

Cooperación mundial en materia de fusión nuclear: Historial de progresos sostenidos

Trabajando juntos para aunar recursos y conocimientos especializados, los países avanzan hacia el diseño de un reactor de fusión experimental

por T. J. Dolan,
D. P. Jackson,
B.A. Kouvshinnikov
y D. L. Banner

Los océanos de la Tierra encierran suficiente energía potencial para millones de años. Sus aguas contienen deuterio, isótopo pesado de hidrógeno y combustible principal para el reactor de fusión nuclear. El deuterio extraído de un solo litro de agua podría generar tanta energía como la combustión de 300 litros de gasolina.

Aunque pasarán decenios antes de que esta posibilidad se convierta en realidad, ya se han dado importantes pasos. El desarrollo tecnológico y científico de nuestros días hace cada vez más posible la tecnología de la fusión nuclear. En gran medida, el progreso en la investigación y desarrollo de la fusión está impulsado por las crecientes necesidades de energía del mundo, las preocupaciones ambientales y las tendencias de la población.

La quema de combustibles fósiles para producir energía y electricidad tiene sus límites. En particular, existen cuatro factores que limitan su utilización:

- los efectos en la salud humana de la combustión de combustibles fósiles (enfisema, cáncer)
- los efectos en el medio ambiente (lluvia ácida, efecto de invernadero, etc.)
- la necesidad de ahorrar los hidrocarburos para combustibles convenientes y como materia prima para la industria química
- las reservas de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) son finitas.

Al estimar el suministro energético mundial, el Instituto de los Recursos Mundiales (WRI) ha determinado que las *reservas* totales de energía comprobadas en el mundo son de $3,5 \times 10^{22}$ julios (J). De este total, se calcula que las *reservas* comprobadas de carbón sean de $2,44 \times 10^{22}$ J aproximadamente; las *reservas* comprobadas de petróleo, alrededor de $0,56 \times 10^{22}$ J y las *reservas* comprobadas de gas natural, de unos $0,50 \times 10^{22}$ J.

Existen otros llamados *recursos* combustibles fósiles que podemos obtener. Sin embargo, estos son

más difíciles de recuperar. Por tanto, el precio de estos combustibles aumentará significativamente durante la transición del uso de las *reservas* al uso de los *recursos*.

En 1994 la tasa mundial de consumo de energía primaria fue de unos 11,6 teravatios (TW), y de estos alrededor del 87% se produjo a partir de combustibles fósiles. A esta tasa de consumo, las reservas mundiales de combustible fósil durarían unos 120 años. No obstante, a pesar de las medidas eficaces de conservación, la tasa de consumo de energía está aumentando a medida que las naciones en desarrollo mejoran sus niveles de vida. Con una tasa de crecimiento anual del 2% en el consumo de energía, estas reservas durarían 61 años solamente.

En los decenios futuros, se necesitarán muchas centrales eléctricas nuevas para aumentar la capacidad total y satisfacer las demandas de electricidad, para sustituir las centrales eléctricas viejas y para reemplazar las centrales alimentadas con combustible fósil por motivos relacionados con el medio ambiente, la salud y los costos. Incluso basándose en los escenarios más optimistas, los investigadores han proyectado un déficit en el suministro de energía para el año 2030 que sobrepasa los 5 TW, cantidad alarmante equivalente a 5000 centrales eléctricas con capacidad para producir 1000 megavatios de electricidad cada una. Se tienen que desarrollar e introducir importantes fuentes de energía no fósil para suministrar más del 10% de la energía mundial dentro de los próximos 40 años*.

La mayoría de las fuentes renovables de energía -aunque hacen contribuciones apreciables en determinadas situaciones- serán insuficientes para producir las grandes cantidades de energía eléctrica que se necesitan. Sin embargo, hay tres fuentes que podrían satisfacer las necesidades mundiales: el sol, la fisión y la fusión. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes.

La energía solar es difusa, intermitente, no apropiada en algunos climas y generalmente es cara. Los reactores reproductores de fisión podrían prolongar el suministro mundial de combustibles fisionables, pero no son totalmente aceptados por el público. Los reactores

El Sr. Dolan es Jefe de la Sección de Física de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA; el Sr. Jackson es Director del programa de fusión del Canadá y Presidente del CIIF; el Sr. Kouvshinnikov es oficial de información de la oficina del ITER en el OIEA; y el Sr. Banner es jefe de la Sección de Física del OIEA. Los autores agradecen la colaboración de varios colegas que aportaron información y sugerencias.

*Véase "The need for research and development in fusion: Economical energy for a sustainable future with low environmental impact", por B. G. Logan, L. J. Perkins, R. W. Moir y D. D. Rytuv, Fusion Technology 28, págs 236-239 (1995).

nucleares de fusión podrían tener muchas características deseables pero hay que trabajar mucho todavía para hacerlos realidad. Si los reactores de fusión se desarrollaran con éxito, como muchos piensan que se logrará, podrían iluminar de manera significativa el cuadro energético mundial. (Véase el recuadro.)

También es posible desarrollar un reactor híbrido de fusión-fisión mediante la colocación de uranio en la capa fértil de un reactor de fusión, para elevar la producción de potencia y reproducir el combustible fisiónable. Este reactor híbrido podría tener ventajas económicas, pero sería más difícil de autorizar por razones de seguridad, medio ambiente y garantía.

El mundo necesita perseverar con tesón en el uso de la energía nucleoelectrónica, para facilitar el emplazamiento de reactores de fisión avanzados y luego de reactores de fusión antes de que la escasez de combustibles fósiles provoque un aumento de los precios de los combustibles. Además, las opciones nucleares cumplirán una función esencial para contrarrestar la amenaza del cambio climático mundial que se percibe cada vez más como consecuencia del uso de combustibles fósiles. La energía de fisión ya está sustituyendo parcialmente algunos combustibles basados en el carbono, y en el futuro, la energía de fusión podría resultar aún más atractiva. Por estas razones, se llevan a cabo actividades de investigación y desarrollo de la fusión a nivel mundial, en unos 40 Estados Miembros del OIEA. Dicha labor incluye estudios sobre la seguridad de la fusión para garantizar que se logren la seguridad potencial y las ventajas ambientales de la energía de fusión.

Por muchas razones, la cooperación mundial ha caracterizado la investigación y el desarrollo de la fusión nuclear. La colaboración se ha desplazado de los pequeños experimentos al diseño de un reactor termonuclear grande. Este artículo presenta un panorama general de los esfuerzos de cooperación y el estado actual de los trabajos en curso.

Una historia de cooperación internacional

La cooperación mundial ha sido particularmente valiosa en la investigación de la fusión por diversas razones: necesidad de aunar los conocimientos especializados y compartir el costo de proyectos grandes; deseo de acelerar los progresos mediante el intercambio de conocimientos sobre la teoría del plasma, los resultados de los experimentos, los códigos de computadoras, las propiedades de los materiales, los adelantos tecnológicos; y deseo de ayudar a los países en desarrollo a aumentar sus conocimientos especializados en la física y la tecnología de la fusión.

En el decenio de 1950, los experimentos de fusión nuclear eran pequeños, empleaban a pocas personas y su costo estaba en el orden del millón de dólares de los Estados Unidos. Actualmente, algunos de los experimentos son mucho más grandes, emplean a cientos de personas altamente calificadas (que no todas pudieran encontrarse en un solo país) y pueden costar miles de millones de dólares. También hay muchos experimentos de fusión de pequeña y mediana escalas

Posibles características positivas de la energía de fusión

Desde el punto de vista de muchos aspectos energéticos y ambientales, la fusión nuclear tiene una serie de características atractivas:

Suministro de combustible: Extracción del deuterio del agua sin subproductos dañinos; su obtención no es costosa para ningún país. Hay suficiente deuterio en los océanos para millones de años.

Minería: Extracción limitada de litio, utilizado para reproducir el tritio de los reactores de fusión. (El agua de mar también contiene 0.17 ppm de litio.)

Aspectos ambientales: La fusión es segura desde el punto de vista del medio ambiente

Proliferación de armas nucleares: Ausencia de plutonio y uranio.

Seguridad: La cantidad de combustible en el plasma es tan pequeña que ni su quema completa causaría una explosión. La extracción del calor no es difícil a causa del bajo nivel de calor producido por la desintegración, disperso en un volumen grande. La cantidad de tritio puede reducirse al mínimo mediante un diseño cuidadoso. La posible dosis de radiación fuera del emplazamiento durante los accidentes puede ser tan baja que no se requieran planes de evacuación.

Subproductos radiactivos: La generación de radiactividad de período largo en la estructura puede reducirse al mínimo mediante la selección cuidadosa de los materiales. La aleación de vanadio, el refrigerante de litio y el combustible de deuterio-tritio no quemado podría reciclarse.

que hacen una valiosa contribución a los esfuerzos mundiales.

De todas formas, la posible importancia de la energía de fusión en el futuro hace necesario que los países también posean programas nacionales de fusión bien establecidos para que puedan aplicar los resultados científicos y tecnológicos que emanen de la colaboración internacional. Aunque la mayoría de las investigaciones sobre fusión están en una etapa pre-competitiva, existen esferas técnicas donde es necesario proteger la propiedad intelectual de los países contribuyentes, y este requisito debe ser respetado al establecer los acuerdos de colaboración. También existe cierta preocupación respecto del intercambio de tecnología apta para posibles aplicaciones militares, como es el caso de la tecnología de fusión inercial de confinamiento.

A principios del decenio de 1950, en varios países comenzaron a realizarse de manera independiente investigaciones sobre la fusión nuclear cubiertas por el secreto militar. Se estudiaron las extracciones magnéticas, los espejos y los dispositivos toroidales y se observaron algunos neutrones. Había optimismo en cuanto al uso de "la energía de fusión dentro de 20 años". Luego, el optimismo inicial fue atemperado por el conocimiento de que los neutrones no eran producto de las reacciones termonucleares y que las inestabilidades del plasma perjudicaban el confinamiento. Se necesitaba una mejor comprensión acerca del comportamiento del plasma y esta podría facilitarse mediante el intercambio de los resultados con otros países.

La Unión Soviética abrió el camino en 1956 cuando compartió sus resultados en la investigación de la fusión con los países occidentales. La primera

cooperación internacional de importancia tuvo lugar en la Conferencia de Ginebra sobre la utilización de la energía atómica con fines pacíficos celebrada en 1958. En el mismo año, el OIEA comenzó sus actividades. La primera Conferencia del OIEA sobre investigaciones en materia de física del plasma y fusión nuclear controlada se celebró en Salzburgo en 1961 y hoy día esta reunión se celebra cada dos años (ahora con el nombre de Conferencia del OIEA sobre la energía de fusión). En 1972, el OIEA estableció el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión (CIIF), que asesora al Organismo en su amplio ámbito de actividades de investigación sobre la fusión.

A la par con las actividades del Organismo, con los años se han establecido muchos acuerdos bilaterales y multilaterales entre los países para la colaboración en la investigación de la fusión. Históricamente, esos acuerdos fueron a menudo los primeros pasos para incorporar a nuevos participantes en la labor de cooperación internacional en materia de fusión. En otros casos, han demostrado ser particularmente útiles cuando se vislumbra un alto nivel de colaboración mutua en esferas específicas de trabajo. Ejemplos de esa colaboración son la participación del Japón en los proyectos estadounidenses sobre Instalación de Prueba de los Sistemas de Tritio y Doble-III, y la participación del Canadá en el ITER mediante acuerdos con la Unión Europea.

El Organismo Internacional de Energía (OIE), que forma parte de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, fue creado en el decenio de 1970 por los países industrializados occidentales en respuesta a las crisis de los precios del petróleo en 1973. El OIE abarca todas las esferas de la actividad de investigación y desarrollo de la energía, incluida la fusión, mientras que su organización asociada, la Agencia para la Energía Nuclear, abarca las esferas de la fisión.

La colaboración del OIE se establece mediante la ejecución de acuerdos con anexos referentes a esferas específicas de trabajo. En principio, todo país miembro del OIE puede participar en cualquiera de estos acuerdos asumiendo parte de los costos asociados en calidad de Parte Contratante; otros países no miembros también pueden participar ahora como Partes Contratantes Asociadas, como ha hecho Rusia en varios acuerdos en materia de fusión. Actualmente, se hallan en vigor acuerdos de ejecución que incluyen los reactores Tokamak grandes; TEXTOR; el perfeccionamiento de ASDEX; estelaradores; dispositivos de extricción de campo invertido; materiales de fusión; la tecnología nuclear de fusión; y los aspectos ambientales, de seguridad y económicos de la energía de fusión.

Estas actividades son supervisadas por el Comité Coordinador de la Energía de Fusión, que es la contraparte en el OIE del CIIF, y los dos comités tienen varios miembros en común. En años recientes, mediante estos comités de supervisión se han realizado crecientes esfuerzos para coordinar las actividades de los dos organismos relativos a la fusión, con vistas a evitar coincidencias y duplicaciones.

Orígenes del proyecto ITER

En 1978, el OIEA organizó el taller sobre el reactor Tokamak internacional (INTOR) para definir el próximo Tokamak experimental de importancia, según la recomendación del CIIF. Este trabajo reunió información sobre el comportamiento del plasma, secciones transversales y propiedades de los materiales, produjo un diseño de reactor de referencia y definió los problemas principales que se debían resolver. Los resultados fueron documentados en una serie de informes del OIEA publicados de 1982 a 1988.

El éxito del INTOR en demostrar la viabilidad de la colaboración técnica sostenida fue un factor que influyó en el establecimiento posterior del proyecto sobre el Reactor termonuclear experimental internacional (ITER). (Véase la figura de la próxima página.) Otro factor fueron las reuniones del Grupo de los Siete ("Reunión cumbre económica occidental") que habían reconocido que la fusión era una de las esferas con posibilidades de incrementar el crecimiento económico mediante la cooperación mutua. Estos y otros factores dieron el impulso político inmediato al proyecto ITER, el cual fue propuesto por el Secretario General Gorbachov (URSS) al Presidente Mitterrand (Francia), y posteriormente al Presidente Reagan (EE UU) en la Reunión Cumbre de Ginebra de 1985.

Por último, en 1988, se inició la actividad de diseño conceptual (ADC) del ITER por las cuatro partes contratantes: la Comunidad Europea, el Japón, la Unión Soviética y los EE UU, que tienen todos importantes programas de investigación de la fusión. Después de completar la ADC, las cuatro partes acordaron proseguir con las actividades de diseño técnico (EDA) a partir de 1992-1998.

El Organismo ha desempeñado un papel crucial en la creación del ITER, y ahora ofrece su patrocinio para la colaboración cuatripartita y algunos servicios de apoyo, que incluye la administración de los fondos conjuntos del ITER y la coordinación del trabajo técnico pertinente dirigido por la Sección de Datos Nucleares del Organismo.

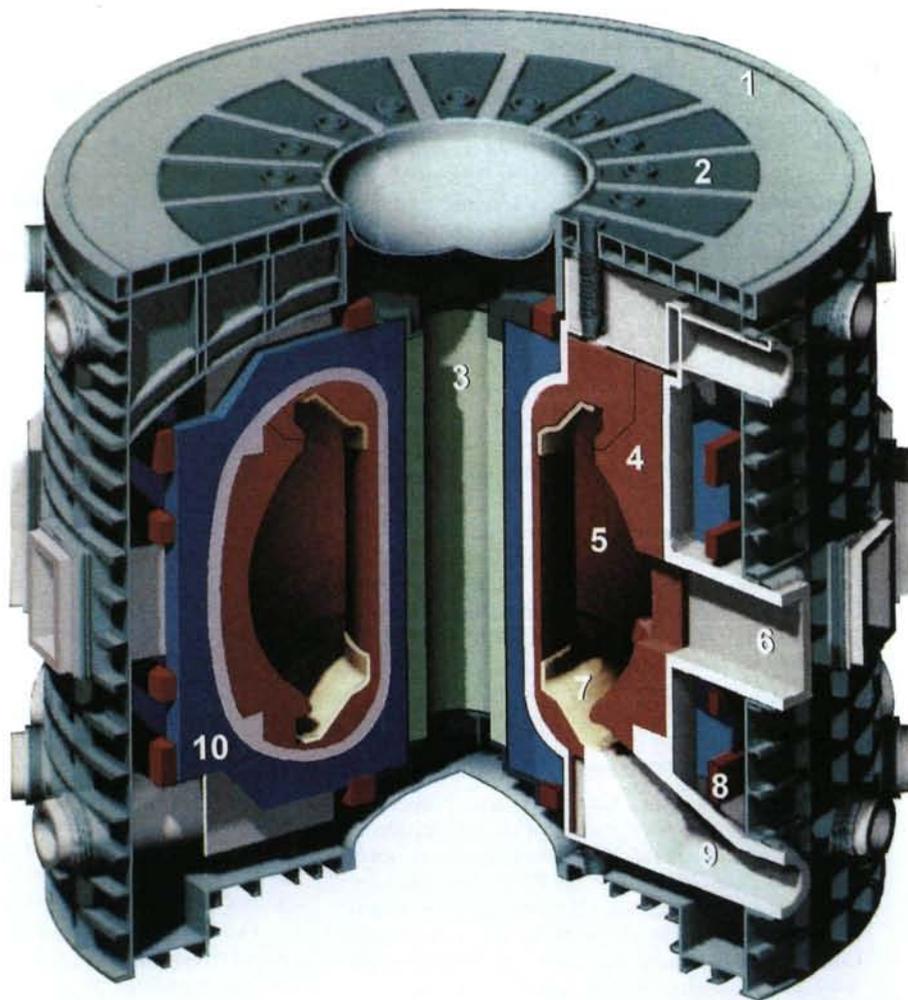
Actividades del OIEA relacionadas con la fusión

Además de dar apoyo al ITER, el OIEA tiene una variedad de otras actividades que promueven el desarrollo de la colaboración internacional en la investigación de la fusión nuclear. (Véase el cuadro de la página 21.) En esencia, el OIEA es el foco de atención principal para esa colaboración multinacional en la investigación de la fusión.

La revista mensual *Fusión Nuclear* comenzó a publicarse en septiembre de 1960. La conferencia bienal del Organismo, que abarca un amplio espectro de tópicos en la investigación de la fusión, se caracteriza por tener alrededor de 500 participantes. El personal de la Sección de Datos Nucleares del OIEA actualiza las bibliotecas de datos, distribuye la información nueva a los investigadores de todo el mundo y planifica la investigación para eliminar los des-

Consenso renovado del Consejo del ITER

Después de tres decenios de progreso sostenido en el diseño y la experimentación, los cuatro principales participantes en las investigaciones de la fusión a nivel mundial llegaron a un acuerdo en 1992 sobre los objetivos y requisitos del próximo paso de adelanto para el desarrollo de la fusión como fuente de energía. El ITER fue concebido como el proyecto para lograr estos objetivos mediante la participación en pie de igualdad de las cuatro partes contratantes. La amplitud y profundidad de la física fundamental, la tecnología, los conocimientos e investigaciones necesarios para apoyar el ITER, así como su costo, justifican que se emprenda mediante la cooperación internacional. En julio de 1995, cuando las actividades de diseño técnico del ITER estaban aún por concluir, el consenso renovado del Consejo del ITER reafirmó que el ITER es un paso necesario; que sus objetivos siguen siendo alcanzables y no deben alterarse; que el diseño puede satisfacer los objetivos; que la cooperación cuatripartita ha demostrado ser un marco eficiente; y que éste es el momento para emprender este proyecto. El éxito de la fusión en todo el mundo depende de este esfuerzo, y el ITER debe continuar beneficiándose al máximo de la cooperación internacional, para que la física y los conocimientos tecnológicos de la fusión se concentren y consoliden en apoyo al ITER, haciendo un uso óptimo de recursos abundantes pero finitos .



Modelo computarizado del Reactor termonuclear experimental internacional (ITER), dispositivo de fusión que, una vez construido, tendrá 30 metros de altura aproximadamente. Se muestran: 1) vasija de vacío de criostato; 2) abertura de entrada vertical; 3) solenoide central; 4) capa fértil/blindaje; 5) cámara del plasma; 6) abertura de acceso a la cámara del plasma; 7) divisor; 8) imán del campo poloidal; 9) conducto de la bomba de vacío para evacuar; 10) imán del campo toroidal.

niveles de los conocimientos actuales. Los datos atómicos y moleculares, así como los datos sobre la interacción plasma-material recopilados y evaluados por el OIEA son de especial utilidad para el proyecto ITER.

El CIIF sirve de enlace con los Estados Miembros, permite establecer contactos con los expertos en diversas especialidades de la investigación de la fusión y sirve de guía para la planificación de las actividades de investigación del OIEA en materia de fusión. Los miembros del CIIF son designados por el Director General del OIEA.

Anualmente, se celebran algunas reuniones de comité técnico como la reunión sobre las investigaciones con pequeños reactores Tokamak. Otras se celebran cada dos o tres años, como las dedicadas al diseño del reactor de fusión y la seguridad de la fusión. Algunas reuniones de comité técnico y de grupo asesor tienen lugar con menos frecuencia, como las relativas a la física de las partículas alfa y a la física del módulo H.

De los programas coordinados de investigación (PCI), que pueden durar de dos a cinco años, se obtienen informes científicos que resumen el estado de las investigaciones en una esfera particular. Por lo general, varios PCI relacionados con la fusión se llevan a cabo simultáneamente, y en cada uno de ellos participan de 5 a 10 investigadores de Estados Miembros tanto desarrollados como en desarrollo. El programa de cooperación técnica del Organismo comprende además, entre otras actividades, becas para que los científicos de los países en desarrollo trabajen en los principales laboratorios. Se está instando a los Estados Miembros del OIEA a que incrementen sus solicitudes a fin de utilizar más plenamente este programa en la esfera de la investigación de la fusión.

Estado del diseño técnico del ITER

El trabajo y el grupo central conjunto (JCT) del ITER están diseminados entre los tres emplazamientos de trabajo conjunto conectados entre sí electrónicamente: Garching, en Alemania, por la Unión Europea (componentes del interior de la vasija); Naka, en la Prefectura de Ibaraki, en el Japón (componentes del exterior de la vasija); y San Diego, California, en los Estados Unidos (integración del diseño, medio ambiente, seguridad y salud). La sede oficial del Consejo supervisor del ITER está en Moscú, Rusia.

Además, cada una de las cuatro Partes cuenta con un grupo nacional que participa en las actividades de diseño y realiza las tareas de investigación y desarrollo asociadas. El Consejo del ITER, que está integrado por dos representantes de cada una de las cuatro Partes, dirige el proyecto y designa al director del ITER, el cual lo administra. Un comité técnico asesor integrado por cuatro científicos o técnicos prominentes de cada una de las Partes, designados por el Consejo del ITER, asesora al Consejo en todas las cuestiones técnicas solicitadas por éste. Un comité asesor de gestión, que consta de tres representantes designados por cada una de las Partes, asesora al Consejo en materia de gestión y administración. Si bien este sistema es complicado y está disperso por todo el mundo, funciona satisfactoriamente.

Durante sus seis años de ejecución, las actividades de diseño técnico del ITER abarcan el trabajo de *diseño* con un cuadro orgánico total de 1340 personas/año, que junto con la investigación y el desarrollo de la tecnología básica y la ingeniería específica, suma en total 750 millones de dólares (en dólares de los Estados Unidos de 1989). El grupo central conjunto del ITER elaboró un informe titulado *ITER Interim Design Report, Cost Review and Safety Analysis*, aprobado en julio de 1995 por el Consejo del ITER con vistas a someterlo a la consideración de las Partes en el proyecto. Este informe estuvo complementado por una documentación técnica pormenorizada bajo los títulos *Interim Design Report* y *Design Description Documents*, con un total de casi 4350 páginas y 1400 dibujos.

A principios de la primavera de 1996, el OIEA publicará el *Interim Design Report* como publicación técnica independiente en la Colección de Documentos del ITER. Se ha avanzado bastante en la solución de la mayoría de los problemas técnicos.

Se calcula que la fase constructiva del ITER requiera alrededor de 10 años, desde que se tome la decisión de construirlo hasta que se obtenga el primer plasma.

Perspectivas de colaboración en el futuro

En la esfera de la fusión nuclear, habrá aún proyectos de investigación importantes que estarán a cargo fundamentalmente de una de las partes, pero incluso en ellos participarán expertos de otros países. Los investigadores de todo el mundo han aprendido a respetar mutuamente sus conocimientos técnicos especiales y a apreciar el valor del intercambio de opiniones. El proyecto ITER ha logrado grandes avances en la colaboración internacional, demostrando así que es posible superar los problemas ocasionados por los intereses y el orgullo nacionales, la separación geográfica de los equipos de investigación y las diferencias culturales. Por ello, la experiencia del ITER en la dirección de un proyecto grande y multinacional también podría ser útil para otros proyectos futuros.

Dado el alto costo de otros posibles dispositivos de fusión nuevos como una fuente neutrónica de 14 MeV para ensayo de materiales y un reactor de demostración Tokamak, es probable que también esos proyectos procuren el financiamiento conjunto de varias Partes. Dadas las presiones políticas que se ejercen en todo el mundo para recortar los presupuestos, se fomenta la repartición de los gastos de los grandes proyectos de investigación de la fusión.

Otro aspecto ventajoso de la colaboración internacional es la posibilidad de incrementar la participación en los proyectos principales de científicos innovadores de los países en desarrollo. El trabajo de laboratorio conjunto de estos científicos puede contribuir a acelerar el avance de la investigación de la fusión, además de ayudar a los países en desarrollo.

Las aplicaciones industriales de los plasmas se están comercializando en todo el mundo. Estas aplicaciones abarcan los recubrimientos con plasma pulverizado, la modificación de superficies, la síntesis de

Actividades del OIEA relacionadas con la colaboración internacional en la investigación de la fusión

Publicación de la revista científica mensual *Fusión Nuclear* y sus suplementos, como *World Status of Activities in Controlled Fusion Research* (publicación periódica) y *Atomic and Plasma-Material Interaction Data for Fusion* (publicación anual)

Publicación del *Internacional Bulletin on Atomic and Molecular Data for Fusion* (semestral), distribuido a más de 800 instituciones e investigadores de los Estados Miembros del organismo

Organización de la Conferencia bienal del OIEA sobre la energía de fusión y publicación de las actas de la conferencia.

Desarrollo de bibliotecas de datos nucleares (como la FENDL), datos atómicos y moleculares y datos de la interacción plasma-material que resultan importantes para la investigación de la fusión. Se ha recomendado internacionalmente el uso de estos datos en la investigación de la fusión y la labor de diseño del reactor. Dichos datos se encuentran almacenados en el Sistema de Información sobre Datos Nucleares (NDIS) y el Sistema de Información de Datos Atómicos y Moleculares (AMDIS), y son asequibles en línea por la vía de Internet. El Sistema Internacional de Documentación Nuclear (INIS) del OIEA también comprende un especialista de fusión

Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión (CIIF)
Reuniones de comité técnico sobre temas pertinentes, como:

- Investigación con empleo de reactores Tokamak
- Adelantos en la elaboración de modelos informatizados de plasmas de fusión
- Física de las partículas alfa
- Operación de los reactores Tokamak en régimen estacionario
- Física del módulo H
- Seguridad de la fusión
- Diseño del reactor de fusión

Reuniones de grupo asesor

- Investigación del plasma en el Tercer Mundo
- Energía de fusión inercial

- Aspectos técnicos del proceso y el intercambio de datos atómicos y moleculares

Programas coordinados de investigación (PCI), como:

- Desarrollo de soporte lógico (para la simulación numérica y el procesamiento de datos)
- Calentamiento del plasma y sistemas de diagnóstico en los países en desarrollo
- Predicciones de la vida útil de la primera pared del reactor de fusión
- Erosión inducida por interacción del plasma en materiales de reactores de fusión
- Tasas de enfriamiento radiactivo de las impurezas del plasma de fusión
- Datos de referencia sobre las propiedades termomecánicas de los materiales del plasma del reactor de fusión
- Retención y emisión de tritio a partir de los materiales de revestimiento del plasma del reactor de fusión
- Datos atómicos y de la interacción plasma-pared para la elaboración del modelo de divisor del reactor nuclear de fusión

Coordinación de la actividad de la Red del Centro Internacional de Datos Atómicos y Moleculares, que abarca 15 centros nacionales de datos

Libro, *Energy from Inertial Fusion* (1995)

Status Report on Controlled Thermonuclear Fusion, Resumen Ejecutivo preparado por el CIIF sobre el estado actual de la investigación en todo el mundo, Edición por el Aniversario de *Fusión Nuclear*, Vol. 30, No. 9 (1990)

Proyectos de cooperación técnica con los países en desarrollo, como becas

Auspicio de las actividades de diseño técnico (EDA) del reactor termonuclear experimental internacional (ITER)

nuevos materiales, la ampliación de la reacción química y el tratamiento de sustancias químicas contaminantes. El OIEA está iniciando un PCI para promover la colaboración en esta esfera.

Entre las necesidades del programa mundial de investigación de la fusión están la terminación del proyecto ITER; un experimento de encendido de la energía de fusión por inercia; la investigación del concepto de fusión alternativa; el desarrollo de los materiales para el reactor de fusión (se requiere de una fuente de neutrones potente para la prueba de irradiación); simulación del plasma y un programa sólido de teoría y el apoyo a la investigación en las universidades y la educación de los estudiantes en la ciencia del plasma y la tecnología de la fusión. Es posible satisfacer más eficazmente la mayoría de estas necesidades mediante la colaboración internacional que mediante las acciones independientes de cada país.

En resumen, el mundo necesita de la investigación de la fusión nuclear a fin de contar con una fuente de energía complementaria a la energía solar y a los reactores de fisión nuclear. La colaboración interna-

cional permite agrupar expertos y distribuir los costos de los grandes proyectos; acelerar el avance mediante el intercambio de conocimientos y ayudar a los países en desarrollo a construir su propia infraestructura en la ciencia del plasma y la tecnología de la fusión.

El OIEA, el OIE y varios acuerdos bilaterales promueven este tipo de colaboración. El OIEA realiza una amplia gama de actividades, entre ellas su revista mensual; la conferencia bienal; la coordinación de los datos atómicos, moleculares y de la interacción plasma-material; las reuniones de comité técnico y los programas coordinados de investigaciones.

Durante los últimos cincuenta años, el programa mundial de investigación de la fusión nuclear -desde la primera iniciativa soviética, las actividades del OIEA, hasta las actividades de diseño técnico del ITER- se ha convertido en un ejemplo notable de cooperación científica que debe beneficiar a todos los pueblos, si llegan a emplazar centrales nucleares de fusión para ayudar a satisfacer las necesidades de energía y electricidad del mundo.