

Centralización de las investigaciones sobre la fusión

por M. Leiser*

La hipótesis de que la fusión de los núcleos de elementos ligeros podría ser la causa de la energía producida por las estrellas se postuló por primera vez en 1929. El mecanismo considerado es, en cierta manera, similar al proceso, más conocido, de la fisión. En la fisión, se provoca la ruptura del núcleo de un elemento de número másico elevado en dos núcleos más ligeros. Como la energía de enlace de los elementos pesados es inferior a la de los intermedios, la diferencia másica resultante se manifiesta como energía. Y, dado que la energía de enlace de los elementos ligeros es también inferior a la de los intermedios, la fusión de dos elementos ligeros conduce de nuevo a la producción de energía que compense la diferencia másica.

Para que tengan lugar reacciones de fusión sostenidas han de darse tres condiciones básicas: la temperatura T del gas ionizado o plasma debe ser lo suficientemente alta para que las partículas en movimiento se aproximen lo bastante para reaccionar entre sí; la densidad n debe ser lo bastante grande para que ocurra un número suficiente de reacciones; y el plasma debe estar confinado durante un tiempo t suficientemente largo para dar lugar a la generación de energía. De las diversas reacciones de fusión posibles, la que requiere para estos parámetros los valores más fácilmente obtenibles es la reacción de deuterio-tritio:



La condición umbral para la fusión sostenida se puede expresar mediante el llamado Criterio de Lawson, conforme al cual para esta reacción se requiere que

$$n \cdot t \sim 10^{14} \text{ s cm}^{-3} \text{ a temperatura } T \geq 10^8 \text{ K.}$$

El gran atractivo que presenta la fusión como fuente energética reside en el combustible que utiliza. El deuterio se encuentra presente en el agua del mar en relación de una molécula por 6500 moléculas de agua ordinaria, y se extrae fácilmente. Además, los neutrones liberados se pueden utilizar para reproducir tritio en sustancias hidrogenadas, con lo cual una central eléctrica de fusión no necesitaría abastecimiento externo de tritio. La energía de fusión, una vez lograda, constituye así una fuente energética esencialmente inagotable. Si bien estudios económicos —efectuados sobre la base de los conocimientos actuales sobre los aspectos físicos y tecnológicos de la construcción de una central de fusión— hacen dudosa la viabilidad comercial a corto plazo de una central de este tipo, no cabe duda de que, a medida que se reduzcan las disponibilidades de combustibles clásicos, la energía de fusión será cada vez más interesante. En pocas palabras, la promesa de la

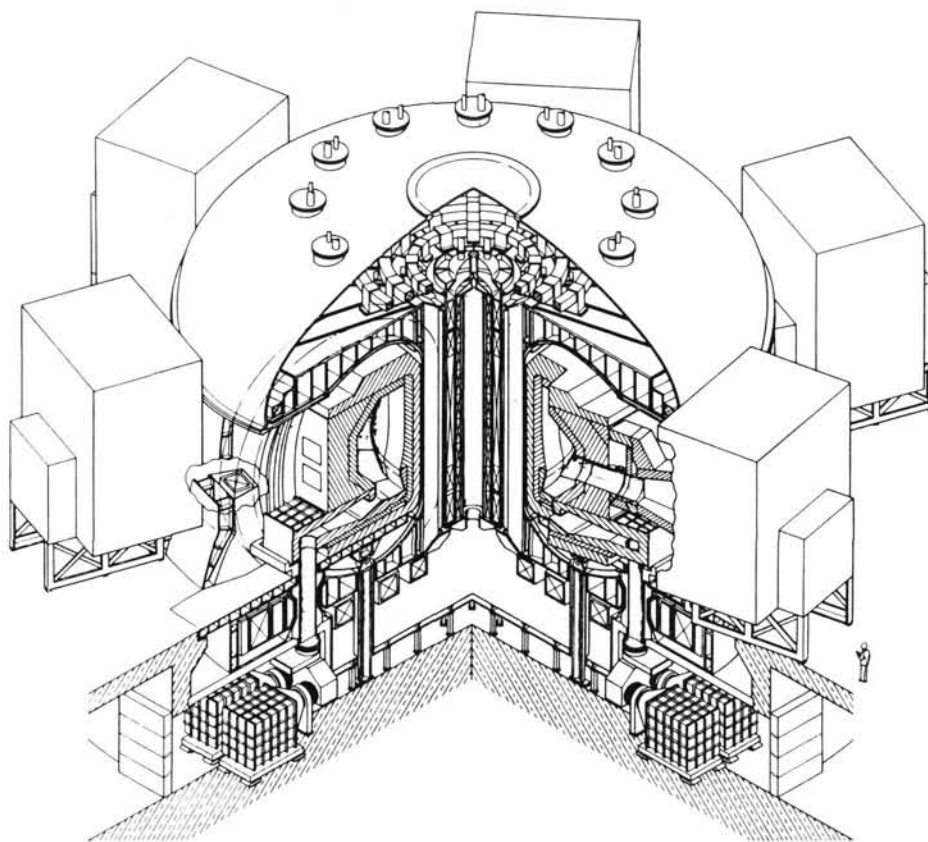
fusión es tal que, hoy en día, no hay país tecnológicamente desarrollado que no apoye un activo programa de investigación en esa esfera.

Las primeras investigaciones sobre el calentamiento y el confinamiento del plasma se llevaron a cabo independientemente en los Estados Unidos, el Reino Unido y la URSS, y se hicieron en secreto. En 1958, se llegó a un acuerdo internacional para quitar el carácter secreto a esta información, lo que hizo posible el intercambio de información y creó perspectivas de cooperación internacional en la investigación sobre la fusión.

Desde esa fecha se han manifestado adelantos constantes y alentadores en la comprensión de los procesos básicos que gobiernan el comportamiento de los plasmas interactuantes. La opinión más extendida entre los que se ocupan de la fusión en el mundo entero es que, aunque aún hay mucha labor que hacer en esa y en ésta y en otras esferas —y, particularmente, en la vertiente tecnológica de la fusión— no se prevén obstáculos graves que impidan llegar, en su día, a la construcción de un reactor que genere sin problemas esa energía. Entre las cuestiones técnicas importantes en estudio cabe citar las siguientes: Control de impurezas, reabastecimiento de combustible, eliminación de cenizas; leyes de crecimiento escalar (posibilidad de pasar de la actual generación de máquinas a la de tamaño sucesivo mayor); física del plasma; elección del reactor (si bien se investigan actualmente varios conceptos para evaluar su respectiva viabilidad como probables fuentes de energía de una central de fusión, el principio del tokamak es el que cuenta con más probabilidades, y cada uno de los principales grupos interesados en la fusión está a punto de rematar la construcción de una máquina de este tipo (JET, de la Comunidad Europea; TFTR, de los Estados Unidos; JT60, del Japón; T10, de la URSS)); problemas tecnológicos (desarrollo de imanes superconductores, tecnología del vacío, desarrollo de materiales).

Al principio de los años 60, la participación del Organismo en la fusión se limitaba a la organización de una o dos reuniones por año. En 1961 se organizó en Salzburgo una Conferencia sobre investigaciones en materia de física del plasma y fusión nuclear controlada, a la que asistieron más de 350 personas. A esta conferencia había que seguir luego toda una serie de ellas, celebrándose la siguiente en 1965 y otras sucesivamente a intervalos de tres años hasta 1976, fecha en que se pasó a un ciclo bienal. La próxima conferencia tendrá lugar en septiembre de 1982, y se espera que asistan unas 600 personas. Con el paso del tiempo, ha cobrado creciente importancia la función de estas conferencias como ámbito para la presentación de los últimos

* Jefe de la Sección de Física de la División de Investigaciones y Laboratorios del Organismo.



Representación gráfica de la configuración de Intor.

resultados de las investigaciones sobre la fusión a la comunidad internacional especializada. La conferencia de 1982 será entre las de este tipo la de mayor magnitud celebrada hasta la fecha.

Creciente participación del Organismo

La participación del OIEA en los estudios sobre la fusión ha ido de consumo con el incremento que han cobrado las actividades en esta esfera. Tal vez uno de los aspectos más importantes de esta participación reside en el hecho de que el Organismo ofrece un foro en el que los científicos de los principales laboratorios del mundo entero pueden reunirse y discutir sus trabajos. Se organizan reuniones de comités técnicos, cursillos prácticos y conferencias sobre una vasta gama de cuestiones pertinentes a la fusión. Además, el Organismo facilita asistencia técnica a los países en desarrollo interesados en trazar sus propios programas en esta esfera.

Se han identificado las lagunas actuales en materia de investigación que es necesario salvar para lograr finalmente un reactor de fusión y se han iniciado trabajos con ese propósito. El Organismo publica, en inglés, *Nuclear Fusion*, revista única en su tipo, consagrada exclusivamente a la fusión, en la que se recogen aportaciones de hombres de ciencia del mundo entero. En

1976 se publicó una lista mundial de las instalaciones para investigaciones sobre la fusión, y se ha previsto publicar en 1982 una versión actualizada. Esta publicación ha sido de gran valor para los investigadores de todo el mundo.

Asimismo el Organismo ha firmado contratos con países en desarrollo para ayudarles en sus propias investigaciones de fusión, además de prestar asistencia en el marco del Programa de Cooperación Técnica. Se está considerando también un programa, destinado a los países que ya tienen programas de desarrollo de la fusión, con el fin de proporcionar capacitación a sus estudiantes y coordinar las investigaciones de sus científicos de mayor experiencia, con miras a integrar sus investigaciones en la labor de ámbito mundial que se realiza al respecto. Con objeto de asesorar al Organismo en todas estas actividades, se estableció un grupo asesor, denominado ahora Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión. La primera reunión de este Consejo tuvo lugar en 1971. El Consejo está compuesto de funcionarios experimentados de los países más adelantados en el campo de las investigaciones sobre la fusión. El Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión coadyuva con eficacia a la labor del Organismo encaminada a coordinar las investigaciones sobre la fusión a nivel mundial, sirviendo de instancia para la libre discusión de los programas nacionales de desarrollo de la fusión.

Cursillo práctico sobre el proyecto Intor

La actividad más importante del Organismo en materia de fusión se inició como consecuencia de un amplio consenso en el sentido de que se habían logrado excelentes progresos en las investigaciones sobre la fusión. Al advertir esta evolución en 1978 el Director General del OIEA solicitó que se formularan recomendaciones en relación con un programa ampliado que acelerase el desarrollo de la fusión mediante la colaboración internacional. La favorable reacción a tal solicitud condujo a la formación del Cursillo Práctico Internacional sobre el proyecto Intor (es decir, el relativo a la construcción de un reactor tipo Tokamak). La idea del Organismo al organizar este Cursillo era la de identificar la índole y los objetivos programáticos/técnicos del experimento subsiguientes a los trabajos de construcción experimental en curso, y determinar si se podrá contar en el futuro próximo con las bases científicas y técnicas que este experimento requiere. Tal como lo ve el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión, el dispositivo Intor cumpliría una función importante en lo tocante a dejar sentada la viabilidad tecnológica de la fusión y como demostración del comportamiento del plasma de fusión necesario para los reactores Tokamak. Forman parte del Cursillo Práctico la Comunidad Europea (EURATOM), los Estados Unidos de América, el Japón y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.

La fase inicial de este Cursillo tuvo lugar en 1979, y sus trabajos fueron publicados por el OIEA en un informe titulado *Intor – International Tokamak Reactor: Zero Phase*. Este informe, y las propuestas que contenía, suscitaron interés en medios muy amplios. Con la anuencia de los gobiernos interesados, el OIEA preparó la etapa siguiente del Cursillo práctico sobre el proyecto Intor, la llamada “fase de definición”.

En la fase de definición, el principal objetivo era la producción de un diseño teórico respaldado por un informe. Este informe, titulado *Intor – International Tokamak Reactor: Phase One* describe los objetivos del aparato y su lugar en el programa mundial; presenta el diseño teórico del tokamak del Intor; y contiene una discusión técnica detallada de los conceptos involucrados en el diseño encaminados a satisfacer los objetivos generales del tokamak del Intor. El informe apareció en abril de 1982.

Como indica claramente el informe, el Intor sería, según las previsiones actuales, un dispositivo experimental de grandes dimensiones, un reactor experimental de 600 MW(th). Su construcción y explotación constituirán, de llevarse a cabo, una empresa de gran porte. Por lo tanto, es importante optimizar la información programática que se puede obtener del Intor y proceder al análisis crítico, y al perfeccionamiento, del diseño teórico. Por esta razón, sobre la base de la recomendación de los Gobiernos interesados, el OIEA prosigue el Cursillo práctico sobre el proyecto Intor pasando a la llamada Fase IIA, con respecto a la cual el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión ha establecido los siguientes objetivos:

- Efectuar un análisis de las relaciones costo-beneficio-riesgo variando los objetivos y parámetros del

Intor para observar cómo influyen esas variaciones en el costo, en el riesgo y en el calendario de ejecución, tanto del dispositivo Intor propiamente dicho como del programa de desarrollo de la fusión.

- Examinar las posibles repercusiones de los adelantos previsibles en física, tales como la explotación con corriente continua y el calentamiento por radiofrecuencia.

- Analizar más detalladamente ciertas cuestiones críticas que afectan profundamente al diseño, tales como: configuración mecánica y facilidad de mantenimiento; tritio (reproducción y fugas); diseño de la primera pared; control de impurezas; y configuración de los desviadores.

- Esbozar el diseño de instalaciones avanzadas para ensayos del toro —tales como un segmento en que se combinen la reproducción de tritio y la generación de electricidad— y de instalaciones de ensayo complementarias no relacionadas con la fusión.

- Definir proyectos específicos de investigación y desarrollo necesarios para el diseño del Intor.

- Preparar un informe sobre la optimización del diseño teórico.

Cada una de las entidades participantes en el Cursillo práctico sobre el proyecto Intor designó cuatro participantes que se reunieron en Viena varias veces al año para definir los trabajos del Cursillo, examinar y discutir las contribuciones de las cuatro entidades y preparar el informe del Cursillo. (En los casos necesarios los participantes contaron con el concurso de expertos.) En su mayor parte, el trabajo del Cursillo del Intor fue llevado a cabo por expertos que prestaron servicios sin ausentarse de sus instituciones nacionales. Esta labor exigió el trabajo de unos 100 científicos e ingenieros superiores y entre 10 y 20 años-hombre de esfuerzo a cada una de las cuatro entidades que intervinieron en la Fase Cero, y entre 15 y 20 años-hombre en la Fase Uno.

Ciertas características adicionales de la serie del Cursillo Intor son dignas de mención. El patrocinio del Organismo ha permitido un grado de cooperación internacional que hubiera sido difícil lograr de otra manera. La disponibilidad de conocimientos técnicos especializados aportados por los principales grupos interesados en la fusión en el mundo entero han contribuido significativamente al valor del trabajo. Los resultados logrados hasta la fecha han permitido delinear sistemáticamente las cuestiones que hay que enfrentar para llegar al aprovechamiento de la energía de fusión, y ha concentrado la atención de la comunidad mundial de la función sobre estos aspectos. También cabe señalar el carácter de “importancia propia” de esta tarea; es decir, que cada segmento de la actividad desarrollada constituye una contribución valiosa y útil a la labor general de desarrollo de la fusión, cualesquiera que sean las decisiones que se tomen con respecto a la continuación del Intor. Las actividades en curso —las de la Fase IIA mencionada anteriormente— deberán culminar en junio de 1983, y para entonces los países participantes habrán llegado a una decisión en cuanto al progreso futuro del Intor. El OIEA está dispuesto a seguir prestando la ayuda necesaria, si así lo solicitan los participantes, para este importante ejemplo de cooperación internacional en la utilización de la energía atómica con fines pacíficos.