

# Adelantos tecnológicos e instrumentos de salvaguardias: Respuesta a los nuevos desafíos

*Los adelantos tecnológicos alcanzados en diversas esferas repercuten en la aplicación y el apoyo de las salvaguardias*

**E**n los inicios del decenio de 1990, instrumentos tecnológicos que no hace mucho se encontraban en la etapa de investigación y desarrollo están cambiando la forma en que los inspectores pueden inspeccionar los materiales nucleares de numerosas instalaciones en todo el mundo.

Ya se utilizan muchos de estos nuevos instrumentos: desde sistemas avanzados de vigilancia por vídeo hasta detectores y analizadores en miniatura. Algunos se han fabricado expresamente para realizar tareas específicas de salvaguardia o para instalarlos en lugares adonde no pueden llegar los inspectores, como por ejemplo, las piscinas de almacenamiento subacuático del combustible gastado del reactor.

El desarrollo de muchos de estos nuevos instrumentos de salvaguardia se sustenta en varios factores, entre los cuales figuran los siguientes:

- **Adelantos tecnológicos en esferas relacionadas con las computadoras, como el microprocesamiento y la electrónica, y en tipos específicos de instrumentos.** Por conducto de una red internacional de programas de apoyo integrada por más de 10 países y la Euratom, las actividades de salvaguardia del OIEA se benefician de los servicios especializados de algunos de los principales laboratorios de instrumentos del mundo. En algunos casos, los rápidos cambios ocurridos en la tecnología de los instrumentos han dictado modificaciones en virtud de las cuales un equipo pasa a ser obsoleto o se dificulta la obtención de piezas de repuesto.

- **Adelantos técnicos en la industria nuclear.** Entre ellos se incluyen la fabricación de conjuntos combustibles más modernos para reactores de potencia y un mayor empleo de la automatización y los métodos de telemanipulación en las instalaciones del ciclo del combustible nuclear, especialmente en las

plantas de reelaboración del combustible gastado y fabricación de elementos combustibles. En estos procesos el material nuclear puede resultar menos accesible a los fines de la verificación, lo cual exige nuevos procedimientos y técnicas de salvaguardias para verificar los inventarios.

- **Mejoras de la eficiencia y esfuerzos para reducir los costos de la aplicación de las salvaguardias.** La situación financiera del OIEA ha aumentado el interés en la adopción de medidas y técnicas de salvaguardia más eficaces en función del costo, particularmente respecto de determinados tipos de instalaciones nucleares.

Vistos desde una perspectiva amplia, los adelantos tecnológicos han mejorado considerablemente las posibilidades de los instrumentos de salvaguardia. Por supuesto, estas mejoras llevan también aparejadas nuevas necesidades relacionadas con el apoyo instrumental y la capacitación.

Hoy día no existen grandes desequilibrios entre la necesidad específica de aplicación de un instrumento y la disponibilidad de un instrumento que, en principio, pueda satisfacerla. En algunas circunstancias, el instrumento es muy avanzado, pero aun así, en la mayoría de los casos hay que comprometer su complejidad o capacidad en función de la fiabilidad cuando se utiliza en la industria.

La otra situación extrema es que siguen existiendo situaciones en las que el instrumento puede obtenerse fácilmente pero no es del todo aceptable.

En la mayoría de los casos los requisitos de salvaguardia exigen rigurosas especificaciones que no se pueden cumplir con un equipo de catálogo. En consecuencia, la mayor parte del equipo de salvaguardias del Organismo debe ser fabricado por encargo y esto suele garantizar el cumplimiento de los objetivos técnicos, pero no que la estrategia de aplicación del nuevo equipo sea la óptima ni que la infraestructura de apoyo pueda asimilarlo sin dificultad.

A este respecto, los adelantos tecnológicos han planteado un problema importante que ahora enfrenta el OIEA: la mejor forma de integrar el equipo de

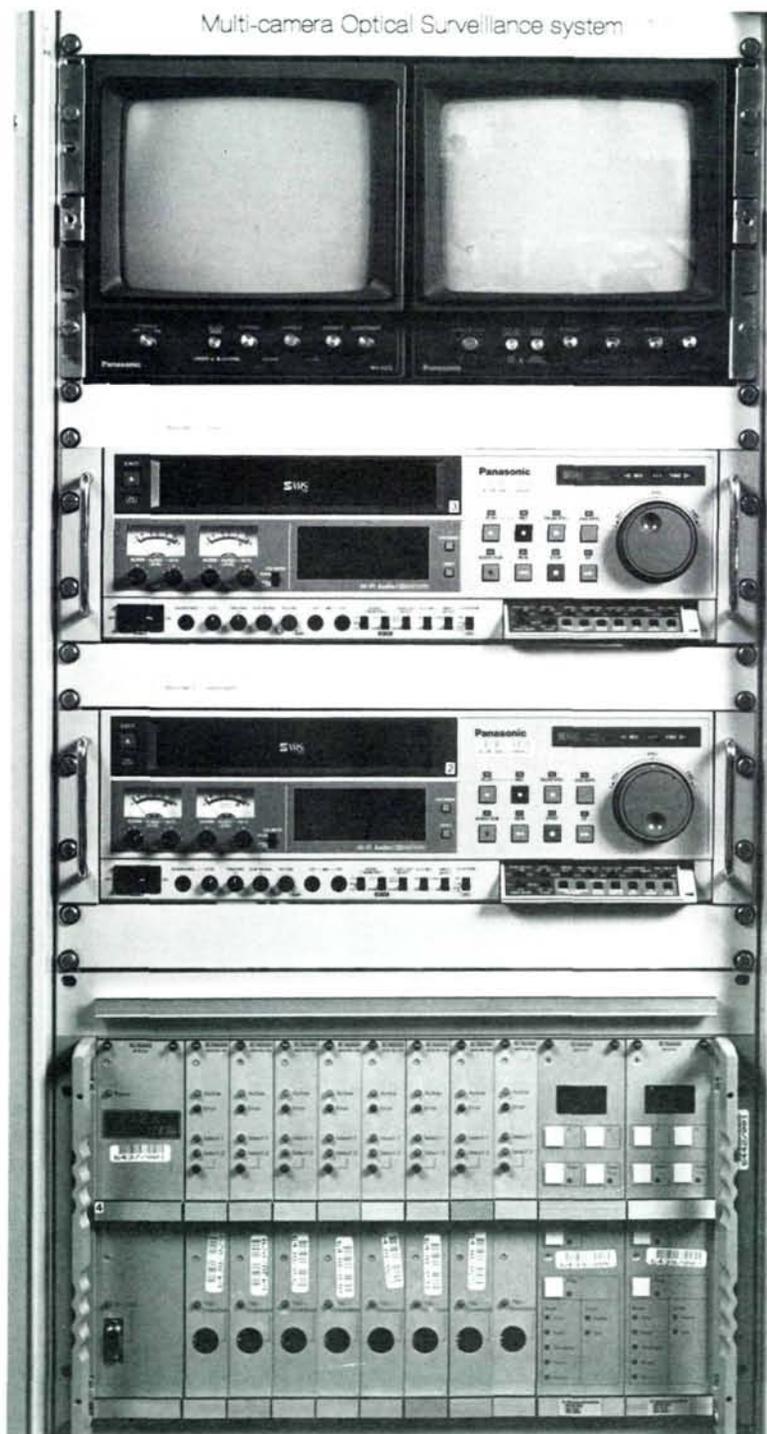
por  
K. Naito y  
D.E. Rundquist

El Sr. Naito es Director de la División de Desarrollo y Servicios Técnicos del Departamento de Salvaguardias del OIEA, y el Sr. Rundquist es Jefe de la Sección para el Desarrollo de Instrumentos de la División.

tecnología avanzada dentro de sus limitadas posibilidades de aplicación y apoyo de las salvaguardias.

En este artículo se examina brevemente el desarrollo actual del equipo de salvaguardias dentro del contexto de los adelantos tecnológicos y se ofrecen detalles técnicos seleccionados de un conjunto representativo de los sistemas de instrumentos de salvaguardia más recientes.

Sistema de  
vigilancia óptica de  
cámaras múltiples.



## Desarrollo de los instrumentos y el equipo

La salvaguardia eficaz de una instalación requiere un enfoque y recursos para ponerlo en práctica.

Los enfoques varían según el tipo de instalación, pero en esencia todos los proyectos combinan las actividades de contabilidad del material con las de contención y vigilancia (C/V). La contabilidad del material está relacionada fundamentalmente con la actualización del inventario del material nuclear en las diversas secciones de una planta. Ello siempre entrañará mediciones tales como "cantidad", "enriquecimiento", y "número de elementos concretos". La contención se refiere a la restricción de la circulación del material nuclear o el acceso a éste, bien por razones operacionales, como naturalmente ocurre en una planta, o bien mediante las medidas de salvaguardias que aplica el OIEA, como por ejemplo, el precintado de una cantidad de material nuclear previamente verificada. La vigilancia supone la observación de la circulación del material nuclear por el hombre o mediante instrumentos, cámaras de televisión de circuito cerrado o cámaras filmadoras.

Entre los recursos se incluyen el apoyo financiero, los inspectores y el equipo. Para lograr el éxito de un determinado enfoque de salvaguardias, es preciso que los inspectores reciban una capacitación esmerada en las técnicas de utilización del equipo requerido y en la interpretación de los datos que se obtienen.

En general, el equipo de salvaguardias del OIEA puede subdividirse en dos categorías generales:

- Equipo voluminoso situado en el emplazamiento que puede emplearse para una vigilancia y control fiables, o para realizar mediciones exactas empleando el análisis no destructivo (AND).
- Equipo portátil en miniatura que el inspector lleva a la instalación para realizar algunos tipos de mediciones de atributos (indicativas y no cuantitativas) o trabajos sencillos de C/V.

Esta división en categorías es arbitraria, pero ayuda a formarse una imagen de la aplicación del instrumento.

Entre los instrumentos típicos de la primera categoría figuran los contadores de coincidencias neutrónicas para medir cuantitativamente el plutonio no irradiado en una diversidad de formas químicas. El instrumento puede ser colocado o no en la instalación. En buenas condiciones (con un material bien caracterizado y normas representativas) los contadores de coincidencias neutrónicas pueden lograr precisiones del orden del 1%. Otro ejemplo es el equipo de vigilancia de la descarga del núcleo (CDM), que se describe en la siguiente sección.

Entre los instrumentos de la segunda categoría figuran el analizador multicanal portátil (AMCP) y el dispositivo de observación del brillo de Cherenkov, que se usa para inspeccionar el combustible irradiado gastado.

En ambas categorías, el proceso de desarrollo suele ser similar, aunque con sus particularidades. Las necesidades básicas quedan definidas en los requisitos que declara el usuario y después se traducen en las especificaciones funcionales que determinan el diseño técnico del instrumento.

Las especificaciones funcionales son los cimientos del programa de desarrollo de un instrumento. Un programa de desarrollo integral incluye las especificaciones del diseño técnico, la evaluación de la seguridad, la aceptación y las pruebas sobre el terreno, la documentación, el mantenimiento y la capacitación. El instrumento tiene que satisfacer un conjunto mínimo de criterios para que se autorice su utilización en inspecciones.

Hasta la fecha se han aprobado 65 instrumentos o sistemas de instrumentos para las inspecciones y se están evaluando otros 24. En cierta medida, la cantidad de instrumentos representa la diversidad de situaciones con que tropiezan los inspectores del Organismo en el desempeño de sus funciones. Por otra parte, plantean considerables problemas de organización porque requiere que se preste, de manera fiable y eficaz en función del costo, un apoyo adecuado en esferas como la documentación, la capacitación, el mantenimiento, el control del inventario y la expedición.

#### Visión general de algunos instrumentos seleccionados

En fecha reciente se aprobó el uso de una serie de nuevos instrumentos y otros entraron en su etapa final de desarrollo. Entre ellos figuran los siguientes:

**Equipo de vigilancia de la descarga del núcleo (CDM).** El CDM está ubicado dentro de la zona de contención (inaccesible) de un reactor de potencia que se carga en servicio y proporciona una vigilancia continua del combustible del núcleo sin intervención del operador. Fue desarrollado con la asistencia de programas de apoyo del Canadá y los Estados Unidos para emplearlo en reactores CANDU de varias unidades (u otros reactores de carga en servicio).

El CDM detecta el combustible que se descarga por el frente del reactor y emite una señal que queda registrada como una función de tiempo. Posteriormente el inspector examina los datos y puede verificar el número específico de haces de combustible irradiado que se descargaron del núcleo del reactor.

El sistema se diseñó "a prueba de fallos". Se le incorporaron suficientes elementos redundantes de manera que las fallas de cualquiera de los componentes no comprometan el funcionamiento general. El diseño de los monitores de detección les confiere la misma vida útil del reactor, ya que su ubicación dentro de una zona inaccesible limita las posibilidades de mantenimiento y reparación. Otras características que se han incorporado son la observación automática del funcionamiento y el anuncio de las fallas.

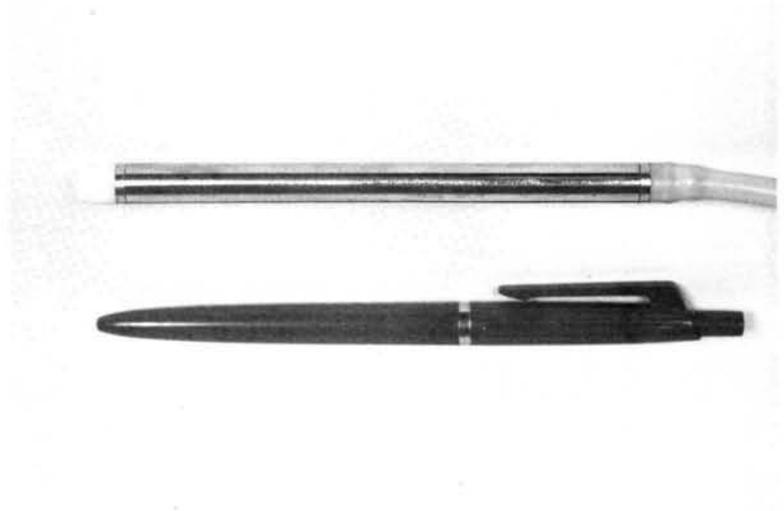
Desde que se comenzó a utilizar, el sistema ha funcionado satisfactoriamente. Reviste especial interés su capacidad para detectar la descarga de haces de combustible irradiado, incluso mucho tiempo después de haberse parado el reactor.

**Sondas en miniatura para detectar radiaciones gamma (CdTe).** La verificación del material nuclear mediante análisis destructivo o no destructivo es uno

de los elementos clave de un sistema internacional de salvaguardias eficaz. En la mayoría de los casos, el material nuclear se verifica midiendo su radiación neutrónica y gamma.

Se ha observado que los detectores de cadmio y telurio (CdTe) resultan sumamente útiles para las mediciones de verificación en que intervienen rayos gamma, sobre todo cuando la accesibilidad es limitada o se necesita un alto grado de transportabilidad. Por conducto del programa de apoyo de la Federa-

Sondas en miniatura para detectar radiaciones (CdTe).



ción de Rusia, se ha creado una sonda detectora en miniatura de cadmio y telurio que propicia nuevas aplicaciones prácticas. Lleva acoplada una micropastilla híbrida que constituye la primera etapa de un delicado preamplificador de carga. La cabecera del sistema de detección está alojada en una sonda en miniatura que sólo tiene 8,2 mm de diámetro y 100 mm de longitud. Esta sonda puede estar situada a una distancia de hasta dos metros del pequeño analizador multicanal portátil.

El desarrollo de estas sondas en miniatura ha permitido realizar una serie de trabajos de medición que abarcan desde la verificación subacuática del combustible irradiado hasta la verificación interna de conjuntos combustibles no irradiados (mediante la introducción de la sonda de detección en el canal de enfriamiento).

**Comprobador de atributos del combustible gastado (SFAT).** Los inventarios de combustible gastado almacenado bajo el agua son la fuente única más importante de material de uso directo que se somete a las salvaguardias. Este material suele verificarse mediante la observación del brillo de Cherenkov.

Sin embargo, cada vez es más frecuente encontrar situaciones en las que la radiación de Cherenkov es demasiado débil para utilizarla con fines de salvaguardia. Con las técnicas existentes de AND (por ejemplo, el detector de iones en forma de hor-

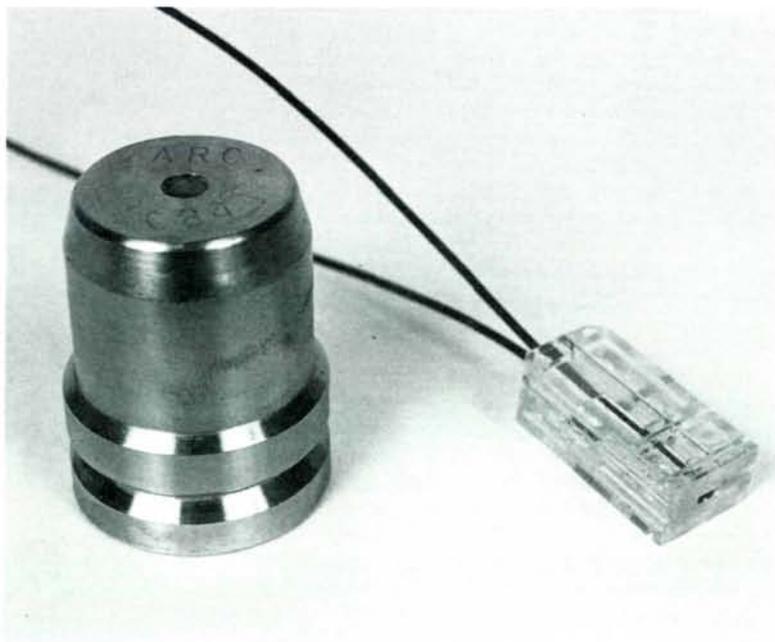
quilla) es preciso levantar los conjuntos combustibles gastados para verificarlos.

Se ha elaborado una nueva técnica menos intrusiva que detecta con más precisión un atributo (rayos gamma producto de la de fisión) del combustible irradiado aunque la señal de la radiación sea relativamente débil, lo cual puede ocurrir, por ejemplo, con un combustible enfriado durante mucho tiempo. El principio en que se basa el SFAT es sencillo: la detección de los rayos gamma mediante un espectrómetro colimado. En la actualidad se utilizan corrientemente sistemas SFAT que fueron construidos para instalaciones específicas y probados con éxito sobre el terreno. Este trabajo ha sido financiado mediante contratos de investigación y programas de apoyo, especialmente de Alemania, Suecia y Finlandia.

**Sistema de espectroscopía gamma para altas tasas de recuento (HCRS).** La determinación del contenido isotópico del plutonio de las muestras que se someten a medición es una técnica de campo establecida que utiliza la espectrometría de rayos gamma de alta resolución. Hasta hace poco, la medición isotópica requería mucho más tiempo que el recuento de las coincidencias neutrónicas de todo el plutonio contenido en la muestra.

Por conducto del programa de apoyo, concertado con Italia, se creó un nuevo sistema autónomo para la determinación regular de la razón isotópica del plutonio en un plazo mucho más breve. La duración de las mediciones se ha reducido de tres a cinco veces en comparación con el tiempo que invertían los inspectores sobre el terreno. Entre los principales componentes del sistema figuran un procesador de impulsos de reciente creación acoplado a detectores de germanio de gran pureza cuidadosamente especificados. El diseño permite realizar mediciones sobre el terreno en condiciones industriales. Recientemente se autorizó el uso de este sistema en las inspecciones.

Dos precintos verificables conocidos como COBRA y ARC.



**Sistema de vigilancia óptica con cámaras múltiples (MOS).** Otro elemento clave de los sistemas internacionales de salvaguardias es la utilización de la vigilancia óptica, técnica que complementa las actividades de contabilidad del material nuclear y suministra información continua sobre la ubicación y la integridad del material nuclear. El Organismo ha desplegado sistemas de esta índole durante muchos años, primero con cámaras filmadoras y después con los sistemas de televisión en circuito cerrado (CCTV).

El más reciente y perfeccionado de estos sistemas, el MOS, utiliza 16 canales y fue creado en el marco de un programa de apoyo concertado con Alemania. Sus principales componentes incluyen las cámaras, el transmisor y los receptores (uno para cada canal), un dispositivo transistorizado de memoria para el almacenamiento intermedio de imágenes, un controlador de la red y el registrador en cinta de vídeo. Cada canal puede ser desincronizado y ajustado para diferentes intervalos de tiempo entre 0,5 y 99 minutos. También puede ser activado por fuentes externas como sensores de rayos infrarrojos o detectores de movimiento por vídeo. La transmisión simultánea de la señal de vídeo se realiza mediante un soporte lógico que controla cada canal. El sistema puede además registrar datos sobre los antecedentes del período de inspección, el número de tomas registradas y el número de interferencias que hayan ocurrido. Se ha aceptado el uso del MOS en las inspecciones ordinarias.

**Estación de examen genérico (GRS).** Con el aumento de la capacidad de los sistemas de televisión en circuito cerrado, el análisis eficiente de los datos obtenidos durante la vigilancia se convierte cada vez más en una carga para el inspector. La experiencia ha demostrado que aproximadamente el 5% o menos de los datos que se registran tienen importancia desde el punto de vista de las salvaguardias (es decir, que indican un posible movimiento del material nuclear).

Además de analizar la importancia de los datos de vigilancia desde el punto de vista de las salvaguardias, los inspectores deben cerciorarse que el sistema funcionó cuando se suponía que lo hiciera (es decir, que no se perdieron tomas) y que se detectaron debidamente todas las señales de interferencias. Hacer esto con cintas que contienen 30 000 tomas puede ser un trabajo considerable.

A fin de aliviar la carga de trabajo del inspector, se propuso el concepto de una estación de examen genérico destinada a procesar las cintas de vídeo que se usan para vigilancia y se graban en diferentes sistemas de televisión en circuito cerrado, incluido el MOS y algunos otros tipos. La GRS fue concebida como una entidad única para simplificar la capacitación del inspector, el mantenimiento y otros gastos de apoyo. Se han formulado dos propuestas que satisfacen los requisitos técnicos.

Desde el punto de vista funcional, la GRS reducirá el tiempo total de examen de los inspectores en un 75% o más. Sus principales características incluyen las alarmas contra interferencias y la identificación automática de las tomas importantes en relación con las salvaguardias, incluidas las tomas que se pierden. Se prevé que los primeros prototipos de

estas estaciones estarán terminados a mediados de 1992.

#### **Precintos verificables in situ (COBRA y ARC).**

Dos sistemas de precintado que pueden ser verificados in situ se encuentran en una etapa avanzada de desarrollo. El precinto COBRA se creó en el marco de un programa de apoyo de los Estados Unidos. Diseñado y ampliamente probado, ya puede usarse en las inspecciones con un verificador fotográfico. En virtud del programa de apoyo del Japón, se está elaborando un verificador automatizado que se necesita para el uso generalizado. La identificación del precinto se realiza comparando la estructura aleatoria de un cable de fibra óptica parcialmente cortado.

Creado en el contexto del programa de apoyo del Canadá, el precinto ARC es subacuático y se ha venido utilizando regularmente durante varios años. En el marco de un programa conjunto en el que participan el Canadá, la Euratom y los Estados Unidos, se está desarrollando un nuevo sistema de verificación ultrasónica. (Este sistema también permitirá verificar el precinto VAK-III fabricado por la Euratom, que es igualmente un precinto ultrasónico subacuático.)

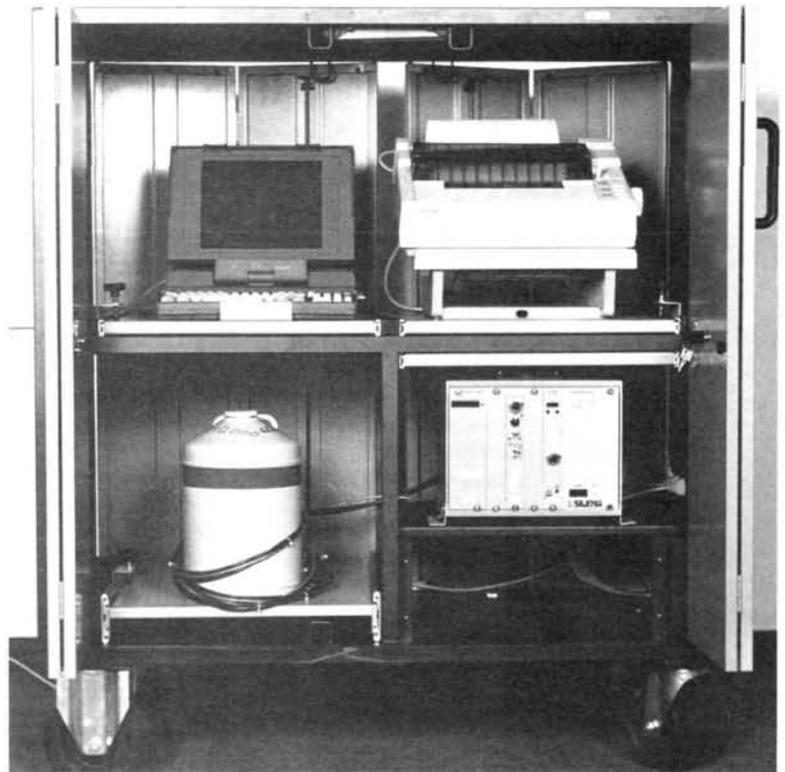
Con arreglo a este programa conjunto se está estableciendo asimismo una base de datos para procesar automáticamente la información sobre los precintos. Esta base sustituirá en el futuro al actual sistema, que todos los años procesa manualmente los datos de 20 000 precintos aproximadamente.

Ante las continuas limitaciones financieras, los factores técnicos y económicos se convierten en incentivos más fuertes para considerar el equipo de salvaguardia del Organismo desde una perspectiva diferente, que tenga en cuenta el desarrollo de los instrumentos, su aplicación, su financiamiento y la correspondiente capacitación. Se han emprendido actividades destinadas a consolidar todas esas esferas. En una reunión celebrada en noviembre de 1991 en la que se esbozó una propuesta de programa, el OIEA recibió un valioso asesoramiento de los Estados Miembros que participan en los programas de apoyo a las salvaguardias.

La ejecución de un programa de esa índole será gradual y no precipitada. Se comenzará por estudiar el uso de normas adecuadas para facilitar la comunicación, la autenticación de los datos, la elaboración del soporte lógico y físico, el mantenimiento y la capacitación. Un objetivo a largo plazo será la integración de componentes normalizados para atender las solicitudes concretas de una instalación determinada.

En los próximos años este enfoque integrado deberá contribuir a que el sistema de salvaguardias del OIEA supere el nivel de eficiencia alcanzado hasta ahora y consolide su eficacia.

**Sistema de espectroscopia gamma para altas tasas de recuento.**



#### **Derroteros futuros**

Los adelantos tecnológicos continúan siendo, por diversas razones, un factor importante en el desarrollo del sistema de salvaguardias del OIEA. En la actualidad existen equipo y procedimientos que satisfacen la mayoría de las necesidades de los inspectores del Organismo. Para dar respuesta a requisitos muy específicos, normalmente se emplea equipo fabricado a la orden. No obstante, los limitados recursos del OIEA se aprovechan al máximo para proporcionar la infraestructura de apoyo que requiere la amplia diversidad de instrumentos.

En los últimos años, los adelantos tecnológicos han abierto nuevas posibilidades para el desarrollo y la gestión de equipo, especialmente en la esfera de la normalización. Prácticamente, todos los sistemas de instrumentación de salvaguardias utilizan tecnologías modernas, como computadoras y microprocesadoras. En esencia todos son similares aunque un determinado tipo de sensor o la función concreta de un instrumento puede variar considerablemente. El sistema típico consta de un sensor, un procesador de datos, una unidad de almacenamiento de datos y una unidad de análisis. El sensor puede ser una cámara de televisión, un detector de radiaciones o algún otro dispositivo de medición acoplado a las unidades de control, almacenamiento y análisis. Por ejemplo, la normalización de los componentes y las técnicas permite optimizar más fácilmente las actividades que se realizan con el equipo y reducir las necesidades de recursos.