

MEDIO AMBIENTE MARINO, RECURSOS HÍDRICOS E INDUSTRIA

MEDIO AMBIENTE MARINO, RECURSOS HÍDRICOS E INDUSTRIA

OBJETIVO DEL PROGRAMA

Mejorar las capacidades de los Estados Miembros para: vigilar y evaluar la radiactividad en el medio ambiente marino con el fin de protegerlo, y utilizar técnicas nucleares y de isótopos ambientales para acrecentar los conocimientos sobre los procesos y la contaminación marinos y evaluarlos; integrar en la planificación y gestión de recursos del ciclo hídrico las técnicas nucleares e isotópicas adecuadas y comprender mejor los efectos hidroclimáticos inducidos por el ser humano; y adaptar y utilizar técnicas radiológicas y de radiotrazadores para aumentar la productividad industrial y reducir al mínimo los riesgos medioambientales.

PANORAMA GENERAL

El programa del Organismo sobre el medio ambiente marino continuó centrándose en la protección de los océanos y mares costeros mediante la vigilancia y evaluación de la radiactividad y la utilización de técnicas nucleares e isotópicas para investigar el destino y comportamiento de los contaminantes. Entre las contribuciones más importantes del Organismo en 1999 figuran la creación de capacidad, la garantía de calidad, el suministro de métodos y materiales de referencia, la capacitación y la participación en cruceros para recoger muestras marinas en el Océano sur y a lo largo de la costa de Marruecos.

Como parte de su labor en la esfera del aprovechamiento de los recursos hídricos, el Organismo creó una metodología isotópica para evaluar la renovación de las aguas subterráneas en zonas con escasos recursos hídricos. Dicha metodología ayudará a los Estados Miembros en el aprovechamiento de sus recursos hídricos. Continuaron las actividades encaminadas a elaborar técnicas mejoradas para la medición e interpretación de datos isotópicos,



mediante las actividades de cooperación técnica del Organismo se abordaron cuestiones específicas de aprovechamiento de los recursos hídricos en los Estados Miembros.

En la esfera de las aplicaciones industriales, se promovieron mediante un PCI las técnicas de tratamiento por irradiación para obtener biomateriales y látex de caucho vulcanizado. La labor se centró en el empleo de haces de electrones para tratar efluentes orgánicos industriales y aguas contaminados, y dio lugar a muchos estudios piloto con posible aplicación a gran escala. Se proporcionó a los Estados Miembros en desarrollo documentación y capacitación en procedimientos de ensayo no destructivo y en el empleo de trazadores y sondas nucleónicas en la industria.

MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE RADIONUCLEIDOS EN EL MEDIO AMBIENTE MARINO

El IAEA-MEL elaboró un sistema innovador para la vigilancia de la radiactividad marina utilizando monitores gamma estacionarios y transmisión de datos vía satélite. El nuevo sistema se instaló en abril en la bahía de Mónaco para verificar su comportamiento y evaluar los resultados. Este equipo puede registrar y transmitir información sobre los radionucleidos emisores gamma en el agua del mar y sobre una serie de parámetros, entre ellos, la temperatura, salinidad, velocidad y dirección presentes de las aguas marinas, y puede producir registros continuos a largo plazo de la radiactividad marina en lugares distribuidos en los océanos de todo el mundo. Esto reviste particular interés para evaluar los efectos de las instalaciones nucleares en situaciones normales o de emergencia y para vigilar los lugares de vertimiento de desechos radiactivos, pero puede utilizarse también como sistema de vigilancia en lugares costeros o de alta mar, caladeros de pesca, o a lo largo de rutas marítimas importantes. El sistema de vigilancia funcionó perfectamente durante un período de ensayo de ocho meses, alcanzando la sensibilidad proyectada de 4 Bq/m³ para la concentración de cesio 137 en agua. Se proyecta instalar el monitor en el 2000 en el Mar de Irlanda para investigar el transporte a

largo plazo de cesio 137 liberado de la planta de reprocesamiento de combustible nuclear de Sellafield.

En el marco de un proyecto de Estudios sobre la Radiactividad Marina en los Océanos del Mundo, apoyado por el Gobierno del Japón, el Organismo participó en la expedición ANTARES IV al Océano Antártico organizada por institutos franceses. Se tomaron muestras de las aguas someras y se obtuvieron tres perfiles de las aguas hasta una profundidad de 5 000 m, también se obtuvieron muestras de

“El IAEA-MEL elaboró un sistema innovador para la vigilancia de la radiactividad marina utilizando monitores gamma estacionarios y transmisión de datos vía satélite.”

plancton y pescado. El objetivo es estudiar el movimiento vertical de los radionucleidos en el océano. Por primera vez el IAEA-MEL realizó análisis en el exterior directamente a bordo de torio 234 de período corto utilizando las técnicas más modernas. Se utilizaron los desequilibrios torio 234/uranio 238 para estudiar el transporte de partículas de la zona fótica superior a aguas inferiores más profundas.

Durante la primera reunión para coordinar las investigaciones de un PCI sobre estudios mundiales de la radiactividad marina, se elaboró un sistema de información geográfica para evaluar la radiactividad marina en los mares y océanos del mundo. Se eligieron como radionucleidos representativos de radionucleidos antropogénicos en el medio ambiente marino el hidrógeno 3, el carbono 14, el estroncio 90, el yodo 129, el cesio 137 e isótopos del plutonio y del americio y se establecieron sus pautas de distribución principales. La evaluación de las fuentes de radiactividad antropogénicas marinas ha indicado que la precipitación radiactiva mundial es todavía la principal fuente para los océanos, aunque en algunas zonas las contribuciones de la precipitación radiactiva mundial han





resultado superadas por los efluentes de las plantas de reprocesamiento del combustible nuclear (por ejemplo, en el Mar de Irlanda y en el Mar del Norte) y por el accidente de Chernobil (el Mar Báltico y el Mar Negro).

Se finalizaron los análisis radioanalíticos de una serie de muestras de los Océanos Índico y Pacífico y del Mar Caspio. En el Océano Índico septentrional se encontraron distribuciones uniformes de estroncio 90, cesio 137, e isótopos del plutonio y del americio, confirmando que la precipitación radiactiva mundial es la principal fuente de radiactividad marina antropogénica en esta región. Las razones de actividad plutonio 238/plutonio 239+240 observadas en el Océano Índico se deben a los restos de plutonio 238 en las aguas superficiales procedentes del satélite SNAP que se quemó a altitud elevada sobre el Canal de Mozambique en 1964. Comparando los perfiles de plutonio en la columna de agua de varias expediciones al noroeste del Océano Pacífico fue posible establecer tendencias temporales y espaciales de las concentraciones e inventarios de este elemento en las aguas marinas que indican una considerable disminución con el tiempo. Los inventarios de plutonio en los sedimentos calculados a partir de datos acopiados en la base de datos global sobre radiactividad marina indican una disminución en latitud y longitud desde los polígonos de ensayo de las Islas Marshall hasta el noroeste central del Océano Pacífico, así como el nordeste del Pacífico. Este hecho está en consonancia con observaciones anteriores de que el noroeste del Pacífico ha resultado afectado por la precipitación radiactiva global (estratosférica) y por la troposférica (debida a los ensayos de armas nucleares realizados en los atolones de Bikini y Enewetak, Islas Marshall), mientras que el nordeste del Pacífico ha recibido sólo contribuciones de la precipitación radiactiva global. Análisis realizados de hidrógeno 3, estroncio 90, cesio 137 e isótopos del plutonio y del americio en las aguas superficiales y en la columna de agua del Mar Caspio indican que las cuencas profundas del mar se ventilan rápidamente, siendo el período estimado de renovación del mar aproximadamente 200 años. Los niveles de radionucleidos observados en el agua del mar pueden explicarse por la precipitación radiactiva global y, por lo

tanto, en los lugares de muestreo visitados no existían signos de fuentes adicionales de radiactividad marina antropogénica.

En el programa de servicios para el control de calidad de los análisis (SCCA) de radionucleidos en el medio ambiente marino, se finalizó un ejercicio de intercomparación de sedimentos IAEA-384 de la laguna del atolón de Fangataufa y se distribuyó material de referencia que se ha certificado en cuanto a 20 radionucleidos antropogénicos y naturales, aumentando el número de estos materiales a 38. Los laboratorios de los Estados Miembros han utilizado ampliamente estos materiales de referencia para garantía/control de calidad analíticos, elaboración de nuevos métodos analíticos y con fines de capacitación.

El apoyo al programa de cooperación técnica del Organismo incluyó ayuda técnica y científica al proyecto de cooperación técnica "Evaluación del medio ambiente marino en la región del Mar Negro". Gracias a este proyecto se han logrado mayores capacidades para evaluar la radiactividad marina y coordinar la vigilancia a escala regional. Además el proyecto puso de relieve la falta de datos existente sobre el Mar Negro en cuanto a polonio 210 natural, que es el principal causante de dosis por las vías marinas de exposición. Utilizando las capacidades logradas mediante este proyecto se han adquirido nuevos datos sobre el polonio 210. Se han estudiado las cronologías de los sedimentos utilizando la técnica de datación por plomo 210 con el fin de reconstruir la historia de la contaminación en varias zonas del Mar Negro. Se ha determinado la aportación de estroncio 90 y cesio 137 a este mar procedente de los ríos más importantes, y se inició la vigilancia en 14 puntos de las costas del Mar Negro.

En el marco de un nuevo proyecto de cooperación técnica sobre vigilancia de la contaminación en el medio ambiente marino se está evaluando la situación actual en cuanto a contaminación por radionucleidos, metales pesados y compuestos orgánicos del Mar Mediterráneo meridional. Simultáneamente se está desarrollando una capacidad regional en los Estados Miembros del Norte de África para vigilar la contaminación marina. En el

marco de este proyecto, se organizó un crucero conjunto Marruecos-OIEA para evaluar los contaminantes en el agua de mar, la biota y los sedimentos a lo largo de las costas mediterránea y atlántica de Marruecos. Además se obtuvieron mediante mediciones a bordo realizadas durante el crucero perfiles de elevada resolución de parámetros físicos y químicos, tales como conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, y nitratos y nitritos en la columna de agua.

TRANSFERENCIA DE RADIONUCLEIDOS EN EL MEDIO AMBIENTE MARINO

Los estudios experimentales de las aplicaciones nucleares se centraron en la utilización de radiotrazadores para evaluar los factores de bioacumulación, retención y transferencia de radionucleidos radiológicamente importantes y metales pesados tóxicos en organismos marinos que son de importancia global en las cadenas alimentarias oceánicas. La instalación de nuevos sistemas de acuarios experimentales modernos en el IAEA-MEL, que pueden simular diversos ecosistemas marinos, ha facilitado grandemente los estudios con radiotrazadores de especies que es muy difícil mantener en cautividad. Uno de dichos grupos son los cefalópodos, o calamares, especie depredadora que sirve como fuente primaria de alimentación a mamíferos marinos y seres humanos por igual. Para vigilar la ingestión y distribución de radionucleidos y metales en estos animales omnipresentes se expusieron jibias comunes a una mezcla de radiotrazadores en el agua y en sus alimentos. Ambas vías de exposición causaron una fuerte acumulación de contaminantes en la glándula digestiva del organismo. Aunque dicha bioacumulación y retención de contaminantes en un órgano no comestible de las jibias tendría pocas repercusiones en la población humana que consume dichos cefalópodos, grandes depredadores marinos, como las ballenas, que consumen jibias, podrían resultar expuestos a elevados niveles de metales tóxicos a través de su cadena alimentaria. Dicho mecanismo de transferencia puede ser la causa de las concentraciones de cadmio y metales pesados muy elevadas observadas en las ballenas y otros mamíferos marinos.

Otro grupo de organismos marinos actualmente objeto de interés es el plancton gelatinoso, o medusa, cuya proliferación ocasiona problemas tanto a la industria pesquera como a la del turismo. Se tiene la impresión que dichos ataques se producen en zonas sometidas a los efectos de la contaminación y como consecuencia de cambios en las cargas de nutrientes. Las medusas bentónicas y pelágicas se expusieron en condiciones experimentales controladas a la misma serie de metales y

“Las metodologías de radiotrazadores ofrecen grandes posibilidades como medio rápido y relativamente barato de seguir el comportamiento de los contaminantes e identificar órganos y tejidos afectados en especies marinas específicas.”

radionucleidos que ulteriormente se acumularon y quedaron retenidos en sus tejidos. Lo más sorprendente fue la mayor acumulación de plata en una especie habitante de los fondos marinos, *Cassiopea*. Esto indica que esta especie particular podría utilizarse como un bioindicador de la contaminación por plata, que a su vez, es un marcador químico de las aguas residuales domésticas. Además, esta especie de medusa obtiene gran parte de su nutrición por fotosíntesis de pequeñas células vegetales situadas en sus propios tejidos. Estudios realizados con radiotrazadores con luz y en la oscuridad indican que estas células pueden realmente desempeñar un papel importante en la incorporación y retención de estos contaminantes por las medusas.

El plomo es otro metal tóxico que, en zonas como los estuarios en que son usuales grandes variaciones de salinidad, puede desprenderse de las partículas adoptando una forma disuelta más biodisponible. Los camarones de los estuarios expuestos al plomo 210 acumularon rápidamente los radiotrazadores disueltos, alcanzando factores de concentración de hasta 100 en sólo dos días. En el caso del plomo casi la mitad de la cantidad incorporada estaba





situada en el exoesqueleto del camarón que cambia periódicamente a medida que crece. En el caso de metales reactivos en la superficie, como el plomo, este mecanismo fisiológico puede ser la causa de la escasa retención de metales en esta especie de camarón, y de la limitada transferencia final de plomo por la cadena alimentaria marina a las personas.

Puede evaluarse también por técnicas nucleares la transferencia y destino de los contaminantes tóxicos orgánicos. Por ejemplo, las estrellas de mar y los erizos de mar habitantes del fondo marino se expusieron a policlorobifenilo (PCB) congénere 153, muy tóxico, marcado con carbono 14, en el agua de mar y en su alimentación natural. Se concluyó que la vía predominante de incorporación era el agua, y que este congénere del PCB se concentraba principalmente en las paredes corporales y tubícelos y no en los órganos internos. El estudio con radiotrazadores de la cadena alimentaria demostró también que el tipo de alimento contaminado influía decisivamente en el grado de asimilación del PCB en el animal y en su ulterior distribución en los diversos tejidos.

Uno de los resultados más sorprendentes deducidos de todos los estudios con radiotrazadores realizados en laboratorio fue las grandes diferencias de localización en los tejidos de diferentes contaminantes en diferentes organismos marinos. Esto demuestra lo difícil que es generalizar sobre el comportamiento de

una clase de contaminantes en la biota marina. Es evidente que las metodologías de radiotrazadores ofrecen grandes posibilidades como medio rápido y relativamente barato de averiguar el comportamiento de los contaminantes e identificar órganos y tejidos afectados en especies marinas específicas.

La labor en el mar continuó centrándose en la evaluación de la retención y eliminación del carbono de las aguas superficiales del noroeste del Mar Mediterráneo. Los estudios de series cronológicas de largos períodos que abarcan actualmente más de una década (1987-1999) han comenzado a dar fruto revelando tendencias con frecuencias superiores a un año. Superpuesto a un ciclo anual, durante el que se producen grandes exportaciones de carbono en invierno — primavera y bajas durante el verano — otoño, parece existir una oscilación interanual de unos cuatro años en el flujo de carbono hacia las profundidades. Además, aportes esporádicos pero intensos de arenas saharianas transportadas a la superficie del mar pueden ocasionar un aumento de los flujos de carbono por contribución directa de partículas corticales finas y por aumento de la productividad biológica en la columna de agua (efectos de fertilización). Estos cambios con períodos diferentes indican los complejos mecanismos que intervienen en la producción de material orgánico en partículas en la superficie de los océanos, la consiguiente reducción de gases de dióxido de carbono disueltos, y el ulterior aumento en la

Nuevos acuarios experimentales en el Laboratorio para el medio ambiente marino de Mónaco

Durante el año se produjo la puesta en funcionamiento y ampliación de nuevas instalaciones experimentales de acuarios modernos en el IAEA-MEL, que se utilizan para investigación y capacitación en radioecología marina. Estos laboratorios especialmente diseñados están dotados de mesocosmos individuales que oscilan en dimensiones de 70 a 3 000 litros. Los acuarios controlados pueden regularse automáticamente a varias temperaturas y salinidades con el fin de simular exactamente diferentes ecosistemas marinos, desde el estuario hasta alta mar. Esto ha permitido la aplicación de metodologías de radiotrazadores e isótopos para evaluar la transferencia, comportamiento y destino de radionucleidos y trazas de contaminantes tóxicos en medios marinos críticos (por ejemplo, zonas costeras del Mediterráneo y del Atlántico, arrecifes coralinos tropicales y regiones pelágicas templadas). Becarios del Organismo y otros capacitandos de los Estados Miembros han comenzado a hacer uso de estas instalaciones para evaluar la utilidad de una serie de organismos marinos como “especies bioindicadoras” de diferentes contaminantes objeto de medición en sus respectivos programas nacionales de vigilancia. ■

capacidad del océano para absorber dióxido de carbono atmosférico.

En relación con estos estudios orientados al clima, se utilizaron técnicas nucleares en un experimento in situ para comparar las mediciones de flujo descendente de partículas y carbono con estimaciones calculadas de eliminación de partículas de las aguas superficiales. Durante un mes en primavera, se colocaron en el mar tres modelos de retención de sedimentos normalmente utilizados por la comunidad oceanográfica internacional y se compararon los flujos medidos con estimaciones indirectas de flujos de carbono utilizando el grado de desequilibrio entre torio 234 y uranio 238. Los resultados indicaron que los registros de los tres modelos de retención de sedimentos concordaban con la dinámica de las partículas en la columna de agua durante el período muestreado, y que las estimaciones de flujos de carbono basadas en los desequilibrios de estos radionucleidos naturales coincidían perfectamente con las mediciones directas in situ.

VIGILANCIA Y ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN MARINA

Se amplió la utilización de las técnicas de isótopos del carbono, junto con la separación cromatográfica en fase gaseosa para determinar y evaluar las fuentes de materiales orgánicos tales como el carbono en el medio ambiente marino. También se realizaron estudios del cambio de la composición en carbono 13 de las moléculas lipídicas sintetizadas por cultivo de diferentes organismos fotosintéticos. Se observaron diferencias significativas en las razones de isótopos de carbono entre las moléculas lipídicas sintetizadas por el mismo organismo y entre homólogos de la misma clase lipídica. Todas estas diferencias se tomarán en consideración para la asignación correcta de fuentes biomarcadoras y para una mejor comprensión de los procesos biogeoquímicos en el medio ambiente.

En 1999 se finalizó la instalación de un espectrómetro Finnigan Element de masas inductivamente acoplado de elevada resolución. Se definieron de nuevo los programas de

preparación de muestras y de análisis para hacer pleno uso de las opciones de introducción de muestras con flujo bajo. Las capacidades instrumentales, principalmente la resolución elevada y los límites de detección de fentogramos han favorecido a varios proyectos. Se han analizado muestras del Mar Egeo y del Golfo Pérsico en cuanto a trazas de metales, elementos de tierras raras e isótopos de uranio.

Se produjo un nuevo material de referencia (IAEA-408 Estuarine Sediment) que se encuentra actualmente a disposición de la comunidad científica. Se certificó en lo que respecta a contaminantes tales como plaguicidas organoclorados, hidrocarburos del petróleo y PCB.

Como parte del programa del Organismo de asistencia a los esfuerzos de los Estados Miembros de vigilancia de la contaminación, se realizaron estudios de la contaminación por hidrocarburos de petróleo y metales tóxicos en la zona abarcada por la Organización Regional para la Protección del Medio Marino (ROPME) en el Golfo Pérsico. Además, se realizaron ejercicios de intercomparación con respecto a contaminantes metálicos y orgánicos en los sedimentos y en la biota utilizando técnicas de muestras partidas con los laboratorios nacionales de la ROPME, y de las regiones del Mar Negro y del Mediterráneo.

APROVECHAMIENTO Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

En mayo se celebró en Viena el décimo simposio sobre "Técnicas isotópicas para el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos". Copatrocinaron este simposio, organizado por el Organismo a intervalos de cuatro años, la UNESCO, la OMM y la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas (AICH). Se presentaron memorias sobre: aplicaciones de los isótopos en la hidrología de las aguas superficiales; gestión de los recursos hídricos subterráneos; fenómenos relacionados con el cambio climático y gestión ecológica. En discusiones de mesa redonda se consideraron las futuras necesidades de investigación y desarrollo en hidrología isotópica y el papel



del Organismo en apoyo de la investigación y de los trabajos prácticos.

En un PCI que se finalizó en 1999, se mejoraron las tecnologías para la aplicación de técnicas isotópicas utilizando las concentraciones en la precipitación radiactiva de cesio 137 y plomo 210 para evaluar la erosión del suelo y las tasas de sedimentación. Se ha demostrado que la radiactividad ambiental puede utilizarse

“Los resultados de un PCI sobre el empleo de técnicas isotópicas para la evaluación de aguas subterráneas profundas de circulación lenta constituyen un instrumento complementario para evaluaciones de seguridad de emplazamientos de disposición final geológica de desechos nucleares.”

para evaluar la erosión del suelo, su distribución (sedimentación en zonas más bajas o llanuras de inundación) y la fracción de suelo erosionado que se transfiere como sedimento a las aguas superficiales. El PCI logró definir metodología normalizada que se distribuirá como manual. Además se recogieron inventarios de referencia de los dos radionucleidos en diferentes partes del mundo, resultantes de la determinación de zonas en las que las concentraciones en el suelo eran suficientemente elevadas para utilizar las metodologías elaboradas en este PCI. La descripción del PCI y los resultados obtenidos también se presentaron en una reunión de la red europea de investigación sobre el cambio del clima mundial (ENRICH), que utiliza el cesio 137 y el plomo 210 para establecer y calibrar modelos de circulación atmosférica mundial.

La integración de las técnicas isotópicas con otros métodos hidrológicos y geoquímicos para evaluar la tasa y los antecedentes de recarga de las aguas subterráneas se mejoró aún más mediante un PCI sobre la evaluación isotópica de la tasa de renovación de aguas subterráneas en zonas de escasez de agua. Se acopió información isotópica e hidrogeoquímica

detallada en 44 lugares de referencia sobre el terreno, fundamentalmente en regiones áridas. Estos datos proporcionaron estimaciones de la tasa de recarga, verificadas mediante investigaciones aplicadas sobre el terreno, que oscilaron entre fracciones de un milímetro y decenas de milímetros anuales. La metodología proporciona un método singular para estimar la tasa de renovación natural de las aguas subterráneas, que es difícil de evaluar en medios áridos con métodos hidrológicos convencionales. El informe final sobre este PCI se publicará en 2000.

En agosto/septiembre se celebró en Viena la reunión final para coordinar las investigaciones de un PCI sobre el empleo de técnicas isotópicas para la evaluación de aguas subterráneas profundas de circulación lenta y su posible aplicación para la evaluación de emplazamientos de disposición final de desechos. En este PCI se utilizó el método de datación basado en el criptón 81 en la Gran Cuenca Artesiana de Australia para estimar edades de aguas subterráneas en el intervalo de varios miles de años. Se considera que este esfuerzo conjunto de siete institutos y el Organismo ha proporcionado por primera vez información fiable sobre la edad de las aguas subterráneas en este intervalo. Además, los resultados del PCI constituyen un instrumento complementario para evaluaciones de seguridad de emplazamientos de disposición final geológica de desechos nucleares.

En una reunión de Grupo Asesor sobre el estado actual de la espectrometría de masas de razón isotópica de flujo continuo por cromatografía de gases (CF-IRMS) y sus aplicaciones en los estudios de recursos hídricos y ambientales conexos se analizaron las nuevas técnicas para determinar las razones isotópicas estables de elementos ligeros y sus requisitos desde el punto de vista de los materiales de referencia. Además de la hidrología isotópica y la geoquímica, la gama de disciplinas que utilizan firmas isotópicas se ha ampliado considerablemente. Como consecuencia de ello, los requisitos de los instrumentos analíticos han cambiado drásticamente en algunas esferas. En la reunión se examinaron varios nuevos adelantos en la instrumentación, con especial interés en la



CF-IRMS y las técnicas ópticas para la determinación de isótopos estables. En la reunión se definieron las necesidades más urgentes de materiales de referencia de isótopos estables de sustancias orgánicas disponibles a escala internacional y se establecieron directrices para la determinación de prioridades en el Programa del Organismo sobre materiales de referencia de isótopos estables.

Se ultimaron los proyectos finales de seis volúmenes de material didáctico que abarcan toda una gama de aplicaciones de isótopos ambientales en la hidrología. Esta publicación conjunta, que saldrá a la luz en 2000 en una colección de publicaciones de la UNESCO titulada "Technical Reports in Hydrology" está destinada a los participantes de cursos de capacitación del Organismo, así como a institutos de enseñanza y universidades de todo el mundo.

Se constituyó un comité de dirección científico, según lo prescrito en el Memorando de entendimiento recientemente firmado entre el Organismo y la OMM en relación con la Red mundial sobre isótopos en las precipitaciones. El comité, que asesora a las dos organizaciones sobre los aspectos operacionales de la red, celebró su primera reunión en Viena en julio. En la reunión se examinó la evolución a largo plazo de la red y se definieron medidas concretas para este fin.

Concluyó la labor de elaboración del programa informático destinado a facilitar la integración de los isótopos en la hidrología mediante una base de datos común de estudios e investigaciones hidrológicas realizados en los Estados Miembros. Este programa, conocido como "ISOHIS" (Sistema de información sobre hidrología isotópica), se puede obtener por Internet y se está distribuyendo al personal nacional de contraparte de los proyectos de cooperación técnica del Organismo y a unos 50 institutos.

Se concluyó un manual de instrucciones para el empleo de técnicas isotópicas y químicas en el aprovechamiento y la gestión de embalses geotérmicos. El manual brinda la base teórica y los procedimientos para utilizar las técnicas isotópicas en la exploración y gestión de embalses geotérmicos. Se espera que facilite el

perfeccionamiento de personal capacitado en los Estados Miembros y mejore la ejecución de los proyectos de cooperación técnica del Organismo en esta esfera.

Los laboratorios analíticos de los Estados Miembros recibieron ayuda para mejorar sus procedimientos de análisis químico mediante diversos ejercicios de intercomparación. Aproximadamente 60 laboratorios de Asia, el Oriente Medio, África y América Latina participaron en estos ejercicios, en los que se determinaron aspectos que necesitan mejoras en los procedimientos para garantizar resultados químicos aceptables. En un año, 47% de los laboratorios han demostrado mayor eficacia en su trabajo.

Se procuró la sinergia con otras organizaciones internacionales mediante un proceso consultivo relacionado con una nueva actividad titulada "Programa Internacional sobre los isótopos en el ciclo hidrológico" en cooperación con la OMM, la UNESCO e institutos científicos de los Estados Miembros. Los objetivos de esta iniciativa son: integrar plenamente la hidrología isotópica en las ciencias hidrológicas en las universidades; y, mediante el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI/UNESCO), establecer comités nacionales de hidrología para facilitar la aplicación de la hidrología isotópica en los sectores hidrológico y climatológico de los Estados Miembros. En una reunión consultiva celebrada con la UNESCO y la OMM en diciembre, se decidió formular una propuesta oficial a la reunión que celebrará en 2000 el Consejo Intergubernamental PHI/UNESCO para la formación de tales comités nacionales en el marco de los comités del PHI.

Una de las misiones del Organismo es proporcionar materiales de referencia para análisis isotópicos en todo el mundo. A estos efectos, la precisión analítica y exactitud de la labor del Laboratorio de Hidrología Isotópica de los laboratorios del Organismo se mejoró mediante el uso de un nuevo dispositivo de equilibración para el análisis del agua con los isótopos estables oxígeno 18/hidrógeno 2. Este dispositivo, construido a un costo mucho menor que un dispositivo de venta en la red comercial, eleva la precisión de los análisis con



$\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ aproximadamente en un factor de dos en relación con la que se puede obtener con los dispositivos comerciales actualmente en uso. Además, el empleo del análisis doble con $\delta^2\text{H}$ mediante un procedimiento normalizado y un procedimiento de equilibración preciso para todas las muestras de agua, aumentó aún más la fiabilidad de los resultados isotópicos.

Se creó un método nuevo y fiable para determinar la composición isotópica de la humedad del aire. En este método se utilizan tamices moleculares que absorben la humedad para el análisis de laboratorio y se obvia la necesidad de un agente refrigerante para la recogida de muestras. Una de las aplicaciones importantes de este método son los estudios de balance hídrico de los lagos de zonas remotas, donde no se dispone del suministro de nitrógeno líquido o hielo seco necesario para los métodos convencionales de muestreo. El nuevo método mejorará la ejecución de los futuros proyectos de cooperación técnica sobre la dinámica de los lagos.

En el Laboratorio de Hidrología Isotópica del Organismo se implantaron dos nuevos métodos analíticos para analizar la composición de isótopos de carbono de la materia orgánica y la composición isotópica del gas de oxígeno. Estos procedimientos mejorarán las actividades de garantía de calidad con respecto a los materiales de referencia de sustancias orgánicas, incluida la revaluación de las propiedades isotópicas de nueve patrones existentes y la

producción de nuevos materiales de referencia orgánicos de isótopos estables adecuados para técnicas analíticas avanzadas.

Para garantizar la fácil disponibilidad de materiales básicos de referencia, se está tratando de producir materiales sucesores mucho antes de que se agoten las actuales existencias. En consecuencia, se produjo una cantidad importante (300 litros) de material sucesor para el material primario de referencia VSMOW. La composición isotópica del nuevo patrón, VSMOW-1, es casi la misma que la del patrón VSMOW existente, aunque los costos de producción constituyeron una fracción del precio comercial actualmente estimado de cerca de 1,2 millones de dólares.

Se realizaron dos ejercicios de comparación entre laboratorios con objeto de reforzar la precisión analítica y comparabilidad de los datos producidos en los laboratorios de hidrología isotópica de todo el mundo. El primero se centró en la composición de isótopos estables de las muestras de agua. Noventa laboratorios enviaron los resultados con respecto a cuatro muestras de agua que les fueron enviadas para análisis. La evaluación demostró la necesidad de esos ejercicios, ya que una parte considerable de los laboratorios notificaron datos fuera del margen aceptable. Algunos laboratorios adoptaron medidas correctoras para mejorar su precisión analítica.

En Etiopía se está desarrollando un nuevo campo de aguas subterráneas para satisfacer

Técnicas isotópicas para mitigar el envenenamiento por arsénico

La exposición a agua potable contaminada con arsénico ha afectado a millones de personas en Bangladesh, y ha provocado una importante crisis de salud pública. El Banco Mundial ha iniciado un proyecto por valor de 44 millones de dólares para tratar de mitigar este grave problema. Una de las opciones con que se cuenta es explotar acuíferos profundos como fuentes sustitutivas de agua potable. Con todo, no se dispone de criterios fiables para evaluar las consecuencias a largo plazo de esta opción. En 1999 se inició un nuevo proyecto de cooperación técnica para demostrar los beneficios de la integración de la hidrología isotópica en las actividades de mitigación de la contaminación con arsénico en Bangladesh. Este proyecto se formuló en respuesta a las iniciativas adoptadas por el Subcomité de Recursos Hídricos del Comité Administrativo de Coordinación de las Naciones Unidas, en que el Organismo fue designado como organización rectora para las actividades de hidrogeología y geoquímica. El proyecto del Organismo ha permitido elaborar criterios isotópicos para evaluar la seguridad de las aguas subterráneas profundas y ha proporcionado información crucial de la que se carecía a pesar de los grandes esfuerzos realizados con tecnologías no nucleares. ■



un 40% de la demanda de agua de Addis Abeba, la ciudad capital. En la actualidad se han preparado unos 25 pozos, pero la producción se ha demorado por falta de una estrategia de explotación y gestión de aguas subterráneas. Un proyecto de cooperación técnica del Organismo está ayudando a integrar las técnicas isotópicas para obtener información hidrológica que ayude a desarrollar una estrategia de explotación y protección precisa para el campo de pozos. Estos esfuerzos complementan los de otros donantes bilaterales y multilaterales que también están ayudando al organismo de recursos hídricos local en la gestión del abastecimiento de agua.

Las condiciones hidrológicas de las aguas subterráneas de acuíferos múltiples de la llanura de Tadla, una región económicamente importante del este de Marruecos, se caracterizan mediante técnicas de hidrología isotópica en el marco de un proyecto de cooperación técnica. Este proyecto complementa la labor de un proyecto que recibe el apoyo del PNUD/DAES con objeto de elaborar un modelo de gestión de recursos hídricos en la llanura de Tadla. El análisis isotópico de unas 150 muestras en 1999 suministró datos decisivos para comprobar muchos de los supuestos formulados antes de elaborarse el modelo hidrológico. Especialistas en hidrología e isótopos del organismo de recursos hídricos y el centro nuclear de Marruecos participaron en un taller destinado a examinar e interpretar los datos acopiados en el proyecto.

Se inició un nuevo proyecto regional de cooperación técnica sobre el desarrollo sostenible de recursos de aguas subterráneas. Este proyecto, en el que participan siete países de África meridional y oriental, tiene el objetivo de facilitar la integración de las técnicas isotópicas con técnicas no nucleares para el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos. Las técnicas isotópicas se utilizaron también en un proyecto de cooperación técnica en que participaron China, Costa Rica, El Salvador, Filipinas, Indonesia y Tailandia con el fin de supervisar las condiciones hidrológicas en los embalses geotérmicos en producción, lo que permitió reducir los costos de generación de electricidad. Además, el proyecto en El Salvador fomentó la capacidad

para utilizar las técnicas geoquímicas a efectos de pronosticar y controlar la formación de incrustaciones en el embalse y aumentar su vida útil para la generación de electricidad.

La sostenibilidad de las presas reviste gran interés para muchos Estados Miembros y plantea diversos problemas. Uno de ellos es la fuga de las presas, en que la pérdida de agua puede poner en peligro la estabilidad de la propia presa o desgastar el recurso

“La capacidad de uso de las técnicas de hidrología isotópica para las investigaciones de la sostenibilidad de las presas se está desarrollando gracias a varios proyectos de cooperación técnica.”

natural. El segundo problema se relaciona con la sedimentación del embalse, que de no controlarse de manera adecuada puede acortar drásticamente el período de duración previsto de la presa. La capacidad de uso de las técnicas de hidrología isotópica para las investigaciones de la sostenibilidad de las presas se está desarrollando gracias a varios proyectos de cooperación técnica, incluido uno sobre fugas de presas en África. El empleo de estas metodologías se está ampliando a la región de Asia y el Pacífico, en que se incorporan los conceptos incluidos en el plan temático sobre sostenibilidad de presas que se elaboró este año.

Se concluyó un proyecto modelo de cooperación técnica sobre recursos de aguas subterráneas en el Valle de Caracas, (Venezuela) con la calibración final del modelo matemático elaborado para el acuífero. La aplicación del modelo basado en datos isotópicos demostró que un aumento de sólo el 20% de las tasas actuales de bombeo puede agotar el agua del acuífero en menos de 15 años, mucho antes que lo que se calculaba anteriormente. Se espera que el uso de este modelo mejore la explotación y gestión de este importante acuífero urbano.



APLICACIONES INDUSTRIALES

El tratamiento por irradiación se viene revelando ahora como una técnica “inocua para el medio ambiente”, de aplicación en procesos que no hacen uso intensivo de productos químicos y que hace que los efluentes estén libres de contaminantes. En los últimos años también ha aumentado considerablemente la utilización de la radiación ionizante en la síntesis y la modificación de materiales basados en polímeros que se usan en las industrias de atención sanitaria y del plástico.

Los resultados y logros de un recientemente concluido PCI sobre tratamiento por irradiación de agua, aguas residuales y lodo demostraron las ventajas de utilizar la radiación ionizante para resolver problemas relacionados con desechos líquidos. Se ha estudiado una combinación de metodologías de tratamiento en las que se utiliza radiación ionizante y otros agentes para descontamina-

ción de agua contaminada y aguas residuales. Esta tecnología ha sido adoptada por la industria y funcionan ahora instalaciones técnicas.

En otro PCI recientemente completado sobre el uso del tratamiento por irradiación para preparar biomateriales de aplicación en la medicina se demostraron las ventajas y las singulares propiedades de la radiación ionizante en la preparación y modificación de polímeros para aplicaciones biomédicas. Algunas de las aplicaciones típicas alcanzadas incluyeron: mejoramiento de la sensibilidad de las placas de microvaloración con fines de diagnóstico; revestimientos radioinjertados y sensibles a los estímulos para dispositivos de regulación de encendido y apagado; radiosíntesis de micropartículas y nanopartículas para inmovilización y administración de medicamentos; preparación de hidrogeles para curación de heridas y drenajes; y radiosíntesis de hidrogeles con fines de control de la administración de medicamentos y para medios de contacto en aplicaciones ultrasónicas.

Tecnología de haces de electrones para la rehabilitación de agua y aguas residuales

Los adelantos alcanzados en los últimos años en la tecnología de aceleradores de haces de electrones (por ejemplo, mayor eficiencia en la conversión y producción de potencia) y las investigaciones realizadas en los Estados Miembros han señalado la conveniencia de utilizar aceleradores en el tratamiento en gran escala de aguas contaminadas. Operaciones a escala piloto han indicado también la viabilidad económica de la descontaminación y desinfección de aguas residuales y agua potable. Los resultados de los trabajos de investigación y desarrollo realizados en el marco de un PCI sobre el tratamiento por irradiación del agua, las aguas residuales y lodos han sido adaptados con éxito en varios Estados Miembros. Ejemplos típicos de operaciones en gran escala son los siguientes:

- En la Baja Austria, las aguas subterráneas que contenían compuestos orgánicos clorinados se sometieron a tratamiento por irradiación con haces de electrones y adición de ozono. Se logró una completa desmineralización de contaminantes y todas las pruebas de toxicidad de las aguas tratadas arrojaron resultados negativos.
- En la ciudad de Voronezh, de la Federación de Rusia, se utilizó la radiación ionizante en el tratamiento de aguas subterráneas que contenían un detergente de un proceso industrial.
- Un acelerador de haces de electrones portátil desarrollado en los Estados Unidos de América se ha utilizado para la demostración del tratamiento de todas las formas de desechos acuosos. Aguas subterráneas con alto grado de contaminación en Alemania y aguas subterráneas contaminadas con un aditivo de petróleo en los Estados Unidos de América fueron tratadas con buenos resultados utilizando este sistema portátil.
- Los efluentes de una importante compañía química del Brasil se sometieron a tratamiento a escala piloto con haces de electrones.
- Una planta piloto construida para el tratamiento de las aguas residuales de una empresa de tintes textiles en la República de Corea ha obtenido muy buenos resultados en el tratamiento de los efluentes. ■



El mejoramiento de las propiedades físicas del látex de caucho natural radiovulcanizado (RVNRL) fue tema de un PCI que concluyó en 1999. Como resultado de amplias actividades de investigación y desarrollo, se pudo hacer la síntesis de películas de RVNRL con una mejor resistencia a la tensión y proteína residual mínima. Los resultados ya se han transferido a las industrias pertinentes y la India, Malasia y Tailandia han empezado a fabricar productos a partir de RVNRL. También hay indicios de que, especialmente en el caso de modernización de instalaciones, el empleo de aceleradores de haces de electrones con auto-blindaje de baja energía para la vulcanización del látex de caucho natural ofrecerá ventajas técnicas, ambientales y económicas.

Se celebró una reunión de expertos en Takasaki (Japón), sobre la radiosíntesis de membranas “inteligentes”, hidrogeles y adsorbentes. Se analizó y evaluó la situación actual y las aplicaciones incipientes de estos productos, membranas para trazas de iones, especialmente en relación con su empleo en procesos de separación.

En otra reunión de expertos celebrada en Viena se examinaron los aspectos técnicos y económicos del tratamiento por irradiación de las aguas residuales. Estudios efectuados han indicado que los aceleradores de haces de electrones son muy adecuados para grandes volúmenes de agua y aguas residuales y que, debido a la requerida redundancia de cualquier aplicación ambiental, se pueden utilizar varios aceleradores de pequeño tamaño en lugar de una sola instalación de gran potencia. Sobre la base de la experiencia habida con sistemas a escala piloto y a plena escala, los costos típicos del tratamiento de las aguas residuales con haces de electrones se comparan favorablemente con otros sistemas avanzados de tratamiento de agua.

Se inició en Europa un proyecto de cooperación técnica regional de dos años con el objetivo a largo plazo de transferir la tecnología de irradiación para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. A corto plazo, el objetivo es despertar una mayor toma de conciencia del problema e inducir a una más amplia aceptación de las ventajas de

utilizar la radiación en el tratamiento de los desechos líquidos.

Se utilizaron los servicios de consultores para evaluar la situación y las tendencias del desarrollo de programas informáticos para estudios de trazadores. Se recomendó como norma la utilización de programas informáticos de distribución del tiempo de residencia para la detección y solución de problemas y el análisis de procesos para más de 30 grupos de trazadores de Estados Miembros. Estos programas informáticos facilitan la extracción de la información sobre el proceso, ayudan a

“Los costos típicos del tratamiento de las aguas residuales con haces de electrones se comparan favorablemente con otros sistemas avanzados de tratamiento de agua.”

su optimización y mejoran la calidad de los servicios para los usuarios finales.

Las tecnologías de radiotrazadores y sondas nucleónicas continúan siendo un componente activo de los proyectos de cooperación técnica nacionales y regionales, particularmente en las regiones ACR y ARCAL. Con el objeto de estimular las actividades de capacitación se llevaron a cabo una serie de actividades regionales sobre aplicaciones de radiotrazadores, fuentes selladas y sondas nucleónicas en las industrias petroleras y petroquímicas. Entre las técnicas principales se cuentan: análisis de la distribución del tiempo de residencia para detectar y resolver problemas; radiotrazadores para calibración precisa del caudal y detección de fugas; trazadores para mejorar la extracción de petróleo; técnicas de exploración neutrónica y por rayos gamma para inspección de columnas y tanques en refinerías de petróleo; técnica de activación de película delgada aplicada a la vigilancia del desgaste y la corrosión; y una técnica de correlación cruzada para medición del caudal multifásico.

Se elaboró una guía sobre la aplicación en la industria de la tecnología de radiotrazadores y





fuentes selladas, así como manuales prácticos sobre procedimientos, normas y control de calidad en actividades con trazadores y sondas. Estos documentos facilitarán la transferencia de tecnología y ayudarán en la acreditación de los grupos que trabajan con trazadores y sondas en los países en desarrollo.

En enero empezó en China un proyecto modelo de cooperación técnica sobre aplicaciones de radiotrazadores para mejorar la extracción de petróleo. Se completó y ensayó en el campo petrolero de Dagang la metodología para comunicación entre pozos y evaluación del petróleo residual utilizando una técnica de multitrazadores. Se preparó, ensayó y validó un nuevo compuesto de radiotrazadores para aplicaciones en gran escala en 30 campos petroleros en funcionamiento, con un aumento de extracción petrolífera de aproximadamente 10%.

En diciembre se celebró una reunión de grupo asesor con el fin de determinar las esferas problemáticas de mayor prioridad en la industria de la región de Asia y el Pacífico, y formular propuestas de proyectos para el Organismo para los años 2001 y 2002. En esa reunión se identificaron cuatro sectores industriales prioritarios, para los cuales se formularon las siguientes propuestas de proyectos:

- Diagnóstico y optimización de procesos en las industrias del petróleo y petroquímicas utilizando ensayos no destructivos (END), radiotrazadores y fuentes selladas;
- Optimización de la extracción de recursos minerales mediante la utilización de sondas nucleónicas portátiles, de actividad baja;
- Modificación de polímeros naturales mediante el tratamiento por irradiación;
- Instalaciones para demostración de la disposición final de desechos de hospitales y
- el tratamiento de aguas residuales mediante irradiación.

Como beneficio para los Estados Miembros de la región del ACR se espera el establecimiento de tecnologías nucleares avanzadas e intrínsecamente seguras para la solución de problemas.

Dados los buenos resultados obtenidos en otras regiones, se ha iniciado un proyecto sobre END en la industria en la región de Asia occidental. Los objetivos del proyecto son establecer y mejorar los grupos de END para explotar el potencial de esta tecnología en los sectores de la ingeniería civil e industrial y empezar un proceso de capacitación y certificación de personal de END. Se hará hincapié principalmente en la educación, capacitación y certificación de un grupo básico de personas en cada Estado Miembro para cumplir con los requisitos de las normas internacionales, tales como la ISO-9712. Más adelante, esas personas podrán continuar con la capacitación y certificación en sus propios países, con el objetivo ulterior de desarrollar capacidades locales en materia de END para el control de calidad de los productos industriales.

Se organizaron cinco reuniones de grupo asesor sobre los temas considerados de mayor importancia para el establecimiento de la tecnología de END en los Estados Miembros. Estructuras de hormigón, tales como edificios, puentes, carreteras, pistas, aceras, muros de contención, presas, redes de alcantarillado, túneles, tanques de almacenamiento, y edificios especializados tales como estructuras de contención de reactores nucleares, constituyen una vasta esfera para la aplicación del END. Si se quiere introducir con éxito esta tecnología en los Estados Miembros en desarrollo, es importante atender a los aspectos de enseñanza, capacitación y certificación de un gran número de personas en esta esfera, en vista de la cantidad de estructuras de hormigón que requieren inspección y ensayo. En dos de estas reuniones se completaron guías sobre END aplicado a estructuras de hormigón y sobre la fabricación de piezas para END. En las otras tres reuniones se procedió a definir el programa de estudios y las preguntas de los exámenes universitarios sobre END. Se publicaron también dos libros de texto, uno de ellos a modo de guía sobre END para personal de control de calidad y gerencia industrial, y el otro sobre el ensayo ultrasónico de los materiales.

CIENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

CIENCIAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

OBJETIVO DEL PROGRAMA

Promover la investigación y el desarrollo en aplicaciones específicas de las ciencias nucleares, físicas y químicas para solucionar problemas prácticos en las esferas de la energía, el medio ambiente, la medicina nuclear, las ciencias de los materiales y la industria, y mejorar la utilización de los reactores de investigación y los aceleradores existentes y proporcionar ayuda a los laboratorios analíticos nacionales para que adquieran cualificaciones en calidad internacional en sus mediciones analíticas.

PANORAMA GENERAL

Resultado importante de las actividades del programa de ciencias físicas y químicas del Organismo fue la preparación de la primera biblioteca internacional sobre datos fotonucleares, que tienen aplicaciones médicas y de blindaje importantes. También se ultimó una biblioteca de datos sobre la reacción de partículas cargadas para ciclotrones médicos. Científicos de los Estados Miembros continuaron haciendo un uso cada vez mayor del centro de datos nucleares del Organismo. Se elaboró un nuevo paquete de programas informáticos para espectrometría gamma que se distribuyó a numerosos Estados Miembros. Se iniciaron los trabajos sobre técnicas nucleares para las actividades humanitarias de remoción de minas. Se siguió impartiendo capacitación en instrumentación nuclear a Estados Miembros en desarrollo. La base de datos sobre reactores de investigación se puso a disposición de los usuarios de Internet. Se elaboraron nuevos radiofármacos para la formación de imágenes de tumores basada en el tecnecio 99m. Asimismo se hizo hincapié en las buenas prácticas de fabricación y en la metodología de la garantía de calidad (GC) para la producción de radiofármacos. En los análisis radioanalíticos se hizo un mayor hincapié en la introducción de los procedimientos de control de calidad y GC en los laboratorios de los Estados Miembros. En la esfera de la fusión nuclear, el Organismo prestó ayuda en la formulación de



un Memorando de Entendimiento revisado entre la Unión Europea, la Federación de Rusia y el Japón acerca de los trabajos relativos al proyecto del reactor termonuclear experimental internacional (ITER).

DATOS NUCLEARES Y ATÓMICOS PARA APLICACIONES

La utilización de los servicios del Organismo sobre datos nucleares por parte de científicos de los Estados Miembros experimentó un crecimiento permanente. Como se muestra en el cuadro de abajo, el número de consultas individuales de datos a través de Internet (<http://www-nds.iaea.or.at>) en las principales bases de datos que se mantienen continuamente actualizadas (y que contienen la compilación de datos nucleares experimentales y las bibliotecas de datos evaluados procedentes de proyectos nacionales) aumentó más del 30% en 1999. Las consultas basadas en Telnet, tras la disminución experimentada en 1998 debida a la creciente competencia del interfaz Web más fácil de usar, se estabilizaron en un nivel de unas 2 000 consultas al año, lo que indica que un determinado número de usuarios, muy probablemente los que tienen pocas posibilidades de conectarse a Internet, siguen prefiriendo las herramientas de recuperación de datos interactivas basadas en Telnet.

El Organismo ha desarrollado la capacidad de elaborar y distribuir versiones en CD-ROM de todas sus principales bases de datos nucleares. Utilizando este medio, los usuarios que no están conectados a Internet pueden aprovecharse para tener un rápido acceso desde sus escritorios a los mismos datos de que disponía

el servidor de datos nucleares en el momento de elaborarse el CD-ROM. Además, el CD-ROM es el medio que prefieren los científicos que trabajan con grandes bibliotecas de datos de contenido relativamente estático. Un buen ejemplo de ello es la amplísima biblioteca FENDL-2. Tal como se muestra en el cuadro siguiente, se duplicó en 1999 el número de CD-ROM distribuidos para atender solicitudes individuales de datos.

El número de consultas fuera de línea, que incluye muchas respuestas a peticiones de material impreso, aumentó el 15% en 1999. En un intento de contener los costos, se ha puesto a disposición de los usuarios de Internet aproximadamente el 50% de todos los informes de la colección INDC(NDS). Los usuarios descargaron en 1999 más de 1 200 de dichos informes. También se han puesto a disposición de los usuarios de Internet informes oficiosos, que contienen breves descripciones resumidas de los servicios disponibles, bases de datos y códigos para el procesamiento de datos.

Como resultado de la cooperación con otros centros de datos nucleares, se pusieron a disposición de los usuarios un nuevo archivo sobre dosimetría de reactores, el "RRDF-98", y una biblioteca de secciones eficaces evaluadas de las interacciones nucleares entre partículas ligeramente cargadas. Este archivo puede utilizarse para "desplegar" los espectros de incidentes de neutrones en una vasija de presión del reactor (VPR) para deducir los desplazamientos reticulares inducidos por neutrones. Tal información es importante para el cálculo de la vida útil de la VPR. La biblioteca puede asimismo utilizarse en aplicaciones de fusión y astrofísicas.

Difusión de datos nucleares

	1995	1996	1997	1998	1999
Consultas en las principales fases de datos en Internet	—	—	40	6 830	8 970
Consultas basadas en Telnet de datos nucleares	4 400	5 700	7 350	2 700	2 180
Información en discos CD-ROM	—	—	—	205	420
Consultas fuera de línea	1 550	800	1 900	1 995	2 290



Se puso a disposición un nuevo paquete de programas para computadora, el "ZVView", diseñado para presentación interactiva gráfica de las secciones eficaces de reacciones nucleares recuperadas en consultas a las bases de datos nucleares experimentales y evaluados del Organismo. También se elaboró un nuevo programa para facilitar la presentación de información estadística relativa al acceso por Internet a los servicios del Organismo, desglosado en, por ejemplo, temas o región geográfica de los datos. Con ello se proporciona una valiosa retroalimentación sobre las nuevas necesidades de los usuarios de datos.

Se concluyó un PCI sobre la recopilación y evaluación de datos fotonucleares para aplicaciones, habiéndose celebrado la reunión final de coordinación de las investigaciones en Tokio en octubre. Del proyecto se obtuvo la primera biblioteca internacional de datos fotonucleares, con información sobre 164 isótopos de importancia para aplicaciones médicas, de blindaje y de otro tipo en forma apropiada para los cálculos del transporte.

Se inició un nuevo PCI sobre elaboración e una base de datos para el rápido análisis por activación neutrónica de rayos gamma inmediatos. La base de datos, que se elaborará tanto en forma electrónica como impresa, incluirá los datos más recientes sobre 80 elementos,

tales como energías de captura de rayos gamma, intensidades, factores k_0 y secciones eficaces neutrónicas, y ampliará las capacidades de esta potente técnica analítica. Debido a que esta técnica no se basa en la creación de un producto de activación de período largo, resulta útil para la formación de imágenes de prácticamente cualquier elemento, incluidos elementos ligeros importantes tales como el hidrógeno y el carbono, en aplicaciones tales como las ciencias de los materiales, el análisis de alimentos, la medicina y el medio ambiente.

Se ultimó una base de datos de secciones eficaces de partículas cargadas para la producción de radisótopos médicos. La base de datos incluye 26 reacciones de los más importantes radisótopos para diagnóstico y 22 reacciones de haces de vigilancia que son de importancia para los usuarios de más de 200 ciclotrones médicos.

Se proporcionó apoyo a dos proyectos de cooperación técnica cuyo objetivo era mejorar la utilización regional de los servicios de datos nucleares del Organismo y locales. El primero fue un proyecto regional para establecer un sitio réplica de los servicios de datos nucleares en línea del Organismo en São Paulo (Brasil) para prestar servicios a los usuarios de los países de América Latina y el Caribe. Además

Biblioteca de parámetros de entrada de referencia para modelos de reacciones nucleares

Los evaluadores de datos nucleares de los Estados Miembros hacen uso frecuente de cálculos de física nuclear para interpolarlos correctamente en las mediciones disponibles y para asegurarse de que los valores finales recomendados cumplen los requisitos de la física, tales como la conservación de energía. Los principales métodos teóricos que se utilizan en la evaluación de datos de reacciones nucleares por debajo de 100 MeV se basan en modelos ópticos y estadísticos. Tales cálculos deben suministrarse con un gran número de "parámetros" de entrada que se infieren de amplias comparaciones de predicciones teóricas con mediciones de datos. En un esfuerzo para formalizar este proceso de selección de parámetros, mejorando con ello la calidad y la coherencia de las evaluaciones de datos nucleares, se ejecutó un PCI para elaborar una biblioteca de parámetros de entrada de referencia (RIPL). El resultado principal de este PCI es el "archivo inicial RIPL", que describe las reacciones nucleares debidas a neutrones, protones y rayos gamma incidentes, así como a núcleos incidentes de hidrógeno-2, 3 y helio-3 y 4. La RIPL ha quedado documentada en un documento técnico del Organismo (IAEA-TECDOC-1034), que contiene una descripción completa de la biblioteca e incluye la base de la selección de los parámetros. Entre los temas tratados están los siguientes: masas y deformaciones atómicas; sistemas de niveles discretos; parámetros de resonancia neutrónica media; parámetros de modelos ópticos; densidades de los niveles; funciones de intensidad de los rayos gamma, y distribuciones angulares continuas. ■



de prestar servicios mejorados, el servidor réplica se utilizará como instalación de capacitación para futuros talleres y cursos de cooperación técnica. El otro proyecto se relacionó con una mayor utilización del reactor de investigación de Ghana, centrándose en la creación de una red de área local para prestar servicios de datos nucleares en la instalación del reactor.

Se finalizó una base de datos numéricos importante para aplicaciones de datos atómicos y moleculares para los procesos de impacto de electrones sobre las moléculas excitadas de hidrógeno y sus isótopos. Los procesos de choques en estos sistemas desempeñan un

“Un nuevo PCI hizo hincapié en el potencial de los métodos basados en tecnología nuclear para detectar las minas terrestres.”

papel importante en la cinética de los plasmas de baja temperatura. En colaboración con el Instituto para Física Atómica y Molecular de la FOM en Amsterdam, se concluyó una nueva base de datos atómicos evaluados críticamente para la excitación por impacto de los electrones de los átomos de helio. Estos datos serán utilizados por los autores de modelos del plasma de fusión y por ingenieros nucleares y se utilizarán también para estudios de diagnóstico en plasmas de temperatura baja.

INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR

En octubre se celebró la reunión final de coordinación de las investigaciones de un PCI sobre utilidades de programas informáticos para espectrometría gamma. El PCI se ocupó de las aplicaciones básicas del tratamiento de datos nucleares y de los nuevos códigos de computadora para PC y bibliotecas para espectrometría gamma. Gracias a este PCI se elaboraron nuevos paquetes de programas informáticos para: mediciones en las que intervienen espectros de yoduro de sodio de actividad baja; espectros de rayos gamma procedentes de detectores de germanio de

gran pureza; picos de aniquilación de I ensanchamiento de Doppler; bibliotecas de rayos gamma; correcciones de coincidencias verdaderas; cálculo de la eficiencia de fuentes grandes, y análisis inducido por biblioteca de los espectros de rayos gamma. Estos nuevos códigos de computadora ayudarán a los Estados Miembros a realizar mediciones más exactas de los componentes de materiales en muchas esferas, tales como la física, la química, la biología, la industria, la arqueología y la vigilancia del medio ambiente.

En 1999 se inició un nuevo PCI sobre aplicación de técnicas nucleares a las minas terrestres antipersonal. La primera reunión de coordinación de las investigaciones se celebró en Zagreb (Croacia). En la reunión se hizo hincapié en el potencial de los métodos basados en tecnología nuclear para detectar las minas terrestres y se señaló la posibilidad de combinar sensores nucleares con otros métodos para la localización de dichos objetos enterrados.

Entre los trabajos realizados en los Laboratorios del Organismo en Seibersdorf se cuentan los siguientes:

- Establecimiento de instalaciones de capacitación para diseño y reparación de módulos electrónicos basados en la tecnología de montado en superficies (SMT);
- Elaboración de juegos (kits) de materiales de enseñanza para capacitación en electrónica nuclear, incluidos juegos de SMT y fotovoltaicos (basados en la energía solar) para instrumentos con fuentes de alimentación en modo de conmutación;
- Desarrollo y ensayo de un sistema original de detección (incluidos equipo y programas informáticos) para detectores de cadmio-zinc-telurio de gran volumen aplicado a espectrometría gamma portátil;
- Construcción de fuentes de alimentación en miniatura para aplicaciones en el terreno de espectrometría gamma y para mejoras en equipo y programas informáticos de una nueva generación de monitores de radiación portátiles;
- Elaboración y aplicación de un paquete de programas informáticos utilizables en Windows 95/NT para un módulo de reflexión total por fluorescencia X (XRF);



- Adaptación para su aplicación práctica de procedimientos de preparación óptima de muestras XRF, y capacitación de mediciones de concentraciones en partes por mil millones de yoduro y arsénico en muestras de agua.

UTILIZACIÓN DE REACTORES DE INVESTIGACIÓN Y ACCELERADORES DE BAJA ENERGÍA

Puesto que el 60% de todos los reactores de investigación del mundo tienen 30 o más años de edad, su envejecimiento es motivo creciente de preocupación. Para ocuparse de éste y otros temas conexos, el Organismo celebró en septiembre, cerca de Lisboa, un simposio internacional sobre utilización, seguridad y gestión de los reactores de investigación. Se señalaron los problemas inducidos por la edad, tales como la corrosión, los efectos de daños por irradiación y la menor fiabilidad de los componentes, como esferas clave que requieren programas activos de inspección durante el funcionamiento. Además, se subrayó la importancia que para los reactores en proceso de envejecimiento tiene una documentación adecuada y una planificación anticipada de su clausura. En el simposio se destacó asimismo el hecho de que actualmente se están planificando, diseñando y construyendo más reactores nuevos que en ningún otro momento del pasado reciente, siendo la mayoría de ellos de potencia más elevada (es decir, de aproximadamente 20 MW). En un entorno cambiante, muchas de estas instalaciones necesitan elaborar un plan estratégico, con aportaciones de todas las partes interesadas, para seguir siendo viables. Otra cuestión de preocupación en la comunidad de los reactores de investigación es el tratamiento del combustible gastado, especialmente en vista de la cesación prevista por los Estados Unidos de América de su programa de repatriación de combustibles a mediados del año 2006. En la práctica, ello quizás obligue al cierre de muchos reactores de investigación, por lo demás productivos, debido a la falta de opciones alternativas apropiadas para la disposición final del combustible. Se hizo hincapié en que, para muchos reactores de investigación, sólo la posible utilización de instalaciones

regionales e internacionales para el almacenamiento provisional y la disposición final del combustible gastado permitiría su funcionamiento continuado.

En una reunión de Comité Técnico, celebrada en Debrecen (Hungría) en octubre, sobre las aplicaciones de fuentes de neutrones basadas en aceleradores, se examinó el reciente desarrollo de pequeños generadores electrostáticos de neutrones de "tubo sellado" portátiles. Se hizo hincapié en el potencial de estos tipos de fuentes en esferas tales como las actividades humanitarias de remoción de minas, el análisis elemental y la industria. Una fuente isotópica de neutrones podría, en muchos casos, sustituirse por una fuente de tipo tubo sellado o de confinamiento inercial electrostático, reduciendo con ello al mínimo el riesgo de contaminación radiactiva del medio ambiente.

En junio se celebró en Viena una reunión de Comité Técnico sobre cuestiones actuales en la terapia por captura de neutrones (NCT). Fue ésta una reunión oportuna, ya que algunos explotadores de reactores de investigación están considerando su participación en esta esfera. En la reunión se puso de manifiesto el hecho de que esta terapia todavía no está comprobada y de que hay poca necesidad de que más instalaciones se gasten las cuantiosas sumas de dinero que son necesarias para poner a punto los ensayos clínicos de NCT.

Los trabajos en apoyo de las actividades de cooperación técnica incluyen la vigilancia de proyectos que se ocupan de la utilización de reactores y aceleradores de investigación y la ayuda a proyectos de utilización de haces de neutrones y a proyectos relacionados con reactores nuevos. Un resultado significativo de un proyecto de reactor de investigación fue el desarrollo de un haz de difracción de neutrones en Grecia, que se utilizará en trabajos de investigación patrocinados por la Unión Europea.

APLICACIONES RADIOQUÍMICAS

En un seminario internacional sobre aplicaciones terapéuticas de los radiofármacos, organizado en Hyderabad (India), en enero, se



examinaron la evolución actual y las tendencias futuras de esta prometedora modalidad de medicina nuclear. En particular se subrayó el empleo de radionucleidos emisores de partículas beta y alfa marcados y dirigidos a portadores de biomoléculas, tales como anticuerpos monoclonales y péptidos.

Se examinaron, utilizando servicios de consultores, el estado actual y las tendencias futuras en tecnologías dirigidas y de procesamiento para la producción por ciclotrón de radionucleidos de importancia médica. Reconociendo las necesidades de los países en desarrollo que han establecido centros de ciclotrones para la producción de radionucleidos, se llegó a la conclusión de que eran necesarias una mayor evolución y mas investigación para mejorar las técnicas sólidas dirigidas de preparación. Ello contribuiría a su vez a una mejor utilización de las instalaciones de ciclotrones y a una mayor disponibilidad de radionucleidos importantes, tales como el paladio 103, que se ha convertido en un radionucleido importante en extremo para el tratamiento del cáncer de próstata cuando se incorpora a fuentes selladas.

Un hito significativo constituyó la inauguración en noviembre de un centro de ciclotrón de

PET en Praga, el primero de su género en Europa oriental. Desarrollado como parte de un proyecto de cooperación técnica del Organismo, este centro dispone de instalaciones radioquímicas de uso exclusivo para la producción de un trazador metabólico ampliamente utilizado en cardiología y oncología. Está previsto fabricar este trazador y distribuirlo a hospitales de la República Checa.

Se examinaron los datos analíticos para la certificación de dos materiales de algas de referencia (IAEA-392 e IAEA-413). Los resultados indican que la actividad de certificación fue un éxito y que ambos materiales pueden certificarse para aproximadamente 20 elementos.

Entre los trabajos realizados en la esfera de la química en los Laboratorios del Organismo en Seibersdorf se cuentan los siguientes: un sistema de calidad que se ajusta a las directrices de ISO-17025; prestación de asistencia a laboratorios de Estados Miembros de Europa oriental para crear y/o mejorar su nivel de garantía de calidad mediante el establecimiento de un sistema de calidad; participación en un taller para auditores y preparación de material avanzado de ensayo para evaluar el rendimiento de estos laboratorios.

Péptidos marcados con tecnecio 99m para la formación de imágenes de tumores

La introducción de octreoturo de indio 111 para formación de imágenes de tumores neuroendocrinos marcó un nuevo giro en el desarrollo de radiofármacos, abriendo un vasto potencial de agentes basados en péptidos para diagnóstico y terapia. Sin embargo, el octreoturo de indio 111 no es ideal para el estudio de formación de imágenes y es también caro y no está disponible en países que no tienen ciclotrones. La disponibilidad de octreoturo de tecnecio 99m hará que esta técnica esté disponible en casi todos los países a un costo razonable. La elaboración de un agente de este tipo basado en el análogo de octreoturo fue el objetivo de un PCI que se concluyó en 1999. Los trabajos realizados en laboratorios de Europa, Asia y América Latina dieron como resultado la elaboración de un prometedor complejo de tecnecio 99m, que, en estudios de laboratorio, muestra propiedades similares a las de octreoturo de indio 111. En estudios preliminares con pacientes, este compuesto ha mostrado imágenes comparables, cuando no mejores. Los trabajos llevados a cabo en este PCI han preparado el camino para el empleo de análogos de octreoturo del tecnecio 99m, llevando las ventajas de los procedimientos de formación de imágenes a todas las partes del mundo. El PCI ayudó asimismo a muchos participantes de países en desarrollo a adquirir conocimientos especializados en esferas interdisciplinarias actuales relativas a la I+D de radiofármacos, incluidos la conjugación y purificación de péptidos, el marcado con tecnecio 99m del conjugado, las técnicas de HPLC (cromatografía de líquidos de alto rendimiento) para purificación y análisis radioquímico, los análisis in vitro del desplazamiento del aglutinante y ligante del receptor y los estudios de biodistribución en animales. ■



APLICACIONES DE LA FÍSICA DEL PLASMA E INVESTIGACIONES EN FUSIÓN CONTROLADA

En unos 50 Estados Miembros del Organismo se llevan a cabo actividades de investigaciones en fusión controlada para desarrollar una nueva fuente de energía utilizando las reacciones de fusión nuclear que dan energía al sol y a las estrellas. Para promover una colaboración internacional que será beneficiosa para un número significativo de Estados Miembros en esferas seleccionadas de la física del plasma y de la investigación y desarrollo en fusión controlada, el Organismo presta asistencia mediante diversas actividades, tales como la celebración de conferencias, reuniones técnicas y PCI. Estas actividades consisten en: facilitar el intercambio de información técnica; fomentar la cooperación entre laboratorios importantes y Estados Miembros en desarrollo; promover las aplicaciones indirectas; ayudar a los Estados Miembros en desarrollo a fortalecer sus programas de investigación, y proporcionar apoyo a las actividades sobre el diseño técnico del ITER.

Una reunión de Comité Técnico sobre teoría del transporte basada en el primer principio, celebrada en junio en Kloster Seeon (Alemania), ofreció un foro para deliberar sobre una amplia gama de teorías de la física del plasma encaminadas a predecir la tasa de pérdida de calor ("transporte") de un plasma termonuclear magnéticamente confinado. Simulaciones tridimensionales en computadora del movimiento de partículas del plasma utilizando millones de puntos en red muestran la presencia de "estelas luminosas" o "flujos zonales" del plasma que cruzan el campo magnético causando rápidos flujos locales de calor. La teoría del plasma es ahora capaz de predecir las condiciones bajo las cuales las "barreras internas de transporte" reducen la tasa de pérdida de calor del plasma, dando como resultado un mejor funcionamiento. Se publica un resumen de la reunión en la revista del Organismo *Nuclear Fusion*.

Se celebró en octubre, en Oarai (Japón), otra reunión de Comité Técnico sobre física y tecnología del calentamiento electrónico por

resonancia en un ciclotrón (ECRH) para dispositivos de fusión. Quizás pueda utilizarse en el futuro el ECRH para disminuir los modos de desgarramiento, suprimir las oscilaciones en diente de sierra y ayudar a sostener las barreras internas de transporte en los tokamaks. Después de inyectar pulsaciones térmicas por microondas en un plasma, puede calcularse la difusividad térmica a partir del ritmo con el que se extienden las pulsaciones térmicas. Varios laboratorios están trabajando para elaborar girotrones que puedan generar en régimen estable aproximadamente 1 MW con buena eficiencia (es decir, >30%). Se están elaborando ventanas de diamante debido a que su baja absorción de microondas y elevada conductividad térmica les permite transmitir mucha más energía que las ventanas normales sin fisurarse.

El control, la adquisición de datos y la participación a distancia para las investigaciones sobre fusión constituyeron el tema de una reunión de Comité Técnico celebrada en junio en Lisboa. Procedente de muchos experimentos, se presentó una gran diversidad de sistemas de plasmas y control de máquinas, así como sistemas de manipulación a distancia. Además se presentaron informes sobre nuevas interfaces de usuarios basadas en Internet que proporcionan acceso completo de escritura/lectura para introducir cuadros destinados a usuarios autorizados por medio de visualizadores corrientes. Hubo consenso en torno a que se necesita la unificación de los diferentes sistemas para facilitar la colaboración a distancia en las investigaciones sobre fusión, porque todos los experimentos importantes que se están llevando a cabo y los que están actualmente en curso de formación apoyan grupos múltiples que participan interactivamente en experimentos en marcha desde lugares fuera del emplazamiento.

En una reunión de Comité Técnico celebrada en Oxford (Reino Unido), en septiembre, se estudiaron las barreras física/transporte de modo H (confinamiento elevado) en plasmas de fusión confinados magnéticamente. Los resultados señalaron un mejor comportamiento de confinamiento y estabilidad con barreras de transporte internas y en los bordes en diversos dispositivos en descargas



de pulsaciones largas con desviación magnética invertida a través de un gran número de planes de control. La barrera de transporte que existe en el borde del plasma en regímenes de elevado confinamiento se reconoce ahora que es tan importante como el confinamiento de energía global. El objetivo para un futuro próximo es reproducir regímenes de modo favorable localizados en el borde

“Entre los resultados principales logrados en las aplicaciones ecológicas de las descargas asistidas por plasma se incluyen los siguientes: desarrollo y ensayo sobre el terreno de un prototipo de un sistema de pirólisis del plasma para el tratamiento de desechos médicos.”

“pequeño” en varios dispositivos experimentales con diferentes tamaños y parámetros del plasma antes de aplicar la extrapolación al ITER. El funcionamiento en modo H de alta densidad con recarga de combustible de pastilla lateral de campo elevado permite un buen confinamiento en modo H y elevada densidad de plasma cercana al límite de densidad empírica de Greenwald. Una explotación de este tipo podría aportar ventajas significativas para un reactor de fusión.

En una reunión de Comité Técnico celebrada en Naka (Japón), en octubre, se discutió el tema de las partículas de energía en confinamiento magnético. El estado de electrones desacoplados producidos durante disrupciones en los plasmas de tokamaks ha cambiado pasando de ser un fenómeno inocuo, usado principalmente para sondear la turbulencia magnética, a ser una grave amenaza para la primera pared de grandes tokamaks futuros. Es necesario validar planes de elusión fiables para aplicarlos al ITER. Las actuales investigaciones teóricas contribuirán al desarrollo de la teoría neoclásica de los iones rápidos; se elaboró un modelo no lineal de fluido cinético que incluye efectos cinéticos de todas las

especies de partículas en plasmas beta de alta energía. Tienen que solucionarse todavía varias cuestiones de manera experimental y teórica. Una se refiere a los electrones incontrolables: cuántos electrones se acelerarán, de qué manera quedan confinados y qué puede esperarse del impacto de los electrones contra la primera pared de los tokamaks. La segunda cuestión es sobre los iones rápidos. Se comprenden bien muchos aspectos del comportamiento de los iones rápidos en los tokamaks, pero es necesario aclarar más sus propiedades de confinamiento en los estelaratores, así como el papel de las inestabilidades no lineales de Alfvén en los sistemas de confinamiento magnético.

Uno de los resultados de una reunión de Comité Técnico sobre investigación utilizando pequeños dispositivos de fusión, celebrada en octubre en Chengdu (China), fue que un mejor comportamiento de máquinas y diagnósticos del tokamak HL-1M tenía como resultado un mejor confinamiento y una mejor reproducibilidad de las descargas del plasma; también resultaban mejorados los sistemas de diagnóstico. Otro hallazgo fue que los experimentos de inyección de haces moleculares supersónicos y de helio mostraban resultados prometedores, y la impurificación por gas para estudios del transporte de impurezas parecía desempeñar un papel importante para la comprensión de los mecanismos de control en los plasmas de fusión. Asimismo se presentaron comunicaciones sobre estudios magnetohidrodinámicos empleando bobinas de Mirnov y sondas de haces de iones pesados del borde del plasma. Las mediciones con bobinas de Mirnov mostraron que las turbulencias magnéticas constan de dos componentes: las fluctuaciones de banda ancha causadas por microinestabilidades y los modos coherentes, estos últimos relacionados con la rotación de una isla magnética $m = 2$ dentro de la columna de plasma. Se observó un nuevo fenómeno en la trayectoria única de un haz inyectado de iones pesados: el volumen de la muestra, el área de la ionización secundaria que permite las mediciones potenciales del plasma, se separó en dos volúmenes.

En octubre se celebró en Fukuoka (Japón) una reunión de Comité Técnico sobre



funcionamiento en régimen estable de dispositivos magnéticos de fusión. Se incluyeron entre los temas los siguientes: tokamak de pulsaciones amplias y descargas del estelartor y configuraciones avanzadas; tecnologías requeridas para el funcionamiento con pulsaciones amplias de los dispositivos magnéticos de fusión; plasma frente a componentes; escenarios de excitación de calor y corrientes; sistemas de control, diagnóstico para el funcionamiento con pulsaciones amplias; teoría; y elaboración de modelos. Se presentaron informes sobre varios dispositivos nuevos actualmente en construcción que tendrán pulsaciones de una duración de 300 a 1 000 segundos y corrientes de plasma de 1 a 2 MA, similares a la duración prevista de pulsaciones del tokamak ITER. Los resultados procedentes del tokamak TRIAM-1M muestran un régimen de confinamiento y una eficiencia de la excitación de corrientes mejorados cuando se ajusta cuidadosamente la energía de calentamiento. Los resultados conseguidos en el gran dispositivo helicoidal muestran un rendimiento constantemente creciente, con períodos de pulsaciones de hasta 35 segundos en régimen de alta potencia. También se presentaron informes sobre un modelo amplio elaborado para transporte y excitación electrónica de corrientes que es capaz de describir modos bajos de confinamiento y transporte reducido para desviación baja/invertida y beta alta poloidal que se requieren para el control interno del transporte, cuestión clave para el control del plasma en el ITER. En la revista

Nuclear Fusion se publicará un resumen de la reunión y una selección de las memorias.

En noviembre se celebró en Viena la reunión final para coordinar las investigaciones de un PCI sobre aplicaciones técnicas, industriales y ecológicas de la física del plasma y las tecnologías de la fusión. Entre los temas tratados estuvieron los siguientes: tecnología de la superficie asistida por plasma para propiedades de superficie mejoradas en laboratorio e industria; aplicación de tecnologías del plasma para el procesamiento de desechos peligrosos en formas gaseosa, líquida y sólida; interacción entre plasma de baja temperatura y tecnología de la fusión; y estudios de física básica sobre estos temas. Uno de los resultados del PCI fue el de una mayor colaboración entre laboratorios y más oportunidades para la capacitación de estudiantes procedentes de países en desarrollo. Entre los resultados principales logrados en las aplicaciones ecológicas de las descargas asistidas por plasma se incluyen las siguientes: desarrollo y ensayo sobre el terreno de un prototipo de un sistema de pirólisis del plasma para el tratamiento de desechos médicos; y la construcción de un dispositivo silencioso de descarga de barrera dieléctrica como generador de gas ozono barato. Se ha ensayado este último sistema en el tratamiento de aguas residuales procedente de organismos biológicos, la limpieza de carbones a partir de compuestos sulfúricos y la retirada del vapor de agua del gas natural que acompaña al petróleo.

