

INSTRUMENTOS CLAVE PARA LAS INSPECCIONES NUCLEARES

LOS AVANCES EN EL MUESTREO AMBIENTAL FORTALECEN LAS SALVAGUARDIAS

POR DAVID L. DONOHUE

Para la comunidad internacional, el verano de 1991 constituyó un momento decisivo en materia de descubrimientos científicos, que creó las condiciones necesarias para fortalecer más las salvaguardias nucleares. El OIEA, las Naciones Unidas y los inspectores registraban minuciosamente los escombros de las instalaciones nucleares del Iraq a fin de hallar pruebas de la existencia de un programa secreto para producir bombas atómicas, algo que expresamente se prohíbe en el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (TNP), ratificado por el Iraq. Lo que los inspectores encontraron ese verano fueron diminutos vestigios de elementos radiactivos, como uranio y plutonio, que los ayudaron a reconstruir los detalles del programa, su envergadura, cronograma y probable finalidad.

Así se abrió un nuevo capítulo en el desarrollo de las salvaguardias nucleares internacionales. En 1995, los Estados adoptaron medidas para aplicar un sistema de salvaguardias fortalecido, que autoriza y prepara a los inspectores para garantizar que no se pase por alto ninguna actividad nuclear no declarada.

La técnica que sustenta esta capacidad incrementada, "muestreo ambiental para salvaguardias" (ESS o MAS), se basa en mediciones analíticas muy sensibles y selectivas que permiten detectar vestigios de materiales nucleares acumulados en el "medio ambiente" de una conocida o presunta instalación nuclear. Su aplicación demuestra la importancia de disponer de una serie de técnicas analíticas y de medición

avanzadas para abordar un importante problema mundial.

Los inspectores del OIEA utilizaron algunos métodos durante las inspecciones realizadas en el Iraq a principios del decenio de 1990. Desde entonces, el OIEA ha trabajado intensamente, en colaboración con expertos nacionales e internacionales, para implantar y realizar el muestreo ambiental para salvaguardias en todos los países con acuerdos de salvaguardias amplias (tipo TNP). Los inspectores que integran el Grupo de Acción del OIEA para el Iraq, que reanudó las inspecciones in situ a finales de noviembre de 2002 en virtud de un mandato reforzado del Consejo de Seguridad, también aplicarán los instrumentos destinados al muestreo ambiental para salvaguardias. (Véase el recuadro de la página 18.)

Para adquirir la capacidad, hubo que realizar varias tareas paralelamente: desarrollar y validar métodos de muestreo, proporcionar materiales limpios y certificados para el muestreo, crear una instalación aséptica de Categoría 100 para manipular las muestras sin correr el riesgo de contaminación cruzada, coordinar una red de laboratorios analíticos (RLA) con capacidades de medición muy especializadas y aplicar un sistema de garantía de calidad de estanco al aire con objeto de eliminar cualquier duda sobre la credibilidad de los resultados.

En la actualidad, los inspectores del OIEA toman varios cientos de muestras ambientales cada año en instalaciones diseminadas por todo el mundo. Los laboratorios del OIEA y su RLA realizan miles de mediciones de esas muestras. Los resultados se comparan con las declaraciones de las instalaciones inspeccionadas, utilizando códigos de computadora ultramodernos y métodos estadísticos para detectar discrepancias importantes.

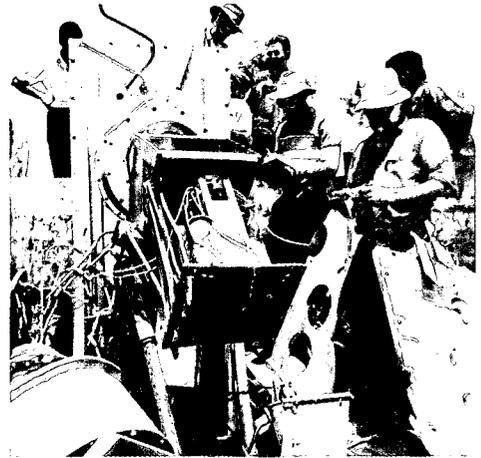
Aunque en esas muestras se utilizan métodos analíticos avanzados desde el punto de vista de la sensibilidad y selectividad de los elementos o isótopos de interés, constantemente se están creando métodos más novedosos y más eficaces. Una cantidad de información realmente sorprendente puede obtenerse a partir de una pequeña cantidad de material recolectado, por ejemplo, en una muestra que los inspectores frotan sobre la superficie de un pedazo de tela de algodón de 10 x 10 cm. Los resultados que pueden lograrse demuestran la idoneidad de estos métodos.

Instrumentos clave destinados al muestreo ambiental para salvaguardias. La capacidad del OIEA para ese tipo de muestreo reside en el Laboratorio Aséptico de Salvaguardias, que forma parte del Laboratorio Analítico de Salvaguardias (LAS) cercano a Viena, Austria. Los laboratorios emplean las siguientes técnicas analíticas para selec-

El Sr. Donohue es jefe del Laboratorio Aséptico de Salvaguardias del OIEA, sección del Laboratorio Analítico de Salvaguardias (LAS) del Organismo en Seibersdorf, Austria. El presente artículo actualiza el contenido de un trabajo publicado en la revista, Analytical Chemistry, Vol. 74, No. 1 (enero de 2002, preparado con colaboraciones de colegas del LAS, el Laboratorio Aséptico y el Departamento de Salvaguardias.

1991, VERANO DE DESCUBRIMIENTOS

Hace más de 10 años, los inspectores del OIEA descubrieron en el Iraq un programa de armas nucleares clandestino. Este descubrimiento pudo hacerse gracias a las tecnologías y las capacidades del Organismo para analizar muestras de materiales nucleares y radiactivos, en particular las técnicas de vigilancia ambiental. Los inspectores tomaron muestras de los materiales dentro de las instalaciones y en sus alrededores, y recogieron muestras por frotis del polvo acumulado en las superficies del equipo. ⑤ Para su sorpresa, los analistas descubrieron pruebas de enriquecimiento de uranio, en concreto uranio isotópicamente modificado que no coincidía con ninguno de los materiales conocidos que se habían declarado. También descubrieron uranio sumamente agotado que sólo pudo haberse producido mediante la técnica de separación electromagnética, método que ya se sabe que no se utiliza en ninguna parte del mundo. Ulteriores inspecciones y análisis hicieron que el Iraq revelara su programa de enriquecimiento. ⑤ Los análisis de otras muestras también revelaron la irradiación no declarada de uranio para producir cantidades muy pequeñas de plutonio. Además, se descubrió uranio procedente de tres masas de mineral diferentes, e incluso la producción autóctona como subproducto procedente de una planta de fosfato iraquí. ⑤ Las técnicas de vigilancia ambiental se utilizaron desde 1991 hasta 1998 para verificar la exactitud de las declaraciones definitivas del Iraq sobre su programa nuclear. En 1998, cuando se interrumpieron las inspecciones, el Organismo pudo graficar el programa iraquí y neutralizarlo.



La experiencia con el Iraq llevó a fortalecer el sistema de salvaguardias del OIEA y a ampliar el uso del muestreo y el análisis ambiental. Las técnicas se introdujeron en 1996 como medida de inspección que puede aplicarse en virtud de los acuerdos de salvaguardias amplias y, de manera más general, en el marco de los protocolos adicionales de esos acuerdos, que permiten a los inspectores del Organismo verificar tanto los materiales y las actividades nucleares declarados como los no declarados.

Para una reseña más completa, véase el Vol. 34 No. 1 (1992) del Boletín del OIEA, donde figura el artículo "Entre bastidores: Análisis científico de muestras tomadas en las inspecciones nucleares realizadas en el Iraq", por David Donohue y R. Zeisler. Véase también "Tecnologías para la detección de emisiones", capítulo 3 de un informe de 1995 sobre las salvaguardias nucleares preparado por la antigua Oficina de los Estados Unidos para la evaluación de tecnologías.

cionar y medir las muestras ambientales:

⑤ *La espectrometría gamma de alta resolución (HRGRS)* se emplea para la selección radiométrica inicial de las muestras cuando se reciben por primera vez en Seibersdorf. Esta selección puede realizarse sin extraer las muestras de sus bolsas o botellas, por lo que así se reducen todavía más las posibilidades de la contaminación cruzada.

⑤ *La espectrometría por fluorescencia de rayos X excitada por radionúclidos o tubo de rayos X* puede detectar cantidades inferiores a un microgramo de uranio en muestras ambientales. Esta información se utiliza para decidir la manipulación segura de

las muestras en un laboratorio aséptico y escoger los métodos detallados de análisis que se aplicarán posteriormente.

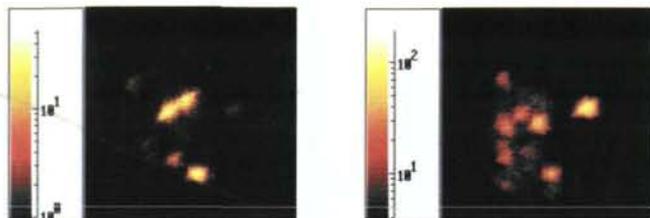
⑤ *La microscopía de barrido electrónico con espectrometría de electrones excitados por fluorescencia de rayos X (SEM/XRF)* permite medir la composición elemental de partículas del tamaño de un micrómetro extraídas de las muestras ambientales. Interesan, en particular, las razones uranio/plutonio y americio/plutonio en las muestras tomadas dentro de las cajas de guantes o las celdas calientes.

⑤ *La espectrometría de masa por ionización térmica (TIMS)* empleando la detección mediante conteo de iones se utiliza para medir las cantidades inferiores a un nanogramo

de uranio o plutonio después de la disolución de las muestras (el llamado "análisis volumétrico"). Este análisis permite obtener la composición media de la muestra, independientemente de la forma física de los elementos presentes, y complementa la información obtenida mediante los métodos de "análisis de partículas" como el SEM/XRF.

⑤ *La espectrometría de masa de iones secundarios (SIMS)* se utiliza para medir la composición isotópica de partículas del tamaño de un micrómetro. Los isótopos de uranio 235 y uranio 238 son los que revisten mayor interés porque revelan el enriquecimiento del uranio, e indican si hay intención de usarlo en combustible para reactores o en

Análisis de partículas de isótopos de uranio



Imágenes de iones de uranio 235 y uranio 238 obtenidas por analistas del OIEA empleando la espectrometría de masa de iones secundarios. En las imágenes pueden verse iones de un área de 150 micrómetros de diámetro. Cada punto luminoso es una sola partícula y el enriquecimiento de todas las partículas detectado puede calcularse fácilmente comparando matemáticamente las dos imágenes. (Cortesía: OIEA)

explosivos nucleares. (Véase la figura de la página siguiente.)

Vasta experiencia. El OIEA ha ganado experiencia en la toma de la mayoría de los tipos de muestras ambientales: suelo, sedimento, agua, vegetación y biota. Sin embargo, estos tipos de muestras se suelen tomar a cierta distancia de una instalación conocida o presunta, y los efectos de la dilución pueden ser grandes.

Como los inspectores del OIEA tienen acceso a los edificios situados en un emplazamiento nuclear, se decidió concentrar los esfuerzos en tomar y analizar muestras de la superficie tomadas por frotis. Las muestras por frotis presentan varias ventajas: son pequeñas y compactas (en comparación con una muestra de 1 kg de suelo o 1 litro de agua); facilitan la toma de submuestras múltiples que se replican en cada lugar; para realizar el frotis puede seleccionarse un medio con bajo fondo de los elementos de interés; y se adaptan bien al muestreo de partículas de polvo procedentes de superficies horizontales y del equipo que se encuentra dentro de los edificios.

Se han creado dos tipos de juegos de muestreo por frotis. Cada

uno contiene todo lo que un inspector capacitado necesita para tomar muestras por frotis idénticas en un lugar: guantes, bolsas, botellas, hojas de datos (con instrucciones para el muestreo en su reverso), pluma y otros enseres. El Laboratorio Aséptico produce estos juegos en una zona aséptica de Categoría 100 en las que se adoptan suficientes medidas de garantía de la calidad para probar que los frotis no estén contaminados con elementos de actínidos o radionucleidos antes de usarlos. Tanto los juegos que no se hayan utilizado como las muestras definitivas se mantienen bajo el control del inspector en todo momento para evitar la contaminación cruzada involuntaria o su manipulación.

Aunque el LAS y el Laboratorio Aséptico están bien dotados de equipo para realizar un análisis detallado de las muestras ambientales, fue necesario crear una red de laboratorios en los Estados Miembros del Organismo, que pudiera satisfacer tres necesidades básicas: aplicar métodos analíticos que el OIEA no puede implantar (como el análisis de la traza de fisión o la espectrometría de masa con acelerador), disponer

de una capacidad de apoyo para los laboratorios del OIEA que permita procesar las muestras cuando éstas alcancen niveles máximos y proporcionar mediciones paralelas de submuestras idénticas para aumentar la confianza en la exactitud de los resultados.

El Laboratorio Aséptico también produce muestras de control de calidad en blanco y "añadidas" que se envían "ciegas" junto con las muestras tomadas durante la inspección para realizar una doble comprobación de los resultados negativos falsos o positivos falsos. Por último, el LAS y el Laboratorio Aséptico han demostrado tener un serio compromiso con la calidad, logrando la certificación con arreglo a la norma de garantía de calidad 9002/1994 de la ISO.

Ejemplos de análisis. La vigilancia ambiental trata de elementos e isótopos que llevan una sola "firma" de procesos antropógenos (hechos por el hombre) como por ejemplo, el enriquecimiento de isótopos o la irradiación neutrónica. De manera similar a como se estudian las pruebas de un homicidio en un laboratorio forense, los analistas buscan patrones que indiquen inequívocamente un escenario específico: ¿cuáles fueron los materiales iniciales, mediante cuál proceso se transformaron y cuándo eso sucedió?

Cuando los resultados coinciden con las declaraciones de la instalación, estos proporcionan garantía adicional de que no ha habido uso indebido. Cuando se encuentra una posible discrepancia, se adoptan medidas para confirmarla, por ejemplo, volviendo a verificar los resultados obtenidos por el laboratorio que presenta la información, analizando las muestras de archivo o tomando nuevas muestras. El especialista que evalúe los datos debe estar bien informado de las limitaciones de los métodos de análisis y andar constantemente a la caza de datos engañosos ocasionados por contaminación, interferencias o errores.

INSTRUMENTOS AVANZADOS APOYAN A LOS INSPECTORES EN EL IRAQ

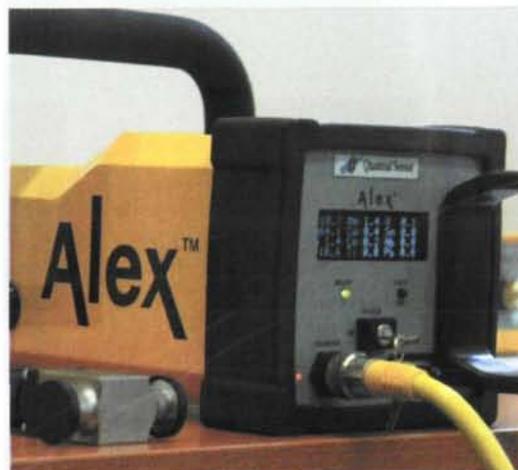
Los inspectores nucleares del OIEA disponen de diversos instrumentos de alta tecnología para realizar las inspecciones de armas en el Iraq, reanudadas en noviembre de 2002 después de cuatro años de ausencia. Desde 1998, se han introducido importantes mejoras en esta tecnología.

Entre sus principales tareas, los inspectores del Organismo tendrán que instituir un sistema de detección, semejante a una red, en el Iraq, país aproximadamente del tamaño de Francia. El objetivo de su red es no dejar que por ella se escapen pruebas importantes. Este enfoque se conoce como búsqueda amplia de zona. En una red dada, se seleccionarán las zonas objetivo con miras a la labor de inspección y de determinación de los hechos más directas.

En la medida en que reúnan pruebas, los inspectores utilizarán una amplia variedad de tecnologías; como instrumentos de medición y detectores de radiactividad manuales. Se utilizan algunos instrumentos pequeños para buscar materiales nucleares y radiactivos que se sabe que están vinculados a la fabricación de armas. Otros instrumentos, conocidos como analizadores multicanales, pueden detectar elementos radiactivos específicos en las muestras que los inspectores recogen para someterlas un análisis más exhaustivo en los laboratorios.

El análisis de las muestras puede determinar las "huellas nucleares" y revelar indicios de actividades anteriores y actuales en lugares donde se manipulan materiales nucleares, sobre todo los vinculados a la conversión, fabricación y enriquecimiento de uranio. Ahora bien, para la determinación de esos casos se requiere pericia y el equipo apropiado, ya que las huellas de los diferentes isótopos se pueden, por ejemplo, superponer y un componente abundante de un elemento puede ocultar uno raro.

Puede ser difícil sacar conclusiones y muchas veces es necesario aplicar múltiples enfoques analíticos dimensionales. El OIEA posee sus propios expertos e instalaciones, gracias a su Laboratorio Analítico de Salvaguardias en Austria, con experiencia en la medición y el análisis de muestras, y cuenta en particular con centenares de muestras de las inspecciones realizadas en el Iraq en el decenio de 1990. Desde entonces, existe un "Laboratorio Aséptico" que funciona a plena capacidad y que está equipado con instrumentos muy sensibles, incluidos microscopios electrónicos y espectrómetros de masa. Los expertos pueden medir con precisión incluso diminutas partículas de un nanogramo (mil millonésima parte de un gramo) y detectar vestigios de materiales nucleares tomados en el entorno de instalaciones nucleares conocidas o presuntas.



Analizadores multicanales. Esos instrumentos estándares y portátiles de que disponen los inspectores del OIEA registran la energía emitida por una fuente radiactiva. Esos analizadores utilizan soportes lógicos (software) que leen el espectro de energía de salida, la comparan con patrones internos y visualizan el resultado. El analizador portátil está destinado para detectar la radiación gamma de los radioisótopos y la presencia de neutrones para aumentar la detección de plutonio, que se produce en un reactor mediante la irradiación de uranio 238. A diferencia de los detectores de radiaciones típicos, el dispositivo puede utilizarse para buscar y localizar una fuente de radiación desconocida, determinar la tasa de dosis relativa y detectar los isótopos de la fuente. Los resultados se visualizan en una pantalla digital. Por ejemplo, los isótopos de uranio y plutonio son un buen indicio de si se ha reprocesado el combustible nuclear. Otro tipo, el espectrómetro gamma portátil, está específicamente diseñado para medir el uranio y determinar si ha sido enriquecido. Puede realizar mediciones precisas y rápidas de verificación de presencia de uranio en laboratorios, instalaciones u otros entornos industriales. La razón de ciertos isótopos puede arrojar información valiosa como por ejemplo, el tipo de enriquecimiento utilizado.

Detectores de aleaciones. Ante un depósito lleno de objetos metálicos, los inspectores han utilizado otro dispositivo portátil, conocido como ALEX, forma abreviada del nombre de la marca en inglés "alloy expert" (experto en aleaciones). En las actividades nucleares se emplean aceros exóticos y elementos poco usuales como el circonio. ALEX permite la rápida detección en el terreno y ofrece la oportunidad

Foto: Los inspectores nucleares en el Iraq utilizan diversos tipos de instrumentos. (Cortesía: Calma/OIEA)

de intensificar las inspecciones cuando se descubre algo importante. Por ejemplo, el UF6 (hexafluoruro de uranio) es un material altamente corrosivo utilizado en el enriquecimiento del uranio. ALEX identificaría rápidamente las aleaciones especiales requeridas en su aparato de producción. Técnicamente, el dispositivo es un espectómetro de fluorescencia X. El dispositivo genera rayos X que penetran en el material que se inspecciona. ALEX compara el patrón de respuesta de los elementos de la aleación con los rayos x con la información contenida en la biblioteca de su software, y visualiza los resultados.

Instrumentos de vigilancia ambiental. La vigilancia del agua, el aire y la vegetación será otro aspecto de la red de búsqueda sobre el Iraq. Es probable que un programa de desarrollo de armas nucleares, por mucho que se trate de ocultarlo, deje sus huellas en la naturaleza. En todo el Iraq se llevará a cabo la vigilancia de las aguas utilizando un sistema que extrae el agua sin depurar a través de un filtro durante una hora, lo que equivaldría a analizar un gran volumen de agua. El análisis de laboratorio del filtro permite encontrar los vestigios más diminutos de materiales en el agua con absoluta precisión. Se pueden establecer estaciones de muestreo del aire en diversos puntos en todo el Iraq y analizar las muestras de vegetación para buscar tritio, que es un isótopo de hidrógeno. Por ejemplo, encontrar tritio en las vías fluviales o en el aire es una señal convincente de operaciones de reactores.

Sistemas de vigilancia de vídeo digital. Para la vigilancia y el control en las instalaciones se utilizan sistemas digitales de vídeo y a prueba de interferencias. Esos sistemas podrían incluir fábricas en las que podrían realizarse actividades de doble propósito, por ejemplo, el uso potencial de máquinas herramientas para fabricar componentes de un programa nuclear. Los datos se incorporan en un eficaz sistema de computadoras que los inspectores utilizan para examinar y analizar imágenes y datos conexos.

Imágenes de satélites. Para los fines de vigilancia, las imágenes obtenidas por satélites comerciales pueden ayudar a los inspectores localizar las actividades. Una nueva generación de dispositivos del sistema mundial de determinación de posición hará que resulte más fácil para los inspectores realizar la labor de vigilancia en todo el país.

Base de datos sobre inspecciones. Junto al conjunto completo de equipo de detección de radiación y de vigilancia, una herramienta clave que los inspectores utilizan es la base de datos confidenciales del Grupo de Acción, que contiene información general y excepcionalmente exhaustiva obtenida de anteriores inspecciones, declaraciones del Iraq, revelaciones hechas por desertores, información secreta y otras múltiples fuentes acerca de las actividades nu-



cleares conexas del Iraq. Por ejemplo, los inspectores pueden descubrir si un dispositivo se ha trasladado de un lado a otro de una habitación, y averiguar por qué.

Muchas claves para el éxito. La diversidad de herramientas proporciona un conjunto eficaz y complementario de recursos para que los inspectores aumenten sus amplios conocimientos y experiencia.

Ahora bien, en última instancia, las inspecciones en el Iraq dependen de factores que escapan a la experiencia y al conjunto de herramientas de los inspectores. Como ha destacado el Director General del OIEA, Dr. Mohamed Elbaradei, el éxito dependerá de cinco requisitos interrelacionados: 1) el acceso inmediato e irrestricto a todos los lugares y emplazamientos en el Iraq y el uso pleno de las facultades conferidas por el Consejo de Seguridad a las organizaciones de inspección; 2) el acceso oportuno a todas las fuentes de información, en particular a toda la información de que dispongan los Estados; 3) el apoyo unificado y pleno por parte del Consejo de Seguridad durante todo el proceso de inspección; 4) la preservación de la integridad e imparcialidad del proceso de inspección, libre de interferencia externa; y 5) la cooperación activa del Iraq, con la demostración permanente de su disposición expresa de ser transparente y ayudar a las organizaciones de inspección a cumplir plenamente sus misiones.

El presente informe se publicó por primera vez en las páginas WorldAtom del OIEA, en www.iaea.org. Para actualizarse sobre las inspecciones del OIEA en el Iraq y otros temas, sírvase visitar el sitio.

Foto: Las imágenes de los satélites comerciales y los sistemas de vigilancia digital se analizan como parte de las actividades de los inspectores del OIEA en el Iraq. (Cortesía: Calma/OIEA)

⑤ *Productos de la fisión y la activación.*

Las muestras por frotis pueden tomarse dentro de las celdas calientes donde años antes se haya manipulado el combustible gastado del reactor. Cabría esperar que las razones de los productos de la fisión y la activación medidas por los HRGRS muestren los efectos de la desintegración radiactiva durante este tiempo. Interesan los radionucleidos, como el cerio 144 y el europio 154, que tienen períodos de semidesintegración que oscilan entre menos de un año y casi nueve años. Los frotis se miden tal como se reciben durante un período de hasta 24 horas y los resultados de cada isótopo se expresan como una proporción de actividad comparada con el cesio 137.

⑤ **Partículas que contienen plutonio.** A fin de preparar las muestras para el examen de partículas con el microscopio electrónico de barrido, hay que tocar la superficie del frotis con un disco adhesivo de carbono. Las partículas se extraen de la superficie del frotis y el adhesivo conductor de electricidad las mantiene en su lugar. Después de colocar el residuo en el microscopio electrónico, se inicia un procedimiento normal de búsqueda automatizada de las partículas que muestran una fuerte señal de electrones retrodispersados, asociadas a la presencia de elementos pesados.

Cada partícula así identificada se mide mediante espectrometría por fluorescencia X basada en la dispersión de la energía (FX-DE) y los resultados se almacenan para que el analista los inspeccione posteriormente. Una sesión de medición automática suele durar entre cuatro y seis horas y abarca varios milímetros cuadrados de la superficie de la muestra. Después de clasificar y examinar los datos obtenidos mediante la espectrometría FX-DE, el analista selecciona varias partículas interesantes con la finalidad de realizar mediciones más detalladas, usando un espectrómetro de rayos X

de dispersión de la longitud de onda (WDX). Esto se hace para realizar mediciones precisas de la relación de elementos actínidos en cada partícula, como uranio/plutonio o americio/plutonio. La concentración relativa de esos elementos en ese tipo de partícula permite conocer los antecedentes de irradiación del combustible de uranio y revela si se han realizado operaciones de separación química.

En el caso de esas partículas de plutonio, el crecimiento de americio 241 da la medida del tiempo transcurrido desde la última purificación química del plutonio. Esta capacidad para "datar" es útil al salvaguardar las instalaciones paradas o clausuradas a fin de detectar si recientemente ocurrieron operaciones de separación química. Al evaluar esos resultados, se tiene en cuenta que la cantidad de plutonio en una partícula de un micrómetro de diámetro tiene sólo unos cuantos picogramos (aproximadamente 10^{10} átomos) y que el espectrómetro de fluorescencia de rayos X puede detectar componentes menores como el americio, que son del orden de unos pocos femtogramos.

⑤ **Medición del enriquecimiento de uranio en las partículas.** Las ventajas de la SEM/XRF son su elevada sensibilidad elemental y capacidad para seleccionar y medir grandes cantidades de partículas. Sin embargo, su principal desventaja es que no proporciona información isotópica sobre el uranio o el plutonio, lo que puede ser de importancia decisiva. Para este fin, los analistas aplican la técnica de la espectrometría de masa de iones secundarios, utilizando un sistema de detección de imágenes que produce imágenes resueltas espacialmente para cada isótopo de interés. El "enriquecimiento" de cada partícula se calcula comparando el conteo total acumulado de uranio 235 con el de uranio 238; los demás isótopos se vigilan

con el fin de detectar posibles interferencias moleculares.

La medición automatizada de varios milímetros cuadrados de superficie puede incluir más de 200 campos, que contienen hasta varios miles de partículas de uranio. Al mostrarlos en un diagrama de puntos para su análisis, las partículas de uranio muy enriquecido pueden identificarse fácilmente. No obstante, los analistas tienen que tener en cuenta la incertidumbre de la medición, en la que predomina el error estadístico de cómputo del isótopo menor (uranio 235 en la mayoría de los casos).

⑤ **Medición del uranio y del plutonio.** Una de las mediciones más difíciles aplicadas a las muestras ambientales por frotis es el llamado "análisis volumétrico", que supone la disolución de toda la muestra, la adición de trazadores de isótopos separados, la separación y la purificación químicas de fracciones de uranio y plutonio para medirlas con la espectrometría de masas por ionización térmica (TIMS). Los trazadores isotópicos son bastante puros y pueden obtenerse con valores de concentración certificados.

Las muestras por frotis pueden tomarse, por ejemplo, en una instalación que fabrique elementos combustibles de uranio muy enriquecido (UME) para reactores. Las muestras denotan claramente la presencia de plutonio, y también pueden mostrar la concentración más elevada de UME, lo que sugiere una correlación entre el UME y el plutonio. Esto ilustra la sensibilidad de los métodos empleados.

Al servicio de objetivos mundiales. Más de cinco años de aplicación ordinaria del muestreo ambiental para salvaguardias, ha permitido al OIEA sacar determinadas conclusiones acerca de la utilidad de los métodos analíticos y de muestreo utilizados. Si bien ese tipo de muestreo, como otros instrumentos de análisis, no es una panacea en sí, las técnicas

proporcionan información esencial. Las razones isotópicas revisten importancia fundamental porque revelan el historial de los materiales nucleares y los efectos del enriquecimiento o la irradiación con neutrones. Las razones de los productos de fisión o activación entre sí pueden ser una manera útil de determinar el quemado del combustible del reactor y el tiempo transcurrido desde la descarga del reactor. Las técnicas

de datación también pueden utilizarse para comprobar la situación de las instalaciones paradas.

Cabe señalar que los métodos analíticos utilizados con miras al muestreo ambiental para salvaguardias pueden aplicarse directamente en otras esferas de cierta forma conexas. Una de ellas es el análisis de los materiales nucleares decomisados por los funcionarios o la policía de aduana en relación con incidentes de tráfico ilícito, lo

que da paso a un nuevo campo: el "análisis forense de materiales nucleares". (Véase el recuadro de esta página.) Como en el caso de las salvaguardias internacionales y las inspecciones nucleares en el Iraq, la comunidad internacional puede beneficiarse extraordinariamente con la aplicación de técnicas científicas para encarar serias preocupaciones a nivel mundial. ☐

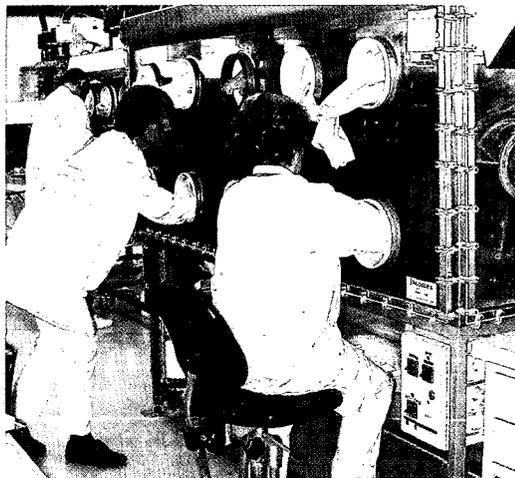
ANÁLISIS FORENSE DE MATERIALES NUCLEARES Y TRÁFICO ILÍCITO

Las huellas y el análisis forense han desempeñado importantes funciones en el derecho penal durante mucho más de un siglo. En la medida en que la ciencia y la tecnología han avanzado, los métodos de investigación se han modernizado cada vez más, de modo que ahora los especialistas pueden extraer material genético incluso de un solo cabello.

En la esfera relativamente nueva del "análisis forense de materiales nucleares", que se centra en analizar el tipo, el uso y el origen de los materiales nucleares, ahora se están aplicando métodos similares para determinar las características materiales con elevado nivel de precisión. Al igual que sucede con las huellas humanas, el material nuclear se puede identificar, examinar y perfilar. La determinación de los radioisótopos, la razón isotópica y de masa, la edad del material, el contenido de impurezas, la forma química y los parámetros físicos quizás revelen una "huella nuclear" del material. Los resultados de los ensayos, junto con otras pruebas reunidas, permiten determinar con precisión las cantidades más diminutas. Los métodos analíticos desarrollados para esos fines se utilizan en las salvaguardias internacionales y en el análisis forense de materiales nucleares.

En el mundo cambiante de hoy, el OIEA, conjuntamente con el Instituto de elementos transuránicos de la Comisión Conjunta de Investigaciones de la Unión Europea, está tomando la iniciativa de ayudar a los países a establecer un sistema para mejorar la respuesta a los casos de contrabando nuclear. Un objetivo fundamental es mejorar la capacidad para identificar y caracterizar con precisión el material confiscado. Los estudios se llevan mejor a cabo en un laboratorio en el que ya se realicen aplicaciones altamente complejas, en el que se puedan analizar tanto los materiales nucleares como los no nucleares, desde cera para precintado, vidrio y papel hasta radionucleidos.

En octubre de 2002, expertos internacionales en la esfera examinaron los acontecimientos más recientes en la Conferencia Internacional del OIEA sobre adelantos en el análisis destructivo y no destructivo aplicable a la



vigilancia ambiental y el análisis forense de materiales nucleares, celebrada en Karlsruhe, Alemania. En ella participaron científicos de laboratorios y autoridades encargadas de hacer cumplir las leyes, quienes examinaron diversas cuestiones: desde la reunión, la protección y el análisis de materiales hasta los sistemas jurídicos y los requisitos establecidos en diferentes países. En el programa también figuraba el papel del OIEA en la labor colectiva encaminada a combatir el tráfico ilícito de materiales nucleares, en particular la ayuda a los laboratorios analíticos y el asesoramiento sobre la manipulación en condiciones de seguridad de las muestras confiscadas en casos de tráfico ilícito.

Los debates incluyeron además las tecnologías para determinar el origen de los materiales confiscados en casos de tráfico ilícito de materiales nucleares. Un aspecto central fue la forma de seguir fortaleciendo las estrategias de seguridad nuclear y la cooperación entre los laboratorios analíticos. Los planes incluyen la prestación de apoyo internacional especializado para la labor analítica requerida. -El presente informe se publicó por primera vez en el sitio WorldAtom del OIEA en www.iaea.org. Para más información, consulte el sitio.

Foto: Las muestras se pueden analizar para encontrar sus "huellas nucleares". (Cortesía: OIEA)