigadores creen que la primera máquina que realmente se construya en gran escala podrá demostrar satisfactoriamente la viabilidad de esta técnica.

El conocimiento tanto teórico como experimental de los problemas todavía pendientes de resolver y de las diversas formas en que podrían ser superados se va acrecentando rápidamente. No obstante, todavía queda mucho por hacer.

Las investigaciones sobre la forma de confinar un plasma excesivamente caliente se llevan a cabo atendiendo a diversas fórmulas, de las cuales la más prometedora parece ser la consistente en el empleo de campos magnéticos muy poderosos. Existen dos tipos principales de máquinas en las que se recurre al confinamiento magnético: las que emplean trampas magnéticas cerradas y las que las emplean de sistema abierto. En las máquinas del primer tipo el plasma queda confinado, por lo general, dentro de un espacio de forma anular, de modo que no puede escapar

PRINCIPALES INSTALACIONES EXPERIMENTALES DE INVESTIGACION SOBRE FUSION TERMONUCLEAR CONTROLADA EN EL MUNDO ENTERO



CONFIGURACIONES CERRADAS

CONFIGURACIONES ABIERTAS

METODOS DE CALENTAMIENTO

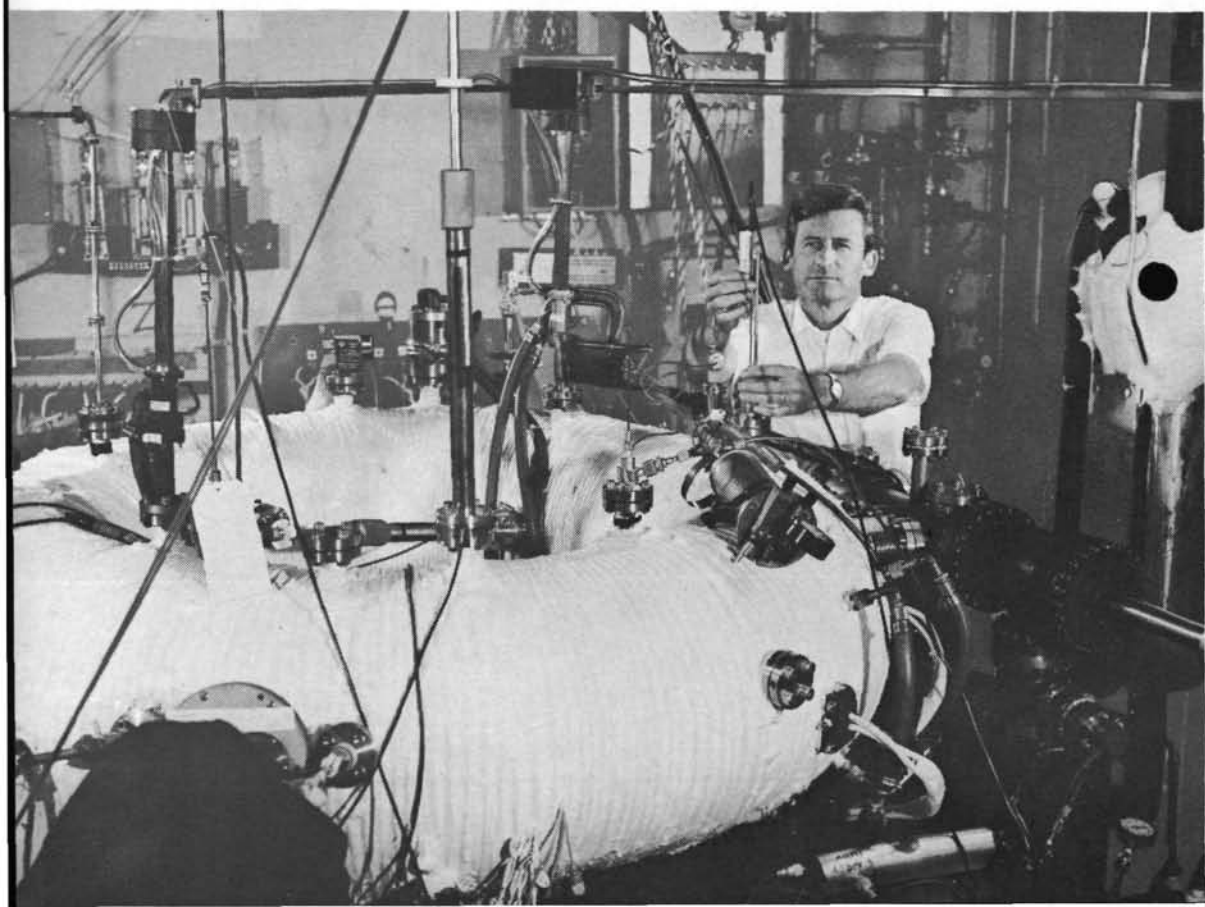
SISTEMAS VARIOS

desplazándose a lo largo de las líneas del campo magnético ; en las del segundo tipo, el plasma queda constreñido, pero puede escapar por los extremos del espacio de confinamiento a menos que se adopten medidas especiales. Las máquinas TOKAMAK pertenecen al primer tipo y las SCYLLA al segundo.

El Grupo de expertos estimó que los resultados de los trabajos realizados con máquinas TOKAMAK «son los más favorables conseguidos hasta ahora en las investigaciones sobre la fusión realizadas con sistemas cerrados. Es probable que el TOKAMAK proporcione uno de los medios de conseguir construir un reactor de fusión». Los problemas importantes que quedan pendientes de resolver se refieren a la determinación de la validez de las leyes de la semejanza para la construcción de dispositivos de mayores dimensiones (en particular en lo que afecta a su extensión a casos de temperaturas y densidades más altas del plasma), al calentamiento del plasma hasta temperaturas termonucleares, y al conocimiento de la forma en que se produce la interacción del plasma con las paredes de la cámara dentro de la cual se halla confinado.

Otras máquinas de este mismo tipo «cerrado» han sido bautizadas con nombres que parecen deberse a la imaginación de un escritor de obras de ciencia-ficción: el estelerator, el torsatrón, el heliotrón helicoidal, el «Bumpy Torus», etc. Igualmente pintorescos son los nombres que se han dado a diversos sistemas de tipo abierto: Scylla, dispositivo

Esta fotografía muestra claramente la forma toroidal del Levitron, uno de los aparatos que se emplean para estudiar las propiedades del plasma en las investigaciones de alcance mundial sobre la posibilidad de lograr la fusión termonuclear controlada. Foto: USAEC, San Francisco Operations Office



de constricción azimutal, Pharon, Chalice, el famoso dispositivo experimental Zeta, el Megatrón, y otros análogos. Los reactores que emplean configuraciones magnéticas de tipo abierto pueden ofrecer diversas ventajas por la facilidad con que puede realizarse la carga de combustible o la retirada de los productos de la reacción, y por el menor tamaño del dispositivo (diversos estudios teóricos realizados sugieren la posibilidad de construir un sistema de reactor de fusión de tipo «abierto» de un tamaño correspondiente a una capacidad de producción de 1 000 MW(e)); sin embargo, la dificultad de confinar el plasma parece que probablemente sea mayor. Una máquina de este tipo, que se conoce con la denominación de dispositivo de constricción azimutal lineal, ha producido ya plasma de buenas características y ninguna inestabilidad, pero las pérdidas en los extremos son de tal magnitud que parece que un rendimiento positivo sólo podría conseguirse con un dispositivo de varios kilómetros de longitud y que produjera unos 100 000 megavatios. En su informe, el Grupo de expertos manifestó que «Según diversos autores, cabe esperar que la viabilidad técnica de este tipo de reactor no tenga que tropezar tal vez con obstáculos insuperables pero, por el momento, la opinión general es que resulta difícil imaginar una justificación económica para una central eléctrica de tal tamaño». No obstante, los trabajos sobre versiones en pequeña escala de tales dispositivos contribuyen verdaderamente a aumentar los conocimientos sobre el comportamiento del plasma a altas temperaturas.

En una reciente publicación del Organismo titulada «World Survey of Major Facilities in Controlled Fusion» (Estudio mundial de las principales instalaciones de fusión nuclear), aparecida como suplemento especial de la revista «Fusión Nuclear» del OIEA, se examinan, país por país, las actuales actividades de investigación. Catorce países que desarrollan programas de investigación en materia de fusión controlada facilitaron detalles técnicos para su inclusión en dicho estudio, entre ellos datos sobre los principios de funcionamiento, características principales, resultados más importantes y, en los casos en que era posible, indicación de los planes futuros. Los países en cuestión son los siguientes: Australia (que facilitó información sobre 6 dispositivos), Dinamarca (2), Estados Unidos de América (38), Francia (20), Italia (4), Japón (15), Países Bajos (13), Polonia (2), Reino Unido (11), República Federal de Alemania (16), República Socialista Checoslovaca (3), Suecia (5), Suiza (1) y Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (51). El informe incluye un diagrama, reproducido en el presente artículo, en el que se indican las diversas orientaciones a que se ajustan los actuales trabajos de investigación.

Es evidente que tendrán que pasar años antes de que las actuales actividades de investigación rindan fruto. Es preciso insistir en que *existen* todavía enormes dificultades, tanto teóricas como prácticas, que hay que superar; no obstante, todo parece indicar que *pueden* ser superadas. En particular, parece que relativamente pronto se podrán conseguir los tiempos de confinamiento y temperaturas que se necesitan para mantener una reacción termonuclear. Los actuales dispositivos TOKAMAK, contruidos en una escala mayor, podrían muy probablemente satisfacer el criterio de Lawson. Cabe suponer con fundamento que, dentro del actual decenio, se habrán conseguido resolver los problemas científicos con que se tropieza para conseguir la fusión controlada, al menor con respecto a una de las configuraciones actualmente objeto de estudio. Seguidamente, deberá ser posible construir un dispositivo en el que la energía liberada en las reacciones termonucleares

producidas en el seno de una mezcla de deuterio y tritio se eleve a una fracción apreciable de la potencia de entrada.

Tal dispositivo constituiría una etapa intermedia en el camino conducente a un prototipo de reactor de fusión con un rendimiento positivo, el cual haría posible el estudio de los problemas prácticos que quedasen pendientes. Resulta sumamente difícil calcular el tiempo que exigirá esta labor... y especialmente difícil calcular cuánto dinero será preciso gastar para ello.

No obstante, la producción de electricidad a partir de la fusión ofrece diversos atractivos. En primer lugar, y conforme ya se ha dicho, para ello puede disponerse de recursos de combustible prácticamente ilimitados. En segundo lugar, el reactor no estaría sujeto a saltos bruscos de potencia o a la posibilidad de escapar al control. En tercer lugar, su explotación no origina productos de fisión, ni tampoco desechos radiactivos como los que se producen en la explotación de los reactores de fisión, incluso de los sistemas más eficaces. Se admite que podrían plantearse ciertos problemas en relación con el almacenamiento y manipulación sin riesgos de las existencias de tritio de una planta de fusión, pero estos problemas no serían insuperables. Se espera que la radiactividad producida por la irradiación neutrónica de la estructura de un reactor de fusión sea del mismo orden aproximadamente que la inducida en un reactor de fisión. Por último, por cuanto se conoce actualmente, el combustible destinado a una central nucleoelectrónica de fusión no podría ser utilizado directamente para la fabricación de armas nucleares. Técnicamente cabría la posibilidad de utilizar los neutrones excedentes de la reacción de fusión para reproducir plutonio en una envoltura de uranio con arreglo al mismo principio, aproximadamente, que el que se aplica en el caso de un reactor reproductor rápido, pero esto aumentaría considerablemente la complejidad tecnológica de la planta de fusión y podrían observarse claras indicaciones de tal actividad. De esta forma, la introducción de los reactores de potencia basados en la fusión podría atenuar la importancia de los problemas anejos a la aplicación de salvaguardias.

Los participantes en la reunión del Grupo de expertos, cuyo informe sobre la «International Cooperation in Controlled Fusion Research and its Application» (La cooperación internacional en las investigaciones sobre la fusión controlada y su aplicación) se publicará dentro de unos meses, procedían de Australia, Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, Países Bajos, Reino Unido, República Federal de Alemania, Suecia y la Unión Soviética.