

# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Junio de 2016 • [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)



## SALVAGUARDIAS DEL OIEA

para evitar la proliferación  
de las armas nucleares



#### EL BOLETÍN DEL OIEA

es elaborado por la  
Oficina de Información al  
Público y Comunicación (OPIC)

Organismo Internacional de Energía Atómica  
PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: (43-1) 2600-21270  
Fax: (43-1) 2600-29610  
iaeabulletin@iaea.org

Editor: Miklos Gaspar

Directora editorial: Aabha Dixit

Editoras colaboradoras: Nicole Jawerth,  
Laura Gil Martínez

Diseño y producción: Ritu Kenn

El BOLETÍN DEL OIEA está disponible en  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

Podrá reproducirse libremente parte del material del OIEA contenido en el Boletín del OIEA siempre que se reconozca su fuente. Si en la atribución de un artículo se indica que el autor no es funcionario del OIEA, para volver a publicar el material deberá solicitarse permiso al autor o a la organización de origen, salvo cuando se trate de una reseña.

Las opiniones expresadas en cualquiera de los artículos firmados que figuran en el Boletín del OIEA no representan necesariamente las del Organismo Internacional de Energía Atómica y el OIEA declina toda responsabilidad por ellas.

Portada: OIEA



La misión del Organismo Internacional de Energía Atómica es evitar la propagación de las armas nucleares y ayudar a todos los países, especialmente en el mundo en desarrollo, a sacar provecho de los usos pacíficos y tecnológica y físicamente seguros de la ciencia y la tecnología nucleares.

El OIEA, establecido en 1957 como organización independiente de las Naciones Unidas, es la única organización del sistema de las Naciones Unidas que cuenta con conocimientos especializados en materia de tecnologías nucleares. Tiene laboratorios especializados de características singulares, que ayudan a transferir conocimientos y competencias técnicas a sus Estados Miembros en esferas tales como la salud humana, la alimentación, los recursos hídricos, la industria y el medio ambiente.

El OIEA es también la plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear. Ha creado la Colección de Seguridad Física Nuclear, integrada por publicaciones en las que se dan orientaciones sobre seguridad física nuclear aprobadas por consenso internacional. La labor del OIEA se centra igualmente en ayudar a reducir al mínimo el riesgo de que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas y delincuentes o de que las instalaciones nucleares sean objeto de actos dolosos.

Las normas de seguridad del OIEA proporcionan un sistema de principios fundamentales de seguridad y reflejan un consenso internacional sobre lo que representa un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Estas normas se han elaborado para todos los tipos de instalaciones y actividades nucleares destinadas a fines pacíficos, así como para medidas protectoras a fin de reducir los riesgos radiológicos existentes.

Mediante su sistema de inspecciones, el OIEA también verifica que, conforme a los compromisos que han contraído en virtud del Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares y de otros acuerdos de no proliferación, los Estados Miembros utilicen los materiales e instalaciones nucleares para fines pacíficos exclusivamente.

Su labor es multifacética y se lleva a cabo con la participación de una gran variedad de asociados en los planos nacional, regional e internacional. Los programas y presupuestos del OIEA se establecen mediante decisiones de sus órganos rectores: la Junta de Gobernadores, compuesta por 35 miembros, y la Conferencia General, que reúne a todos los Estados Miembros.

El OIEA tiene su sede en el Centro Internacional de Viena. También cuenta con oficinas sobre el terreno y de enlace en Ginebra, Nueva York, Tokio y Toronto. Además, tiene laboratorios científicos en Mónaco, Seibersdorf y Viena. Por otra parte, presta apoyo y proporciona recursos financieros al Centro Internacional de Física Teórica "Abdus Salam", en Trieste (Italia).

# Las salvaguardias del OIEA: una contribución fundamental a la paz y a la seguridad internacionales

Yukiya Amano

Evitar la proliferación de las armas nucleares es una tarea compleja. Setenta años después de que la capacidad destructiva de las armas nucleares quedara demostrada en Hiroshima y Nagasaki, contamos hoy con varios mecanismos internacionales políticos y jurídicos para impedir la proliferación de este tipo de armas. Entre ellos, las salvaguardias del OIEA son de importancia fundamental.

A menudo se califica al OIEA de “guardián nuclear” del planeta. Poseemos la competencia técnica, la independencia y la objetividad necesarias para ofrecer unas garantías creíbles de que los Estados cumplen sus obligaciones internacionales de utilizar el material nuclear únicamente con fines pacíficos. Mediante la detección temprana de cualquier desviación de materiales nucleares o del uso indebido de la tecnología nuclear, el OIEA puede alertar al mundo de posibles casos de proliferación, lo cual contribuye de manera decisiva a la paz y a la seguridad internacionales.

Las salvaguardias del OIEA son de índole técnica, tienen una base científica y aprovechan las tecnologías modernas, tal y como se muestra en los artículos de las páginas 18 y 22. La aplicación de las salvaguardias se basa en acuerdos jurídicos, tanto tratados internacionales como acuerdos bilaterales entre el OIEA y los Estados (véase el artículo de la página 4). Por ello, para el OIEA, la aplicación de sus salvaguardias es una obligación jurídica y extraemos nuestras conclusiones de salvaguardias de manera independiente.

## La necesidad de mantenerse al día

El mundo en el que aplicamos hoy las salvaguardias dista mucho de cómo era en 1957, cuando se fundó el OIEA. A fin de responder a unos desafíos cambiantes, debemos mantenernos ágiles y conservar nuestra capacidad de adaptación. También tenemos que aprovechar la tecnología moderna, por ejemplo utilizando la monitorización a distancia o las imágenes satelitales. Hemos modernizado totalmente nuestros laboratorios de salvaguardias, lo que nos ha permitido mejorar de forma sustancial nuestras capacidades analíticas. Nuestros inspectores de salvaguardias recorren el mundo sin descanso realizando actividades de verificación sobre el terreno.

Este número del *Boletín del OIEA* nos muestra lo que sucede entre bastidores. Podrán seguir a un inspector de salvaguardias durante un día en una central nuclear y ver en qué consiste el muestreo ambiental. También verán ejemplos de los muchos tipos de equipo de salvaguardias que tenemos y les explicamos de qué manera la toma periódica de pequeñas muestras de material nuclear nos permite comprobar que nada ha desaparecido.

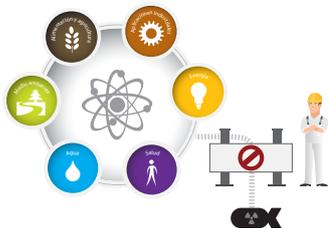
Espero que esta publicación contribuya a que tanto nuestras partes interesadas como el público en general conozcan mejor las actividades de salvaguardias del OIEA.



(Fotografías: D. Calma/OIEA)



**1 Las salvaguardias del OIEA:  
una contribución fundamental a la paz  
y a la seguridad internacionales**



**4 Salvaguardias del OIEA para  
la no proliferación nuclear**



**8 Un día en la vida de un inspector  
de salvaguardias**



**12 ¿Qué lleva un inspector en su maleta?**



**16 Vigilancia ininterrumpida de los  
materiales sometidos a salvaguardias**



**20 Verificación nuclear: demostración  
de los datos mediante pruebas científicas**



**22 Examen de frotis: recogida y análisis  
de muestras ambientales**



## 24 Hasta el último detalle: uso de imágenes por satélite para mejorar la capacidad del OIEA en materia de salvaguardias



## 25 Optimización de las salvaguardias del OIEA

— Tero Varjoranta, Director General Adjunto  
Jefe del Departamento de Salvaguardias



## 26 El Irán y el OIEA: verificación y vigilancia en virtud del PAIC

### Noticias del OIEA



## 28 La contribución del OIEA a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

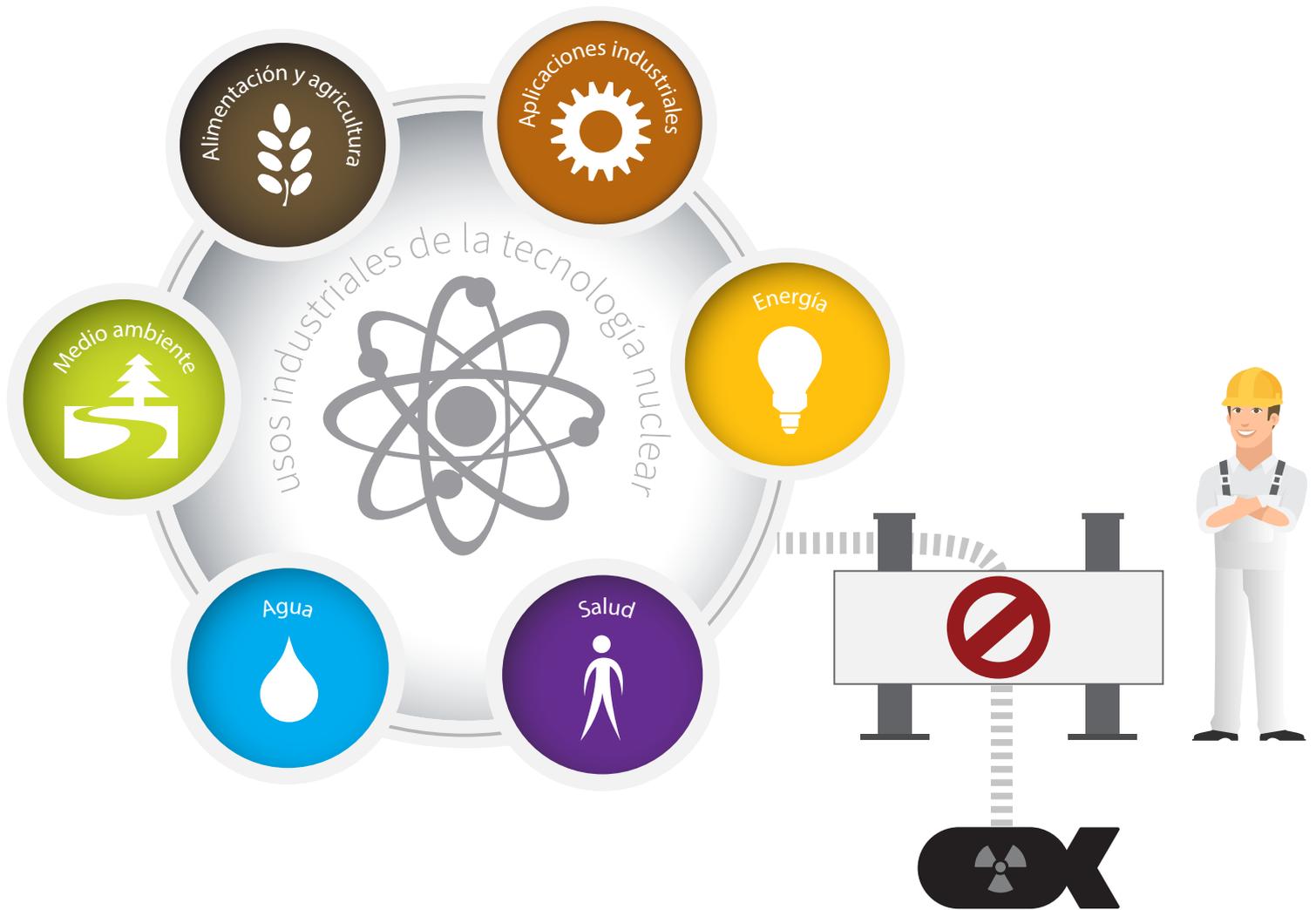


## 31 Las técnicas de origen nuclear mejoran la productividad del ganado y la calidad de la leche en el Camerún



## 32 Nueva aplicación móvil del OIEA sobre estadificación del cáncer para un tratamiento óptimo de la enfermedad

# Salvaguardias del OIEA para



**A través de las salvaguardias, el OIEA ofrece garantías creíbles de que los Estados cumplen sus obligaciones internacionales de utilizar los materiales y las tecnologías nucleares únicamente con fines pacíficos.**

(Infografía: R.Kenn/OIEA)

# La no proliferación nuclear

El objetivo de las salvaguardias del OIEA es impedir la proliferación de armas nucleares detectando de forma temprana la desviación de materiales nucleares o el uso indebido de la tecnología nuclear y ofreciendo a la comunidad internacional garantías creíbles de que los Estados cumplen sus obligaciones de salvaguardias de utilizar los materiales nucleares y las partidas nucleares de otro tipo sometidas a salvaguardias únicamente con fines pacíficos.

El número de instalaciones nucleares y el uso de materiales nucleares no dejan de aumentar. Con la construcción de nuevos reactores nucleares de potencia y la utilización en constante aumento de la ciencia y la tecnología nucleares, la cifra de materiales e instalaciones sometidos a las salvaguardias del OIEA es cada vez mayor. En 2015 el OIEA aplicó salvaguardias a 1286 instalaciones nucleares y lugares situados fuera de las instalaciones, como universidades y zonas industriales, y sus inspectores llevaron a cabo 2118 inspecciones sobre el terreno.

En el presente artículo se ofrece un resumen del marco jurídico de las salvaguardias del OIEA, su aplicación y las conclusiones de salvaguardias que el OIEA extrae.

## El entramado de los acuerdos de salvaguardias

El Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP) obliga a los Estados no poseedores de armas nucleares que son parte en él a celebrar con el OIEA acuerdos jurídicamente vinculantes, llamados acuerdos de salvaguardias amplias (ASA). De igual modo que el TNP, los tratados regionales sobre las zonas libres de armas nucleares obligan también a los Estados que son parte en ellos a concertar un ASA con el OIEA. En virtud de estos acuerdos, el Estado se compromete a aceptar la aplicación de las salvaguardias del OIEA a todo material nuclear utilizado en todas las actividades con fines pacíficos realizadas en el Estado, y el OIEA aplica las salvaguardias para verificar que el material nuclear no se desvía hacia la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

En virtud del TNP existen también cinco Estados poseedores de armas nucleares, a saber, China, Estados Unidos de América, Francia, el Reino Unido y Rusia, cada uno de los cuales ha concertado con el OIEA “acuerdos de ofrecimiento voluntario”. Con arreglo a tales acuerdos, el OIEA aplica las salvaguardias al material nuclear presente en las instalaciones

## Las salvaguardias en cifras (2015)



“propuestas” por los Estados poseedores de armas nucleares para ser sometidas a salvaguardias y que han sido seleccionadas por el OIEA para tal fin.

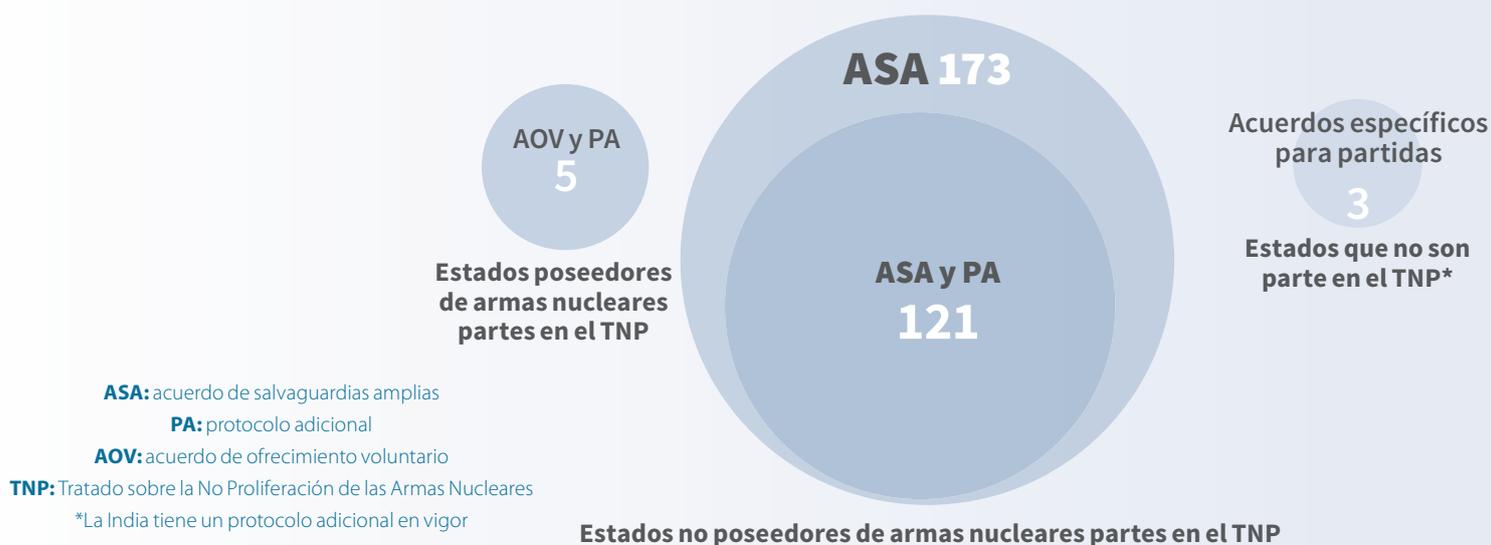
Un tercer tipo de acuerdo es el “acuerdo de salvaguardias específico para partidas”, en virtud del cual el OIEA aplica salvaguardias a los materiales nucleares, las instalaciones y las partidas de otro tipo que se especifican en el acuerdo. El OIEA aplica actualmente este tipo de acuerdos en tres Estados que no son parte en el TNP: India, Israel y Pakistán.

La gran mayoría de Estados en que se aplican las salvaguardias del OIEA son Estados no poseedores de armas nucleares que son parte en el TNP. En ellos, las salvaguardias se aplican en virtud de sus ASA. En 2015, el número de Estados no poseedores de armas nucleares que tenían un ASA en vigor concertado con el OIEA ascendía a 174, mientras que 12 Estados parte en el TNP no habían puesto aún en vigor los ASA, requisito estipulado en el Tratado (véase la ilustración de la página 6).

Entre los primeros, 121 tienen también en vigor protocolos adicionales a sus ASA. Los protocolos adicionales dan al OIEA mayor acceso a informaciones y lugares en el Estado, lo que aumenta su capacidad de verificar que todos los materiales nucleares allí presentes se utilizan con fines pacíficos. Pueden

# Acuerdos de salvaguardias aplicados

(por Estado, a diciembre de 2015)



concertarse protocolos adicionales en relación con todos los tipos de acuerdos de salvaguardias.

## Aplicación de las salvaguardias

La aplicación de las salvaguardias se basa en los acuerdos de salvaguardias concertados y es un proceso continuo que comprende cuatro etapas:

1. Recopilación y evaluación de información de importancia para las salvaguardias sobre un Estado para verificar que esta es coherente con lo declarado por el Estado sobre su programa nuclear.
2. Elaboración de un enfoque de salvaguardias a nivel de los Estados en el que se establezcan objetivos clave para determinar posibles vías de adquisición de material nuclear que pueda utilizarse en la fabricación de armas nucleares o dispositivos nucleares explosivos y selección de las medidas de salvaguardias que corresponda para lograr dichos objetivos.
3. Planificación, ejecución y evaluación de las actividades de salvaguardias sobre el terreno y en la Sede del OIEA mediante un plan anual de aplicación.
4. Extracción de conclusiones de salvaguardias para los Estados en que el OIEA ha aplicado salvaguardias.

Si bien las salvaguardias del OIEA están sometidas a exigencias cada vez mayores y más complejas, el presupuesto del Organismo para aplicarlas apenas ha cambiado. Así pues, es fundamental que su aplicación sea rentable, productiva y eficiente, sin que se vean afectadas la credibilidad ni la calidad de las conclusiones de salvaguardias. El OIEA intenta

mantener y fortalecer la eficacia de las salvaguardias, entre otras formas, valiéndose de tecnologías modernas, trabajando de forma inteligente y eficiente en la Sede y sobre el terreno, y aumentando el apoyo y la cooperación de los Estados en lo que respecta a la aplicación de las salvaguardias.

## Conclusiones de salvaguardias

El OIEA extrae anualmente conclusiones de salvaguardias para cada Estado donde estas se aplican. Esas conclusiones se basan en sus verificaciones y hallazgos independientes y se presentan todos los años a la Junta de Gobernadores del OIEA en el *Informe sobre la Aplicación de las Salvaguardias*.

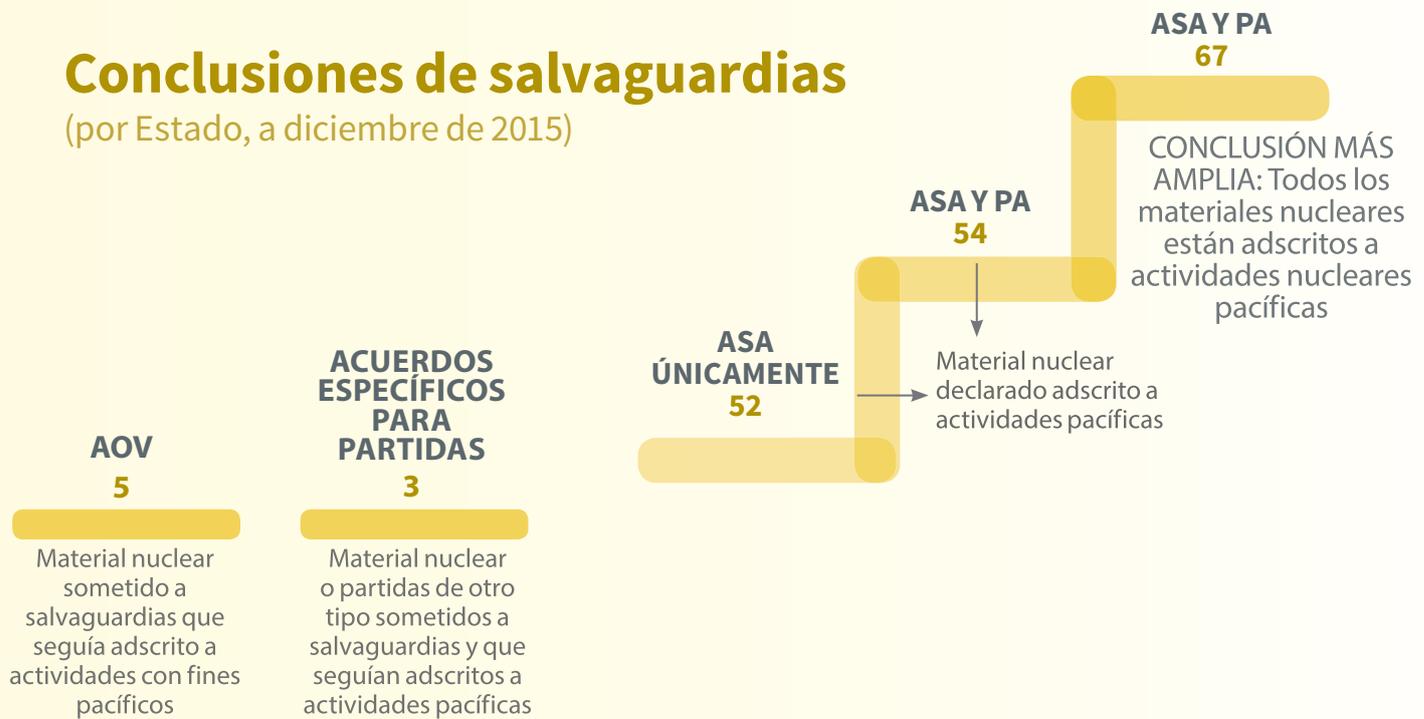
Las conclusiones a las que puede llegar el OIEA con respecto a un Estado varían según el tipo de acuerdo de salvaguardias concertado, en el que se especifica el compromiso contraído por el Estado y los derechos y obligaciones del OIEA, comprendido el grado de acceso al material nuclear y a la información (véase la ilustración de la página 7).

### *Estados con ASA y protocolos adicionales en vigor*

En 2015, en el caso de 67 de los 121 Estados con ASA y protocolos adicionales en vigor, y de Taiwán (China), el OIEA no encontró indicios de desviación de materiales nucleares declarados de las actividades nucleares con fines pacíficos ni indicios de materiales o actividades nucleares no declarados en todo el Estado, y llegó a la conclusión de que todo el material nuclear en esos Estados seguía adscrito a actividades pacíficas. Esto es lo que se conoce como extraer la “conclusión más amplia”. Normalmente el OIEA puede extraer la conclusión más amplia con respecto a un Estado después de realizar durante varios años actividades de verificación en virtud del ASA y el protocolo adicional.

# Conclusiones de salvaguardias

(por Estado, a diciembre de 2015)



En los Estados respecto de los cuales ha extraído la conclusión más amplia, el OIEA aplica “salvaguardias integradas”, que permiten la optimización de las actividades de verificación y, en la medida de lo posible, la disminución de las actividades de inspección sobre el terreno. Esa relación de cooperación y confianza mutua puede ayudar a reducir los costos de inspección, y traducirse también en menos interferencias en la explotación de las instalaciones nucleares. De los 67 Estados respecto de los cuales se extrajo en 2015 la conclusión más amplia, se estaban aplicando salvaguardias integradas en 54 y en Taiwán (China).

En el caso de los 54 Estados con un ASA y un protocolo adicional en vigor respecto de los cuales aún no se ha extraído la conclusión más amplia, el OIEA no encontró indicios de desviación de materiales nucleares declarados de las actividades nucleares con fines pacíficos. Las evaluaciones sobre la ausencia de materiales nucleares y actividades nucleares no declarados siguieron en curso. Con respecto a estos Estados, el OIEA concluyó que los materiales nucleares declarados seguían adscritos a actividades con fines pacíficos.

## **Estados con un ASA pero sin protocolo adicional**

Al fin de 2015 el número de Estados con un ASA pero sin protocolo adicional en vigor ascendía a 52. En el caso de esos Estados, el OIEA no encontró indicios de que se hubieran desviado materiales nucleares declarados de las actividades nucleares con fines pacíficos. Ello se debe a que el OIEA solo dispone de instrumentos suficientes para un mayor acceso a la información y los lugares a fin de ofrecer garantías creíbles de que todo el material nuclear sigue adscrito a actividades pacíficas en el caso de los Estados con un ASA y un protocolo adicional en vigor.

## **Estados parte en el TNP sin ASA**

En 2015 el OIEA no aplicó salvaguardias ni pudo extraer conclusión alguna de salvaguardias con respecto a los 12 Estados parte en el TNP que aún no tienen un ASA en vigor.

## **Estados poseedores de armas nucleares y Estados con acuerdos de salvaguardias específicos para partidas**

En el caso de los cinco Estados poseedores de armas nucleares, el OIEA concluyó en 2015 que el material nuclear sometido a salvaguardias en las instalaciones seleccionadas seguía utilizándose con fines pacíficos o que las salvaguardias habían dejado de aplicarse conforme a lo estipulado en los acuerdos.

En cuanto a los tres Estados con acuerdos de salvaguardias específicos para partidas, el OIEA no encontró indicios de desviación de materiales nucleares ni de uso indebido de las instalaciones u otras partidas a las que se habían aplicado salvaguardias y, teniendo eso presente, concluyó que dichas partidas seguían adscritas a actividades con fines pacíficos.

*Nota: La terminología empleada y la forma en que se presenta el material que figura en este documento, cifras incluidas, no entrañan juicio alguno por parte del OIEA o sus Estados Miembros acerca de la situación jurídica de un país o territorio, o de sus autoridades, ni de la delimitación de sus fronteras. La cifra de Estados parte en el TNP que se menciona se basa en el número de instrumentos de ratificación, adhesión o sucesión depositados.*

# Un día en la vida de un inspector de salvaguardias

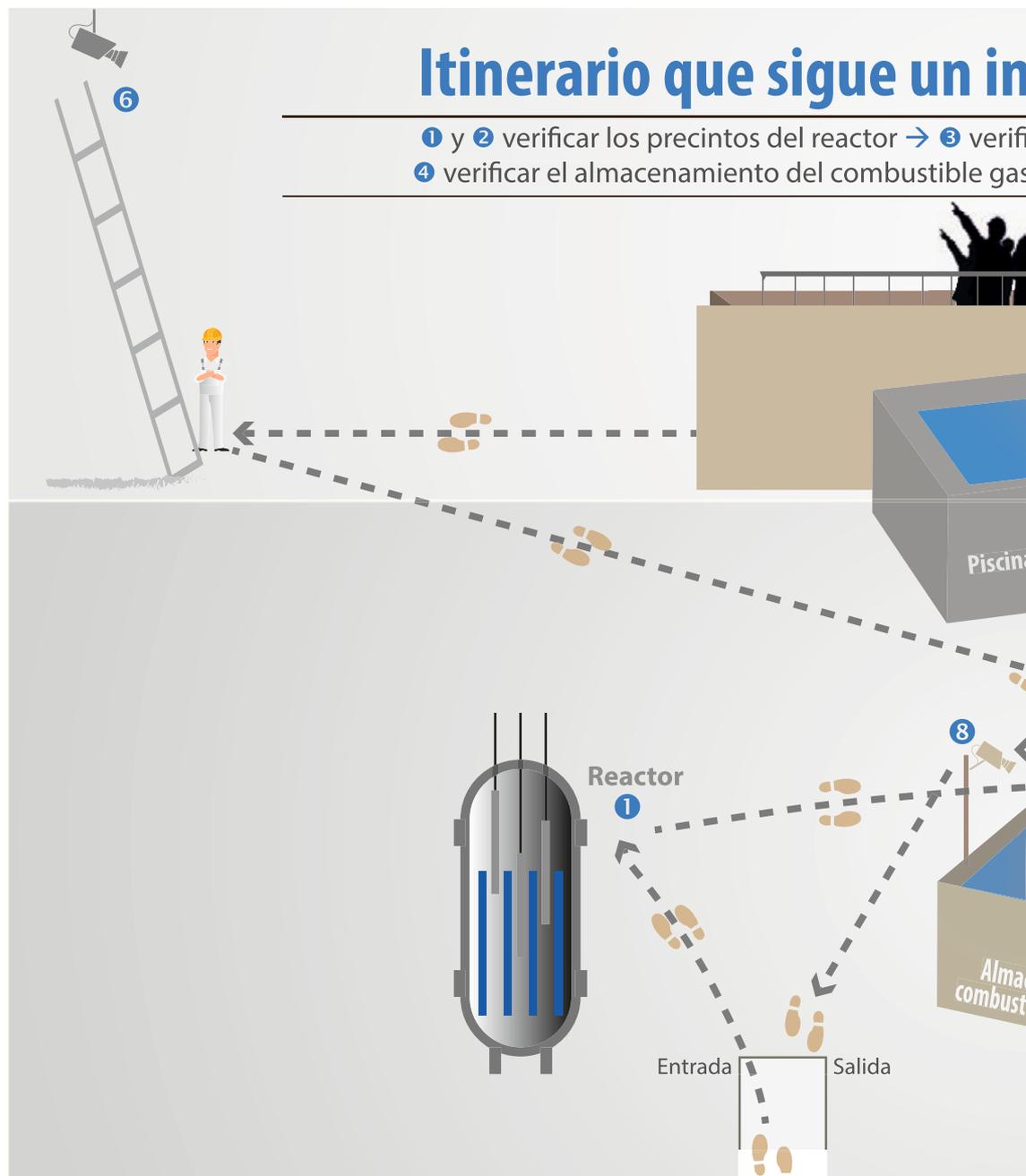
Sasha Henriques

Recorrer varios kilómetros por los sinuosos y estrechos pasadizos de una instalación nuclear, vestido con ropa de protección y cargado con un equipo pesado, con frecuencia acompañado por el personal del explotador de la instalación: bienvenido a la vida de un inspector de salvaguardias del OIEA.

Los inspectores de salvaguardias, que son una parte esencial del régimen internacional de no proliferación nuclear, llevan a cabo actividades de verificación para que el OIEA pueda ofrecer garantías a los Estados de todo el mundo de que otros países no desvían hacia fines militares material nuclear

destinado a fines pacíficos, ni hacen un uso indebido de la tecnología nuclear. Una actividad importante es la inspección de las existencias declaradas de material nuclear: el OIEA es la única organización en el mundo con mandato para verificar el uso del material y la tecnología nucleares a nivel mundial.

En 2015, 709 instalaciones y 577 lugares situados fuera de las instalaciones de 181 Estados estaban sometidos a las salvaguardias del OIEA, por lo que estaban sujetos a verificación por los inspectores del OIEA. Los inspectores realizaron 2118 inspecciones y pasaron un total de 13 248 días civiles sobre el terreno.



En promedio, los inspectores de salvaguardias están de viaje unos 100 días al año, pero los lugares donde van no son precisamente los más deseados destinos turísticos. Las centrales, las minas de uranio, las plantas de fabricación de combustible nuclear, las instalaciones de enriquecimiento, los reactores de investigación y las instalaciones de tratamiento de desechos suelen estar situadas en zonas remotas a las que a veces es difícil acceder. En algunos lugares los inspectores deben tener presentes consideraciones de seguridad física.

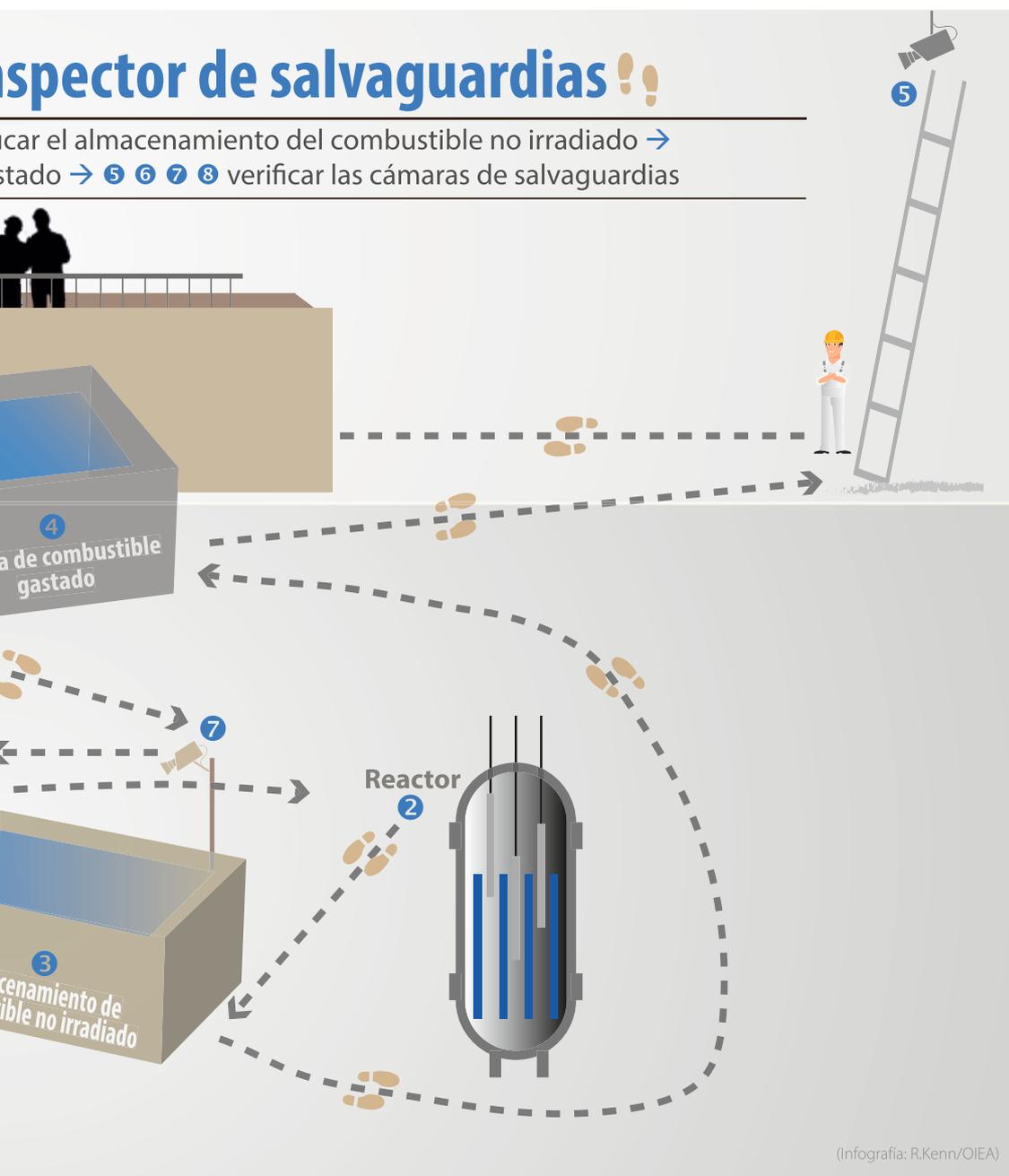
### Arriba y abajo

Durante la inspección de una central nuclear normal, un inspector recorre aproximadamente unos 5 kilómetros seguidos andando o subiendo y bajando escaleras, vestido con botas protectoras con punteras de acero, casco protector y mono de trabajo. “Es un trabajo muy físico”, dice Abdellah

Chahid, que es inspector desde hace 16 años. “Realmente hay que estar en forma y tener resistencia.”

Además de las exigencias físicas del trabajo, hay momentos en los que el tiempo no acompaña. Chahid recuerda una vez que tuvo que proteger un dispositivo de medición de rayos gamma con su chaqueta durante una inspección en Kazajstán en un invierno especialmente riguroso en el que la temperatura llegó a 30 grados centígrados bajo cero. Si el dispositivo hubiera estado a la intemperie, la pantalla de cristal líquido se hubiera resquebrajado y el equipo entero hubiera quedado inservible.

La inspección de una central nuclear puede durar desde cuatro horas, si todo va bien, hasta diez horas, si surge algún problema. La inspección de otros tipos de instalaciones, como las de fabricación de combustible, puede precisar casi una semana entera.





**Inspectores de salvaguardias desempeñando su labor.**

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

**Posturas poco seguras**

Dentro de la sala del reactor de una central, una de las actividades clave que los inspectores de salvaguardias deben llevar a cabo es la verificación del contenido de la piscina de combustible gastado. Los inspectores utilizan dispositivos mejorados de observación de la radiación de Cherenkov (ICVD) para determinar la presencia de conjuntos combustibles nucleares gastados almacenados dentro de la piscina y asegurarse de que el explotador de la central tiene realmente la cantidad de combustible notificada. Dependiendo

del tamaño y la antigüedad del reactor, el número total de conjuntos combustibles gastados puede ascender a varios miles. Los inspectores verifican estos conjuntos buscando la radiación de Cherenkov colimada, el característico brillo azul, que emana de un conjunto combustible gastado (véase el artículo de la página 18). Ello se realiza asomándose a la piscina de combustible gastado de 16 metros de profundidad con un ICVD en la mano. Algunas centrales nucleares exigen que los inspectores se sujeten con un arnés de seguridad a una barandilla para inspeccionar la piscina de combustible gastado.

# Camina un kilómetro con los “chancos”

## El programa de una inspección ordinaria de una central

Vuelo hacia el país la noche anterior; llegada aproximada a las

**19.00 horas**



**6.00 horas**

día siguiente — salida del hotel. Conducir durante 3 horas para llegar a la central, que a menudo está en un lugar remoto y poco poblado.

**9.00 horas**

llegada a la central.

Esperar a las personas designadas por la central para acompañarle.

**entre 30 minutos y 1 hora**

para la contabilidad de los materiales nucleares: el inspector examina la cantidad de combustible que la instalación ha comprado, almacenado y utilizado, así como la capacidad a la que está funcionando la instalación a fin de comprobar si toda esa información concuerda.

**15 minutos**

para reunirse con el representante de la autoridad nacional encargada de las salvaguardias y el explotador de la central para hablar sobre la inspección y acordar un “plan de actividades” en el que se detallen los planes del explotador para el futuro de la instalación.

El trabajo requiere una buena preparación física, paciencia y adaptabilidad.

### Convertirse en inspector

De las cerca de 250 solicitudes recibidas cada año, únicamente se contratan entre 15 y 25 inspectores. Los nuevos inspectores reciben capacitación y se someten a un período de prueba de cinco o seis meses antes de ser enviados a las instalaciones. Normalmente, sus primeras misiones son supervisadas por un inspector con más experiencia, tras lo cual, finalmente, los nuevos inspectores están finalmente preparados para trabajar solos. Además, todos los nuevos inspectores tienen un mentor durante el primer año. El OIEA emplea aproximadamente a 385 inspectores designados de unos 80 países.

Dado que para realizar el trabajo se precisan conocimientos especializados, la mayoría de los inspectores contratados son físicos, químicos e ingenieros (preferentemente con experiencia en física nuclear o un ámbito conexo). “Los inspectores de salvaguardias deben tener capacidad de adaptación y buen criterio. Tienen que aprender rápido y prestar atención a los detalles,” dice Hilario Munyaradzi, que trabajó como inspector sobre el terreno durante ocho años y medio, y en los últimos cinco años se ha dedicado a formar nuevos inspectores. También deben ser discretos, ya que gran parte del trabajo que realizan y las muestras que transportan son de carácter estrictamente confidencial.

Existen diferentes tipos de actividades de verificación: inspecciones programadas/ordinarias, inspecciones no anunciadas, acceso complementario, verificación de la información sobre el diseño (para comprobar que no se han hecho modificaciones en la instalación y que se está utilizando según lo declarado) y verificación del inventario físico (para verificar la presencia del inventario declarado de material nuclear, como el combustible, en la instalación).

La verificación del inventario físico en una instalación de grandes dimensiones puede ser tan compleja y requerir tanto tiempo que podrían necesitarse hasta 10 inspectores que pueden llegar a tardar entre 7 y 14 días en finalizar la inspección. Durante la verificación de la información sobre el diseño, el inspector compara la información sobre el diseño de la instalación presentada por el Estado al OIEA con las observaciones hechas sobre el terreno, a fin de confirmar que la información facilitada es correcta y exhaustiva, y que la instalación no se ha utilizado de forma indebida.

En la mayor parte de las casi 1300 instalaciones y lugares situados fuera de las instalaciones sometidos a las salvaguardias del OIEA en todo el mundo, las verificaciones de la información sobre el diseño y del inventario físico se realizan una vez al año. Los inspectores también podrían tener que estar presentes cuando se lleven a cabo actividades importantes como la recarga del reactor en las centrales nucleares y tener que trabajar con una gran variedad de equipos complejos (véase el artículo de la página 18).

## los” de un inspector de salvaguardias nuclear normal se asemeja a lo siguiente:



### 1 hora

para someterse a un examen radiológico de cuerpo entero, recibir un dosímetro para registrar la dosis de radiación recibida mientras permanezca en las instalaciones, y vestirse con ropa especial y de protección antes de entrar en la sala del reactor.

### 2 a 4 horas

en la sala del reactor para llevar a cabo las actividades de verificación.

### 1 hora

para almorzar

Examinar en consulta con la autoridad nacional encargada de las salvaguardias y el explotador de la central las medidas de seguimiento.

### 2 a 4 horas

Regresar a la sala del reactor

o ir a otras zonas de la central para realizar otras actividades de verificación

o proseguir con la auditoría de los registros de contabilidad de los materiales nucleares.

### 16.00 horas

el inspector abandona la central y vuelve a conducir durante 3 horas de regreso al hotel.

### 19.00 horas

llegada al hotel.



# ¿Qué lleva un inspector en su maleta?

## Un vistazo al equipo de salvaguardias

Vincent Fournier

Las inspecciones sobre el terreno son el elemento central de las actividades de verificación nuclear del OIEA y equipar a los inspectores con los instrumentos adecuados es fundamental para que las salvaguardias nucleares sean eficaces. Los inspectores del OIEA utilizan más de 100 tipos de equipo diferentes para verificar la forma y la composición isotópica del material nuclear y su cantidad.

Por lo general, los inspectores eligen entre tres y cinco equipos portátiles para cada inspección. “No hay dos inspecciones iguales”, dice Alain Lebrun, Jefe de la Sección de Análisis no Destructivos del OIEA, encargada de proporcionar instrumentos de monitorización a los inspectores. “La elección del equipo corre a cargo de los inspectores, que deciden en función de cada caso”.

Los técnicos preparan, calibran y empaquetan los dispositivos, que, bien transportan los inspectores, bien se envían con antelación a su destino, si son demasiado voluminosos. El equipo portátil más utilizado son los instrumentos de análisis no destructivo, que detectan la presencia de material nuclear (uranio, plutonio y torio) y sus características específicas. Los instrumentos especializados analizan las características físicas

de los materiales nucleares (temperatura, peso, volumen, grosor y emisión/absorción de luz).

“El equipo tiene que ser tecnológicamente avanzado, versátil, resistente y fácil de usar”, señala Lebrun. Los expertos en equipos evalúan y optimizan continuamente los instrumentos, a fin de mantenerse a la par de las innovaciones tecnológicas y simplificar las interfaces de usuario.

En ocasiones, se pueden utilizar equipos disponibles en el mercado sin apenas necesidad de modificarlos; otras veces, sin embargo, es el propio OIEA el que los desarrolla o encarga su desarrollo. “Algunos de estos instrumentos cuestan más que un coche deportivo”, dice Lebrun.

### Detectores de radiación

Uno de los aparatos que se utiliza con más frecuencia es el **HM-5**, un instrumento comercial que llevan los inspectores, adaptado para realizar actividades de salvaguardias con fines de verificación que permite detectar la presencia de material radiactivo. El dispositivo emite un “pitido” si la radiación supera un nivel determinado, e identifica el nucleido que la emite. También puede medir el nivel de enriquecimiento del



uranio. Por su versatilidad, el HM-5 se utiliza prácticamente en todas las inspecciones del OIEA.

### Importancia del enriquecimiento

Para mantener una reacción nuclear en cadena, se necesita uranio enriquecido en uranio 235. Ahora bien, el material y la tecnología nucleares de las plantas de enriquecimiento también pueden utilizarse para producir uranio apto para la fabricación de armas. En las instalaciones en las que se procesa o se almacena uranio, los inspectores pesan el uranio y miden su nivel de enriquecimiento, a fin de calcular la cantidad total de material fisible.

Para pesar un cilindro y cuantificar cuánto material contiene, por ejemplo de uranio, los inspectores utilizan una gran **celda de carga**, una especie de balanza suspendida que funciona en dos rangos de carga: hasta 5000 kilogramos y hasta 20 000 kilogramos.

Con el fin de realizar mediciones y verificar los niveles de enriquecimiento, los inspectores suelen emplear detectores de alta tecnología de espectrometría gamma, una técnica que permite monitorizar y evaluar la radiación gamma liberada por una fuente. Por ejemplo, el **sistema de germanio refrigerado eléctricamente (ECGS)** es un detector portátil compacto, de alta resolución que funciona con un cristal de germanio activo, que, cuando se refrigera a 140 °C bajo cero, puede detectar la radiación gamma emitida por el uranio. Este aparato puede utilizarse fuera de los laboratorios ya que puede refrigerarse mediante baterías, a diferencia de los detectores de germanio convencionales, que emplean nitrógeno líquido, que es difícil de manejar y no siempre está disponible.

Como se ve en la imagen, el material analizado en ocasiones se encuentra en un cilindro de grandes dimensiones. Para garantizar que el ECGS, o cualquier otro instrumento, evalúe y analice los datos con precisión, los inspectores utilizan un **medidor de espesor por ultrasonidos**, a fin de ajustar la sensibilidad del detector a la radiación gamma en función del grosor de las paredes del cilindro.

### Bajo el agua

Los inspectores emplean distintos tipos de sistemas de detección para medir los atributos del combustible gastado, los filtros y los desechos en las instalaciones nucleares.





Por ejemplo, el **dispositivo de análisis de atributos del combustible irradiado** consta de un pequeño detector de rayos gamma sensible (del tamaño de una gema pequeña), insertado en un tubo protector que se sumerge en la piscina de combustible gastado para medir los elementos ahí almacenados. El detector está conectado por medio de cables a un analizador situado junto a la piscina de combustible.

Este dispositivo mide la intensidad de la radiación gamma a distintos niveles de energía. Cada isótopo de cada átomo tiene una emisión de rayos gamma característica, de modo que la espectrometría gamma permite verificar el contenido de los elementos en la piscina de combustible gastado. A partir de la información de la espectrometría, el inspector podrá saber si se ha retirado o se ha sustituido combustible gastado de la piscina.

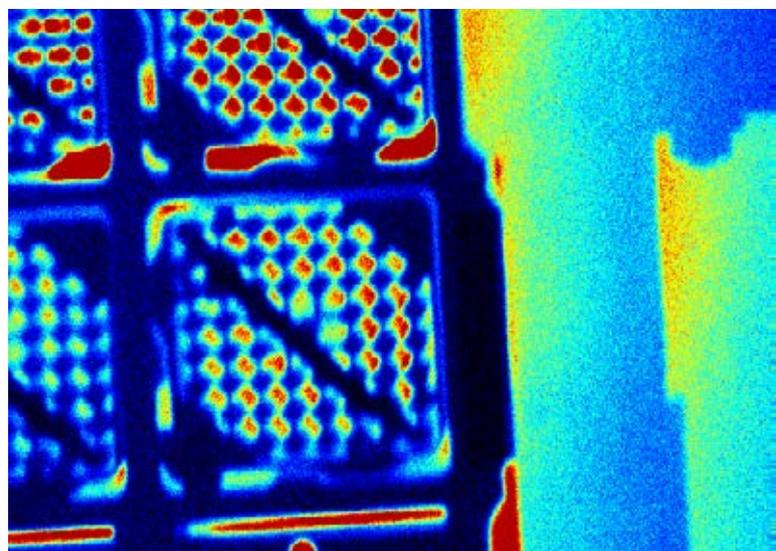
### **Cómo inspeccionar las piscinas de combustible gastado sin mojarse**

Existe una alternativa al dispositivo de análisis de atributos de elementos irradiados para verificar el combustible gastado: el **dispositivo digital de observación de la radiación Cherenkov**, que consta de una cámara ultrasensible que detecta la luz ultravioleta y está conectada a un ordenador que analiza la imagen mediante un programa especializado. Este dispositivo se desarrolló específicamente para el OIEA a partir de equipos astronómicos. Sin embargo, en lugar de apuntar al firmamento, la lente y el sensor especiales de la cámara captan la luz ultravioleta que emiten los conjuntos combustibles gastados, y los patrones lumínicos resultantes revelan aspectos clave de sus características. Este método se emplea para verificar el contenido de las piscinas de combustible gastado, y asegurarse de que ese combustible no se haya desviado ni se ha sustituido por un conjunto no combustible. Es importante señalar que este dispositivo no se sumerge en la piscina, de modo que los elementos radiactivos no lo contaminarán.



### **El protocolo adicional en acción**

El protocolo adicional amplía los derechos de acceso del OIEA a la información y a los lugares, lo que contribuye a aumentar la garantía de ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados en los Estados con acuerdos de salvaguardias amplias en vigor (véase el artículo de la página 4).



A fin de evaluar la exhaustividad de las declaraciones de los Estados en virtud del protocolo adicional, los inspectores pueden efectuar visitas de acceso complementario. Para ello se proveen de un **maletín de acceso complementario** compuesto de múltiples instrumentos que permiten recabar información y verificar las declaraciones, entre los que figuran una cámara, un medidor de distancia láser, un GPS, una grabadora de voz, una linterna, un sistema genérico de medición de la radiación, como el HM-5, y un kit para la toma de muestras ambientales (véase el artículo de la página 14). Con estos instrumentos, el OIEA puede confirmar la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados en esos Estados.



### Planificación para el futuro

Gracias a los avances tecnológicos, la labor de vigilancia y verificación tiene ante sí nuevas posibilidades y ha ganado en eficiencia. La vida media de los equipos es de unos diez años, pasados los cuales su fiabilidad disminuye. El OIEA, con el apoyo fundamental de varios Estados Miembros, trabaja para mantenerse al día tecnológicamente.

“Para el OIEA, es prioritario mejorar la eficiencia de las inspecciones. Queremos poder hacer más rápido y mejor lo que ya hacemos, sin que el flujo de trabajo se resienta”, afirma Dimitri Finker, especialista en previsión tecnológica en el OIEA. “Para ello, estamos introduciendo cambios incrementales y adaptando los instrumentos y las tecnologías ya existentes en el mercado”.

Por ejemplo, gracias a las mejoras introducidas en el maletín de instrumentos de acceso complementario, los inspectores podrán, en un futuro próximo, trabajar más rápido y con más precisión, y elaborar los informes más fácilmente a su regreso a Viena.

Usarán un **bolígrafo electrónico** para tomar notas sobre el terreno, un **sistema de posicionamiento autónomo** integrado por una unidad inercial fijada en el pie del inspector que permitirá registrar los lugares en los que haya estado, diversas cámaras, incluidas **cámaras infrarrojas**, combinadas con un **medidor de distancia** y un nuevo **detector de radiación en miniatura** capaz de detectar e identificar distintas fuentes de radiación. Los datos recogidos sobre el terreno se transferirán a un programa informático y esa información se combina para generar un informe de inspección geolocalizado de alta precisión, que permitirá saber en qué momento de la inspección se tomaron las muestras y cuál es su valor radiológico, tener imágenes de estas y dónde se recogieron exactamente.

“En lugar de tener que dedicar la mitad de su tiempo a recopilar datos para el informe, gracias a las soluciones tecnológicas que les ofrecemos, los inspectores podrán disponer de mucho más tiempo para los análisis”, señala Finker.

El OIEA también está estudiando las ventajas de utilizar la tecnología láser tridimensional en la verificación, ya que permite trazar rápidamente el plano del edificio, mientras el inspector lo recorre con el dispositivo en la mano. Los planos tridimensionales resultantes son más eficaces que las fotografías habituales para verificar las declaraciones de los Estados sobre sus instalaciones.



Fotografías: OIEA

# Vigilancia ininterrumpida de los materiales sometidos a salvaguardia

Vincent Fournier

Si bien las inspecciones son el elemento esencial de las actividades de verificación del OIEA, cada vez se complementan más con tecnologías de vigilancia que funcionan sin interrupción. De esta forma, el OIEA refuerza la eficacia de sus salvaguardias y, al mismo tiempo, aumenta su eficiencia.

Esta monitorización de los materiales y las instalaciones nucleares permite mantener la continuidad de los conocimientos, lo que constituye la garantía definitiva de que esos materiales no se desvían de los usos pacíficos. En lugar de requerir la presencia de inspectores, las cámaras

y los detectores de radiación registran las operaciones de larga duración, como la recarga de un reactor de agua ligera, que puede durar semanas. Los datos se transmiten de forma segura al OIEA en tiempo real o los inspectores los pueden examinar *in situ* durante una inspección y comprobar así si las actividades se han realizado de conformidad con lo declarado.

Las más de 1400 cámaras de vigilancia y los 400 sensores de radiación y de otro tipo repartidos por todo el mundo registran más de un millón de datos de salvaguardias encriptados, mientras que los más de 23 000 precintos colocados en instalaciones nucleares garantizan la contención de los materiales y los equipos.

## En estrecha vigilancia

El sistema de vigilancia de la próxima generación (NGSS) del OIEA consta de cámaras alojadas en carcasas con indicadores de manipulación ilícita y equipadas con baterías de larga duración que pueden suministrar electricidad durante largos períodos sin necesidad de una fuente de energía externa. La autenticidad y confidencialidad de los datos de vigilancia adquiridos por el NGSS se mantienen por medio de tres grados distintos de protección criptográfica de datos y diversos niveles de tecnología física, pasiva y activa que permiten detectar manipulaciones ilícitas. Dentro de la cámara del NGSS, un componente central de vigilancia seguro protege los componentes electrónicos básicos y el sensor óptico, así como los secretos criptográficos mediante un mecanismo activo de detección de manipulaciones ilícitas.

Las cámaras se instalan en zonas de almacenamiento, dentro y cerca de las piscinas de combustible gastado, y en todos los puntos de tránsito por los que pueden pasar los materiales nucleares. Las cámaras pueden estar equipadas con un objetivo “ojo de pez”, que permite sacar fotografías panorámicas, y toman imágenes a intervalos predeterminados de entre un segundo y diez minutos o más, según las necesidades de verificación. Por ejemplo, en una instalación de enriquecimiento, las cámaras registran la actividad con más frecuencia, mientras que en una zona de almacenamiento los intervalos son más prolongados. “Si hay que instalar una grúa para mover materiales, como en las instalaciones de almacenamiento, podemos detectar actividades sospechosas incluso si las imágenes se captan con menor frecuencia,” dice Gabor Hadfi, Jefe del Grupo de Vigilancia de Salvaguardias del OIEA.

El hecho de tomar fotografías en lugar de grabar de forma continua supone una ventaja por diversos motivos: las baterías tardan más en agotarse y las imágenes son más fáciles de procesar y analizar que las películas, explica Hadfi.

Los datos de vigilancia se procesan previamente a fin de analizarlos con la ayuda de un programa informático especializado que detecta el movimiento, y los inspectores examinan los datos y evalúan si coinciden con las operaciones normales y notificadas de la instalación.



## Comprobación a distancia de los niveles de radiación

Las cámaras de vigilancia pueden ver movimiento pero no detectar los niveles de radiación. Para ello, el OIEA utiliza sistemas automáticos de monitorización de análisis no destructivos que incorporan detectores de radiación para medir el nivel de radiación neutrónica y gamma, y diversos sensores para controlar la temperatura, el flujo y otros parámetros. “Estos sistemas se instalan en lugares específicos a fin de caracterizar y verificar los materiales nucleares, monitorizar el desplazamiento del combustible gastado, y recopilar y transmitir datos encriptados las 24 horas del día,” señala Thierry Pochet, Jefe del Grupo de Sistemas de Monitorización Automáticos del OIEA.

Estos sistemas pueden instalarse y recopilar datos en zonas a las que los inspectores no pueden acceder debido a las grandes cantidades de radiación. Según el Sr. Pochet, hay aproximadamente 160 sistemas con un total de 700 detectores y sensores instalados en más de 40 países. Por ejemplo, un reactor de potencia de agua pesada a presión CANDU tiene instalados unos 20 sensores.

Se utilizan distintos tipos de sistemas automáticos para los diferentes tipos de instalaciones, desde las de enriquecimiento hasta las de almacenamiento del combustible gastado o de reprocesamiento, pasando por los reactores. Los datos recogidos mediante la monitorización radiológica se suelen analizar junto con las imágenes obtenidas con videovigilancia a fin de realizar un seguimiento del movimiento de los materiales nucleares dentro de la instalación: gracias a las fotografías, el inspector puede observar a distancia cuál es la causa de la variación en los niveles de radiación.

El **monitor integrado de combustible VXI** monitoriza y cuenta la cantidad de combustible descargado del núcleo de los reactores de agua pesada a presión, comprendidos los reactores CANDU. En estos tipos de reactores, los haces de combustible deben sustituirse varias veces al día. El sistema de monitorización sigue estos haces de combustible cuando son cargados, redistribuidos en el núcleo y descargados en la piscina de combustible gastado mediante el empleo de varios detectores de radiación neutrónica y gamma.

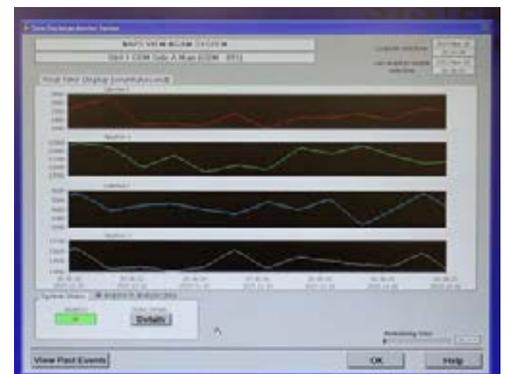
Tras unos cinco años enfrándose en la piscina de combustible gastado, el combustible está listo para ser trasladado a un lugar de almacenamiento, normalmente situado a unos kilómetros del emplazamiento del reactor. Para su transporte, el combustible gastado se transfiere a cofres especiales en los cuales se instala un **detector de neutrones de unidad móvil (MUND)** para medir el nivel de radiación a fin de asegurar que su contenido no se modifica durante el traslado. Este dispositivo se basa en un sistema de detección de neutrones y puede recoger y almacenar datos durante un máximo de ocho semanas sin necesidad de recargar la batería.

A su llegada al lugar de almacenamiento, el MUND se retira y el contenido del cofre se transfiere a un silo. Antes de la transferencia se instala un **monitor gamma de detección de apertura de silos** y sus detectores de rayos gamma monitorizan el proceso de carga. El dispositivo está conectado a un archivo

donde se almacenan los datos. Este sistema funciona junto con la videovigilancia para captar además todos los movimientos que se producen en el proceso de transferencia.

## Monitorización de la potencia de los reactores de investigación

Para monitorizar la potencia de los reactores de investigación se utilizan sistemas específicos. El **monitor termohidráulico de potencia avanzado** se utiliza para supervisar la potencia de salida de los reactores de investigación mediante la medición de la temperatura y el flujo del agua en el circuito de enfriamiento del reactor. Si la potencia calculada sobre la base de la monitorización está por encima de un umbral concreto, el inspector puede llevar a cabo una investigación a fin de determinar si el reactor funciona según lo declarado. Una potencia térmica de salida superior a la declarada podría indicar que se ha producido plutonio, lo que supone un riesgo de proliferación.





## Reprocesamiento

Durante el reprocesamiento nuclear del combustible de uranio gastado se recupera plutonio fisionable del combustible nuclear irradiado. Este plutonio reprocesado se recicla en combustible nuclear MOX para reactores term nucleares. El uranio reprocesado, que constituye el grueso del material de combustible gastado, también se puede reutilizar como combustible. La presencia de plutonio representa un riesgo particular de proliferación, y los diferentes procesos que intervienen en las plantas de reprocesamiento se monitorizan mediante equipos automáticos. Por ejemplo, para la Planta de Reprocesamiento de Rokkasho (Japón) se han diseñado más de 20 sistemas específicos que incluyen cientos de detectores de neutrones y de rayos gamma. Esa planta, una de las más grandes del mundo, tiene la capacidad anual de convertir en combustible 800 toneladas de uranio u 8 toneladas de plutonio. Todos los datos de la monitorización recogidos se transmiten en tiempo real al Centro de Inspección del OIEA en la planta a través de una red segura específica para ello.

## Seguimiento del U 235 en las plantas de enriquecimiento

En 2015, el OIEA desarrolló un monitor de control ininterrumpido del enriquecimiento específico para medir el grado de enriquecimiento del uranio en instalaciones de enriquecimiento por centrifugación gaseosa. Ese tipo de instalaciones enriquecen el uranio aumentando de forma gradual la proporción de uranio 235 (U 235), que es capaz de mantener una reacción de fisión en cadena.

El monitor mide las características del uranio gaseoso — hexafluoruro de uranio (UF<sub>6</sub>)— que fluye por los conductos de procesamiento hacia las cascadas de centrifugadoras de la planta de enriquecimiento. El principal nodo de conexión, un detector de rayos gamma basado en un cristal de yoduro de sodio, mide la cantidad de U 235 en el conducto, mientras que los sensores de presión y temperatura permiten que el aparato determine la cantidad total de uranio gaseoso. Con estas dos cantidades, el dispositivo puede calcular y almacenar o transmitir a la Sede del OIEA el nivel de enriquecimiento en tiempo real. El dispositivo se puede instalar con una configuración que monitorice los niveles de enriquecimiento de los materiales que entran y salen de las cascadas de centrifugadoras de enriquecimiento por gas.

Todos los componentes se encuentran en recipientes sellados conectados con tubos especiales, y todas las carcasas están precintadas. Se utiliza una pintura especial a fin de asegurar la detección de cualquier intento de manipulación ilícita del dispositivo.

Después de utilizarlo por primera vez en enero de 2016 en la planta de enriquecimiento de combustible de Natanz (Irán), el OIEA tiene previsto introducir de forma gradual el monitor de control ininterrumpido del enriquecimiento en las plantas de enriquecimiento por centrifugación gaseosa de otros países. Dado que la nueva tecnología ofrece mediciones continuas, la toma de muestras y el muestreo ambiental se reducirán, lo cual mejorará la eficiencia y permitirá realizar ahorros.

## El precinto de aprobación del OIEA

El precinto del OIEA es el elemento de salvaguardias más famoso, y el que se utiliza con más frecuencia. Si bien son muy sencillos, estos dispositivos de indicación de manipulación ilícita son muy eficaces para disuadir el acceso no autorizado a los materiales salvaguardados y el equipo de salvaguardias del OIEA. Asimismo, son un medio de identificar de forma inequívoca los contenedores protegidos. La verificación de precintos consiste en examinar minuciosamente la carcasa de un elemento y la identidad e integridad del precinto a fin de detectar signos de manipulación ilícita.

El OIEA utiliza diversos tipos de precintos, según corresponda. Algunos están diseñados para ser utilizados bajo el agua o en entornos con condiciones extremas.

Los precintos **metálicos en forma de chapa** de un solo uso se utilizan desde hace más de 30 años y, cada año, se distribuyen y verifican alrededor de 16 000 precintos de este tipo. A efectos de identificación, todos los precintos están numerados y tienen unas marcas distintivas en su parte interna que se registran antes de entregarlos a los inspectores. Durante las inspecciones, los precintos se sustituyen y se vuelven a llevar a la Sede del OIEA para verificar su eficacia y autenticidad mediante la comprobación de las marcas, que deben ser las mismas que las originales.

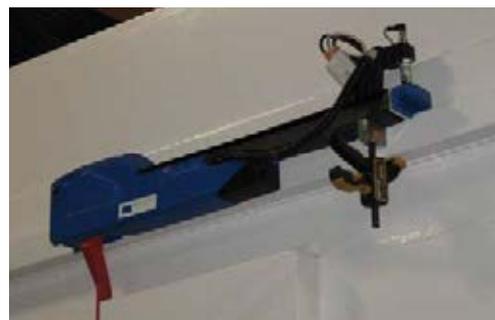
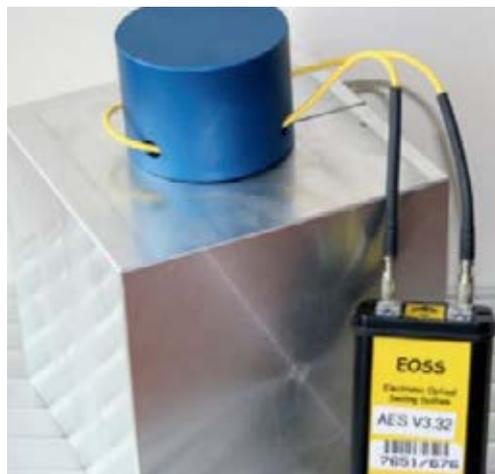
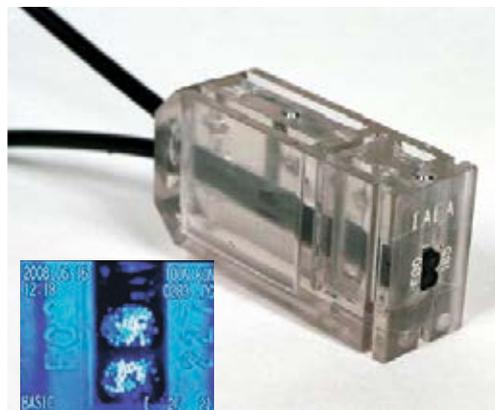
Existen otros tipos de precintos que los inspectores del OIEA verifican sobre el terreno. Por ejemplo, el **precinto COBRA**, que comprende un cable de fibra óptica multipolar cuyos extremos están dentro del cuerpo del precinto. Algunos de los conductores se cortan de forma aleatoria durante el cierre del precinto a fin de crear un patrón óptico único. Para registrar esta marca distintiva se utilizan cámaras que proyectan una luz a través del cable. Durante la verificación, la imagen de inspección se compara con la imagen de la instalación a fin de garantizar la identidad del precinto y el mantenimiento de su integridad. Cada año se utilizan unos 2000 precintos COBRA, normalmente junto con los precintos metálicos en forma de chapa para mejorar la fiabilidad.

El OIEA también utiliza precintos electrónicos, como el **sistema de precintado electroóptico**, que los inspectores pueden controlar a distancia y que están conectados a sistemas de videovigilancia. Estos precintos están compuestos por un bucle de fibra óptica y una unidad electrónica que monitoriza de forma continua el estado del bucle mediante el envío de un impulso luminoso a través de la fibra a intervalos breves. La hora, la fecha y la duración de cualquier apertura y cierre del bucle de fibra óptica quedan registrados en una memoria interna encriptada. Los precintos electrónicos activos permiten la cooperación con las autoridades nacionales y los explotadores, que están autorizados para conectarlos o desconectarlos. Estas modificaciones quedan grabadas y los inspectores las pueden comparar con las actividades declaradas.

La **fotogrametría láser para la verificación de la contención** es la tecnología de precintado más moderna que se utiliza actualmente. Basada en la tecnología de planimetría

superficial por láser, el láser de dicho sistema genera un mapa en alta resolución de la soldadura de cierre del contenedor cuando los contenedores entran en servicio. Para llevar a cabo la identificación o detectar si ha habido manipulación ilícita se vuelve a escanear la soldadura y se compara el nuevo mapa con la referencia correspondiente.

Fotografías (a menos que se indique otra cosa): OIEA



# Verificación nuclear: demostración de los datos mediante pruebas científicas

Nicole Jawerth

El seguimiento de los datos constituye una parte importante de la verificación nuclear. El personal de los laboratorios de salvaguardias del OIEA recibe cada año cientos de muestras y verifica los datos mediante comprobaciones aleatorias y análisis del contenido de uranio y plutonio en las muestras de materiales nucleares.

“Utilizamos equipos de alta sensibilidad para analizar las muestras recogidas por los inspectores de salvaguardias, a veces incluso del orden de nanogramos,” dice Steven Balsley, Jefe del Laboratorio de Materiales Nucleares del OIEA. “Se trata de un proceso de gran exactitud que desempeña un papel importante en la labor del OIEA de verificar si los materiales y las instalaciones nucleares se están utilizando con fines pacíficos.”

Los científicos del laboratorio analizan muestras de frotis ambientales y muestras de materiales nucleares de varios puntos del ciclo del combustible nuclear tomadas por los inspectores de salvaguardias durante las inspecciones físicas en las instalaciones nucleares. Estas muestras se seleccionan, procesan y distribuyen a laboratorios de la red de laboratorios del OIEA, y son analizadas y archivadas por los científicos de los laboratorios en Seibersdorf (Austria). Estos laboratorios se componen de dos instalaciones modernas: el Laboratorio de Materiales Nucleares (NML), que se ocupa de las muestras de materiales nucleares, y el Laboratorio de Muestras Ambientales, que recibe todas las muestras de frotis ambientales y realiza pruebas de cribado para detectar trazas de materiales nucleares (véase el artículo de la página 14).

Una vez que las muestras se registran y se distribuyen entre los laboratorios de la red del OIEA, los científicos determinan la cantidad y el tipo de uranio o plutonio que hay en una muestra concreta mediante el uso de instrumentos como espectrómetros de rayos gamma y espectrómetros de masas (véase el recuadro sobre la base científica en la página 15).

“El uranio y el plutonio son los dos principales elementos fisionables utilizados para generar electricidad en los reactores nucleares de potencia, pero también son los elementos fisionables que se utilizan con más frecuencia en la producción de armas nucleares,” explica Balsley. “Lo que más nos interesa es vigilar muy atentamente el espacio por el que circulan los isótopos fisionables de esos dos elementos en el ciclo del combustible nuclear.”

En promedio, cada año se reciben y analizan más de 600 muestras de materiales nucleares. Las muestras se guardan en pequeños contenedores marcados con códigos de barras anónimos, a fin de garantizar la confidencialidad durante todo

el proceso de evaluación. El tamaño de las muestras varía: pueden ser tan pequeñas como una pestaña o llegar a pesar varios gramos. La información que contienen puede ayudar a descubrir indicios de actividades pasadas y presentes en el emplazamiento de donde procede la muestra.

“Si bien las muestras recogidas por los inspectores de salvaguardias no representan más que una parte minúscula de las toneladas de material que hay en una instalación, se pueden analizar ciertas características de los átomos de una determinada muestra para establecer su naturaleza general,” dice Balsley. “Al extrapolar los datos del análisis de una pequeña muestra, los científicos pueden determinar la composición de toneladas de material y mejorar el grado de exactitud de la contabilidad de materiales nucleares.”

## Muestras destinadas a la verificación

El principal objetivo de la recogida de muestras nucleares es verificar las cantidades declaradas y la composición isotópica de los materiales presentes en las instalaciones sometidas a salvaguardias. Una vez recogidas las muestras, el OIEA compara los valores declarados con los valores que ha obtenido él mismo de forma independiente.

“Cuando se trabaja con grandes inventarios es normal que existan pequeñas discrepancias en cualquier sector, ya se trate de bancos, supermercados o instalaciones nucleares. Al comparar los valores contables con los productos físicos, suele haber bien excedentes, bien déficit”, explica Balsley. Uno de los principales objetivos de las salvaguardias es cerciorarse de que las discrepancias sean pequeñas en comparación con lo que se conoce como una ‘cantidad significativa’, es decir, la cantidad de material necesario para desarrollar un dispositivo nuclear explosivo”, dice Balsley.

Las diferencias significativas entre los valores declarados y los obtenidos de forma independiente se conocen como defectos y se dividen en tres tipos: defectos graves, cuando no se puede contabilizar una o más partidas a granel de materiales nucleares; defectos parciales, cuando una parte significativa de una partida a granel se ha desviado; y defectos con sesgo, cuando una pequeña fracción de una partida a granel se ha ido desviando con regularidad a lo largo del tiempo.

A diferencia de los defectos graves y los parciales, que un inspector puede detectar más fácilmente cuando se encuentra en la instalación debido a que se trata de cantidades mayores, la escasa envergadura de un defecto con sesgo requiere mediciones químicas y físicas de alta precisión que permitan mejorar la contabilidad de los materiales nucleares.

Por ejemplo, con materiales a granel homogéneos, como los barriles de óxido de uranio, ello se consigue, en primer lugar, pesando con cuidado y precisión la partida original a granel seleccionada de forma aleatoria mediante un sistema especial denominado celda de carga (para obtener más información sobre este y otros equipos véase la página 18). A continuación, el explotador toma varias muestras representativas de la partida a granel del tamaño del orden de gramos, bajo la supervisión de un inspector del OIEA. Esas muestras también se pesan cuidadosamente en la instalación.

Una vez entregadas al NML, las muestras se vuelven a pesar y se analizan para determinar el porcentaje de uranio y su composición isotópica. Al medir el porcentaje de uranio de la muestra y el peso de las muestras y la partida original, los expertos del OIEA pueden calcular con precisión la cantidad de uranio que contiene la partida a granel. A continuación comparan esos resultados con la información declarada por la instalación y con el registro histórico de resultados analíticos de muestras tomadas en la misma zona física donde las cantidades de materiales nucleares se supervisan, conocida como “zona de balance de materiales”.

En el caso de algunos productos de los que no es fácil recoger muestras o de materiales no homogéneos de los que no se pueden tomar muestras representativas, se utilizan otros métodos para verificar su composición química o isotópica.

### **Exactitud, calidad, confianza**

El control de calidad es fundamental para mantener la confianza en los resultados analíticos utilizados para la verificación de salvaguardias. Al formar parte de un laboratorio con certificación internacional, el personal utiliza métodos analíticos validados para llevar a cabo los análisis. Se emplean materiales de referencia certificados para supervisar la calidad de las mediciones en los laboratorios, y la participación en programas de comparación entre laboratorios permite garantizar que las normas en materia de medición y calibración de instrumentos sean las correctas. El personal de laboratorio también imparte capacitación a los inspectores de salvaguardias sobre procedimientos de toma y manipulación de muestras: se les enseña desde cómo evitar la contaminación cruzada, hasta el modo de tomar muestras de partidas de material nuclear para poder obtener muestras representativas.

Integrar los últimos avances tecnológicos también contribuye a mejorar los niveles de exactitud y precisión, y a garantizar la calidad. Los laboratorios siguen el ritmo del progreso tecnológico gracias al frecuente asesoramiento de expertos en la materia, el apoyo de los Estados Miembros, la mejora continua de los métodos y la actualización de la instrumentación.



**Los expertos del Laboratorio de Materiales Nucleares utilizan instrumentos especializados para analizar minuciosamente las muestras de materiales nucleares como parte del proceso de verificación de salvaguardias.**

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

### **Instalaciones modernas**

A finales de 2015 finalizó, dentro del plazo y el presupuesto previstos, un importante proyecto de modernización de los laboratorios de Seibersdorf que costó cerca de 80 millones de euros. El proyecto titulado “Mejora de las Capacidades de los Servicios Analíticos de Salvaguardias” comprendió una nueva Ampliación del Laboratorio Limpio del Laboratorio de Muestras Ambientales y un nuevo Laboratorio de Materiales Nucleares que sustituyó al Laboratorio Analítico de Salvaguardias construido en el decenio de 1970.

Este proyecto permitió, entre otras cosas, aumentar la capacidad de análisis y gestión de muestras de los laboratorios, mejorar la sensibilidad de los métodos analíticos y proporcionar más infraestructuras para la capacitación de inspectores y personal de laboratorio de los Estados Miembros.

“El hecho de haber concluido con éxito este proyecto pone de relieve la capacidad del OIEA para hacer frente al creciente volumen de trabajo en la esfera de las salvaguardias,” afirma Balsley. “Mantenerse al día y actualizado permitirá que el OIEA pueda seguir respondiendo a las necesidades analíticas en materia de salvaguardias en los próximos decenios.”

# Examen de frotis: recogida y análisis de muestras ambientales

Aabha Dixit

El aire está presurizado, cuidadosamente filtrado y monitorizado. Antes de entrar, científicos y técnicos pasan por unas duchas de aire. Bienvenidos al Laboratorio de Muestras Ambientales, o “laboratorio limpio”, del OIEA en Seibersdorf (Austria), donde cada año se analizan más de 300 muestras para verificar que se ha dado a las instalaciones nucleares el uso declarado.

El laboratorio limpio requiere esas condiciones para poder detectar la menor traza de uranio o plutonio presente en las muestras de frotis tomadas por los inspectores en los reactores de investigación, las plantas de enriquecimiento u otras instalaciones nucleares para su análisis. La sensibilidad de los aparatos empleados es tal, que pueden detectar en una muestra cantidades de uranio y plutonio de un peso inferior a una billonésima parte de un gramo.

“Por más que limpies la cocina, siempre queda alguna mota de polvo. Lo mismo puede decirse de las instalaciones nucleares. Por ese motivo, un análisis de las muestras de frotis ambiental permite detectar qué elementos se han utilizado”, afirma Stephan Vogt, Jefe del Laboratorio de Muestras Ambientales del OIEA.

Mientras que el objetivo de muchos métodos de verificación de salvaguardias es comprobar y confirmar el tipo y la cantidad de material nuclear declarado por un Estado, el muestreo ambiental se utiliza para certificar la ausencia de material nuclear no declarado.

## ¿Cómo empezó el OIEA a hacer muestreos por frotis?

En los años noventa, una instalación nuclear en el Iraq fue bombardeada. Dado que resultaba literalmente imposible llevar a cabo actividades de verificación convencionales en el emplazamiento destruido, a los inspectores del OIEA se les ocurrió “frotar” distintos elementos de la instalación dañada con unas gasas de algodón y analizarlas para determinar qué elementos se habían utilizado en la instalación antes de que fuera destruida. Los resultados revelaron todo el espectro del uranio: desde uranio empobrecido hasta uranio muy enriquecido. Gracias a las gasas contaminadas, se obtuvo información importante sobre la historia de la instalación nuclear destruida. Así nació la idea de incorporar el muestreo por frotis a las actividades de verificación del OIEA.

Hoy, el muestreo ambiental forma parte de los procesos normalizados del OIEA. Todos los estuches de toma de muestras ambientales de una inspección se preparan en la “sala blanca” del laboratorio. Los paquetes precintados con las gasas solamente se abren en la zona de inspección designada. Cada estuche contiene dos pares de guantes de látex, entre 6 y 10 gasas de algodón y varias bolsas provistas de un cierre hermético para las muestras de frotis. Todo ese material se deposita posteriormente en otra bolsa precintada hasta su llegada al OIEA.

Se toman varios frotis de superficies de diferentes ubicaciones de una instalación nuclear o una instalación conexas. De vuelta en el laboratorio, las muestras se someten a análisis sumamente sofisticados en los que se emplea tecnología avanzada (véase el recuadro).

Las muestras se analizan en el laboratorio del OIEA y en los 19 laboratorios acreditados de 8 Estados Miembros del Organismo y de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom). La red de laboratorios afiliados al OIEA está integrada por laboratorios de Alemania, Australia, el Brasil, los Estados Unidos, Francia, el Japón, el Reino Unido, la República de Corea y Rusia.

A fin de mantener la confidencialidad del proceso, todas las muestras de frotis recogidas se someten a un riguroso sistema de etiquetado en el que se suprime cualquier indicación sobre el país y el lugar de recogida. Antes de enviarlas a los laboratorios designados en los Estados Miembros, las muestras



**Un grupo de inspectores toma una muestra de frotis en una instalación nuclear.**

(Fotografía: Departamento de Salvaguardias del OIEA)

anonimizadas se someten a una primera prueba diagnóstica de cribado para detectar indicios de radiactividad y conocer su composición elemental principal, señala Vogt. Entre las muestras que el OIEA envía también hay muestras ciegas de control de calidad para poder comparar las mediciones con los estándares establecidos por el Organismo y mantener en todo momento un elevado nivel de calidad.

La recogida cuidadosa y el análisis exhaustivo de muestras ambientales son hoy elementos fundamentales de la labor del OIEA en materia de salvaguardias. “Gracias a estas actividades, el OIEA puede verificar que se ha dado el uso declarado a las instalaciones nucleares, y generar confianza en el uso de la tecnología nuclear con fines pacíficos”, afirma Tero Varjoranta, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Salvaguardias del OIEA.



**Estuche de toma de muestras ambientales.**

(Fotografía: Departamento de Salvaguardias del OIEA)

## BASE CIENTÍFICA

### Seguimiento de isótopos y elementos distintivos

Todas las muestras de frotis se examinan mediante espectrometría gamma y espectrometría de rayos X, que permite detectar los tipos de elementos y de radioisótopos presentes. “En el cribado de los frotis se emplea una metodología no destructiva, es decir que las muestras no se destruyen ni se descomponen antes del cribado, ni se ponen en peligro durante el proceso de examen”, afirma Vogt.

Para determinar la composición isotópica del uranio o el plutonio contenido en las muestras de frotis se utilizan espectrómetros de masas. El método es tan sensible que puede detectar partículas de un grosor 100 veces inferior al de un cabello.

El espectrómetro de masas de emisión de iones secundarios de grandes dimensiones mide la composición isotópica del uranio en partículas micrométricas, y es un eficaz instrumento para analizar las “marcas isotópicas” de cada partícula de uranio. Otro método, conocido como análisis volumétrico, examina el contenido de uranio y de plutonio y la composición isotópica del material mezclado de un frotis. Por lo general, añade Vogt, las muestras se envían simultáneamente para someterlas a un análisis de partículas y un análisis volumétrico.



**Análisis de muestras de frotis en el Laboratorio de Muestras Ambientales del OIEA en Seibersdorf (Austria).**

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

# Hasta el último detalle: uso de imágenes por satélite para mejorar la capacidad del OIEA en materia de salvaguardias

Rodolfo Quevenco

Las imágenes por satélite se emplean para generar planos de emplazamientos y recopilar información sobre edificios y estructuras sobre el terreno. La fotografía muestra un grupo de analistas examinando el plano de un emplazamiento.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)



Al aplicar las salvaguardias el OIEA recopila y evalúa una gran variedad de información de importancia para las salvaguardias, incluida información procedente de fuentes de libre acceso como las imágenes satelitales comerciales, a fin de verificar que los Estados cumplen sus obligaciones internacionales, y utilizan la tecnología y el material nucleares con fines exclusivamente pacíficos.

“El análisis de imágenes complementa la información facilitada por los Estados y puede ser un elemento importante para verificar las declaraciones de un Estado”, afirma Karen

Steinmaus, Jefa de la Sección de Análisis de la Infraestructura de los Estados del OIEA. “Las imágenes satelitales comerciales se han convertido en una fuente de información muy valiosa para el Departamento de Salvaguardias del OIEA, especialmente en el caso de los lugares a los que el Organismo no tiene acceso”, añade Steinmaus.

El análisis de las imágenes por satélite se utiliza de manera sistemática en las siguientes actividades de salvaguardias:

- verificación de la exactitud y la exhaustividad de la información facilitada por los Estados;

## Imágenes captadas por satélite durante el accidente de Fukushima

La importancia de las imágenes por satélite va más allá de la mera verificación de las declaraciones de los Estados, la planificación y promoción de actividades de verificación, y la detección e investigación de actividades no declaradas. Estas imágenes también resultan de gran utilidad en la vigilancia de las actividades del ciclo del combustible nuclear, como quedó patente en el accidente de la central nuclear de Fukushima.

El terremoto de magnitud 9,0 que sacudió la costa nororiental del Japón el 11 de marzo de 2011 desató una reacción en cadena que acabó provocando un accidente nuclear. Esa misma tarde, el Departamento de Salvaguardias del OIEA empezó a recopilar imágenes por satélite para evaluar los posibles daños en una gran diversidad de emplazamientos nucleares del Japón.

El Organismo recibió y analizó imágenes a diario. Entre el 11 de marzo y finales de mayo de ese año, el OIEA adquirió 157 imágenes satelitales comerciales del Japón, de las que 130 fueron donadas a través de Crisis Event Service.

Si bien un primer análisis de las imágenes por satélite había permitido detectar daños en varios emplazamientos nucleares, rápidamente se puso de manifiesto que el epicentro de la catástrofe se encontraba en la central nuclear de Fukushima Daiichi. Las imágenes satelitales comerciales resultaron de suma utilidad para el Centro de Respuesta a Incidentes y Emergencias del OIEA para informar a los Estados Miembros y al conjunto de la población durante los días y las semanas posteriores al accidente.

- prestación de asistencia para la planificación de actividades de inspección y actividades sobre el terreno;
- detección de cambios y vigilancia de la actividad en emplazamientos relacionados con el ciclo del combustible nuclear; y
- detección de posibles actividades no declaradas.

### Utilidad de las imágenes por satélite en la aplicación de salvaguardias: el caso de la República Popular Democrática de Corea

Gracias a las imágenes por satélite, el OIEA puede mantenerse informado de cómo evoluciona el programa nuclear de la República Popular Democrática de Corea (RPDC), pese a que no puede llevar a cabo actividades físicas de verificación en el país. Vigilar el emplazamiento de Yongbyon es especialmente importante.

Mediante la utilización de imágenes satelitales, el Organismo puede elaborar y actualizar un plan detallado para llevar a

cabo actividades de vigilancia y verificación en la RPDC, en el caso de que se permita el regreso de los inspectores al país.

### Desafíos y oportunidades futuras

En los últimos años, se han multiplicado extraordinariamente las dificultades y las oportunidades relacionadas con el análisis de imágenes satelitales. Los nuevos sensores de alta resolución espacial y espectral, con un “tiempo de revisita” notablemente mejorado, ofrecen posibilidades sin precedentes para la vigilancia de emplazamientos y actividades.

Además de las imágenes ópticas, los radares de imágenes comerciales, los nuevos sensores infrarrojos y los vídeos a partir de imágenes por satélite pueden mejorar el proceso de análisis. Esos recursos ponen al alcance de los analistas distintas técnicas para obtener información complementaria que contribuye a responder a las necesidades operacionales del OIEA en materia de verificación.

## Optimización de las salvaguardias del OIEA

### Tero Varjoranta, Director General Adjunto Jefe del Departamento de Salvaguardias

Las salvaguardias del OIEA contribuyen de manera decisiva a la seguridad internacional. Por medio de su aplicación, el Organismo desalienta la proliferación de armas nucleares y ofrece garantías creíbles de que los Estados cumplen sus obligaciones internacionales de utilizar el material nuclear con fines exclusivamente pacíficos. Mediante su labor de verificación independiente, el OIEA facilita el fomento de confianza a escala internacional y el fortalecimiento de la seguridad colectiva.

La tecnología nuclear avanza constantemente. En los últimos cinco años, han entrado en vigor 7 nuevos acuerdos de salvaguardias y 23 nuevos protocolos adicionales. La cantidad de material nuclear y el número de instalaciones nucleares sometidos a salvaguardias se han incrementado en un 17 % y un 5 %, respectivamente, tendencia que se mantendrá mientras los programas nucleares civiles sigan avanzando.

Si bien las obligaciones jurídicas en materia de verificación están propiciando un aumento cada vez mayor de la demanda que debe afrontar el Departamento de Salvaguardias, ello no se ha visto acompañado de un incremento proporcional de nuestro presupuesto. Si queremos seguir aumentando nuestra eficacia, debemos ser más eficientes. En otras palabras: tenemos que mejorar nuestra productividad.

De hecho, lo estamos haciendo de tres maneras: en primer lugar, aprovechando plenamente las tecnologías modernas a nuestro alcance; en segundo lugar, racionalizando nuestros procesos internos; en tercer lugar, alentando a los Estados, cuando es necesario, a que cooperen con nosotros más estrechamente en la aplicación de salvaguardias.

Además, el acuerdo nuclear concertado en julio de 2015 entre el Irán y las principales potencias ha puesto de manifiesto la importancia del Departamento de Salvaguardias a la hora de dar una respuesta eficaz y rápida a las nuevas demandas de los Estados Miembros del OIEA en materia de verificación.

Veo con optimismo el futuro de las salvaguardias del OIEA y su contribución a la seguridad mundial.

Contamos con un mandato jurídico firme, un amplio respaldo político y la capacidad técnica necesaria para poder dar garantías a los distintos países del mundo de que todo el material nuclear se usa con fines pacíficos.

En el futuro, me gustaría que los Estados y la industria nuclear consideraran al OIEA como una fuente de valor añadido; que el Organismo, por su parte, siguiera extrayendo conclusiones de salvaguardias independientes y fiables; y que continuáramos abordando con decisión cualquier motivo de preocupación relacionado con las salvaguardias.



**Tero Varjoranta**  
Director General Adjunto  
Jefe del Departamento de Salvaguardias

(Fotografía: OIEA)

# El Irán y el OIEA: verificación y vigilancia en virtud del PAIC

El 16 de enero de 2016, el Director General del OIEA, Sr. Yukiya Amano, anunció que el Irán había adoptado todas las medidas preparatorias necesarias para poner en marcha la aplicación del Plan de Acción Integral Conjunto (PAIC). Ese hecho marca el inicio de una nueva fase en las relaciones entre el OIEA y el Irán y representa el comienzo de un esfuerzo redoblado en las actividades de verificación y vigilancia del Organismo en el Irán.

El Irán y el denominado E3/UE+3, que agrupa a Alemania, China, los Estados Unidos, Francia, el Reino Unido, Rusia y la Unión Europea, acordaron el PAIC en julio del año pasado. El OIEA, que no es parte en el Plan, está asumiendo muchos de los compromisos de verificación y vigilancia relacionados con la energía nuclear enunciados en el documento.

En el PAIC el Irán se compromete a reducir en aproximadamente dos tercios el número de centrifugadoras de enriquecimiento, así como a no enriquecer uranio por encima del 3,67 % en uranio 235. También, ha accedido a aplicar de forma provisional el protocolo adicional, un acuerdo legal en virtud del que se concede al OIEA un mayor acceso a la información y los lugares que se encuentren en el territorio de un Estado, además de a las instalaciones y los materiales nucleares declarados. Ello aumenta la capacidad del Organismo para verificar que *todo* el material nuclear del Estado del que se trate se usa con fines pacíficos.

De acuerdo con lo dispuesto en el PAIC, el Irán también ha accedido a cumplir los compromisos adquiridos de forma voluntaria en materia nuclear, conocidos como “medidas de transparencia”, entre los que figuran ampliar el acceso de los inspectores del OIEA a minas y plantas de tratamiento de uranio y mantener bajo continua vigilancia los lugares de fabricación y almacenamiento de centrifugadoras (véase el cuadro que figura más adelante, que presenta una visión general de los principales compromisos contraídos por el Irán en materia nuclear y su calendario con arreglo al PAIC). Estas medidas trascienden el alcance del protocolo adicional y ayudarán al Organismo a entender mejor las actividades nucleares del Irán.

## Un mayor compromiso

La aplicación del PAIC ha propiciado que aumenten considerablemente los recursos que el OIEA destina a actividades de verificación y vigilancia en el Irán (véase el gráfico anterior). Por ejemplo, actualmente, los sistemas de vigilancia a distancia (véase el artículo de la página 22) transmiten a diario al Organismo un 25 % más de imágenes y datos nucleares que antes de la aplicación del PAIC, y prácticamente duplican la cifra anterior a 2014, cuando el OIEA empezó a llevar a cabo actividades de verificación y vigilancia en el marco de un programa provisional, el Plan de Acción Conjunto (PAC), acordado entre el Irán y el E3+3 en 2013.

## PRINCIPALES COMPROMISOS CONTRAÍDOS POR EL IRÁN EN VIRTUD DEL PAIC

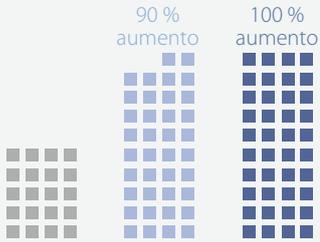
- ▶ No se enriquecerá uranio poco enriquecido (UPE) por encima del 3,67 %
  - ▶ Se limitarán las reservas de UPE a 300 kg
  - ▶ No se enriquecerá uranio en la planta de enriquecimiento de combustible de Fordow
  - ▶ No se construirán nuevas instalaciones de enriquecimiento
  - ▶ No se construirán nuevos reactores de agua pesada
  - ▶ Se exportarán los excedentes de agua pesada
- DURANTE 15 AÑOS**
- ▶ El OIEA tendrá acceso a las minas y plantas de tratamiento del uranio
- DURANTE 25 AÑOS**



# AUMENTO DE LOS RECURSOS NECESARIOS

ASA    ASA + PAC    ASA + Protocolo Adicional + PAIC

## DÍAS SOBRE EL TERRENO/AÑO



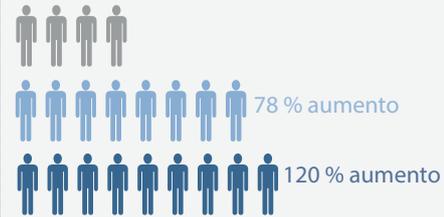
## SISTEMAS DE VIGILANCIA



## COSTOS ANUALES



## RECURSOS HUMANOS



La cantidad de personal del OIEA dedicado a tareas de verificación y vigilancia en el Irán se ha incrementado prácticamente en una cuarta parte desde el año pasado y en más del 100 % con respecto a antes de 2014.

La ejecución por el OIEA de las actividades de verificación y vigilancia conforme a lo establecido en el PAIC requerirá un gasto adicional de 9,2 millones de euros anuales. El presupuesto destinado por el Organismo a la realización de esas actividades es 2,3 veces superior a la cifra presupuestada antes de la aplicación del PAC.

“Aunque todavía queda mucho por hacer, el OIEA cuenta con la experiencia y los conocimientos especializados necesarios para llevar a cabo la labor”, afirma Tero Varjoranta, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Salvaguardias. Desde el punto de vista de la verificación, el Acuerdo de Salvaguardias Amplias (ASA) concertado por el Irán, el Protocolo Adicional y los compromisos relacionados contraídos por el Irán en materia nuclear en virtud del PAIC constituyen, en su conjunto, un claro avance.

# EL IRÁN Y LAS SALVAGUARDIAS DEL OIEA: FECHAS IMPORTANTES



# La contribución del OIEA a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Nicole Jawerth y Miklos Gaspar

**A**cordados por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015, los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de objetivos que tienen por fin estimular iniciativas durante los próximos 15 años en ámbitos de importancia decisiva para la humanidad y el planeta. Los Objetivos combinan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la económica, la social y la medioambiental.

El OIEA pone la tecnología nuclear utilizada con fines pacíficos a disposición de sus Estados Miembros en campos como la energía, la salud humana, la producción de alimentos, la gestión de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente, todos ellos importantes y reconocidos en los ODS.

Para aclarar el papel de la ciencia y la tecnología nucleares, y el del OIEA, en algunos de los ámbitos abarcados por los ODS, a continuación echamos un vistazo al apoyo que el Organismo presta a los países en el empleo de técnicas nucleares e isotópicas. Está previsto que esta labor se intensifique a la luz de los ODS, lo que contribuirá a que el mundo esté más cerca de alcanzar las metas correspondientes.



El hambre y la malnutrición suelen tener su origen en la inseguridad alimentaria y los desafíos agrícolas,

que afectan al bienestar y lastiman las economías. A través del OIEA, y de su asociación con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), varios países de todo el mundo están mejorando la seguridad alimentaria y la agricultura utilizando para ello técnicas nucleares e isotópicas a fin de proteger a las plantas de las plagas de insectos y cultivar nuevas variedades vegetales con mejor rendimiento, una mayor resistencia a las enfermedades y/o más tolerancia a la sequía. Otros países recurren a estas técnicas para proteger la salud del ganado y mejorar su reproducción. Por ejemplo, el OIEA presta asistencia a países como el Senegal para utilizar la técnica de los insectos estériles en la erradicación de la mosca tsetse, que solía causar estragos en el ganado.

La irradiación ayuda a garantizar la calidad y la inocuidad de los productos alimenticios destinados al consumo. Con la ayuda del OIEA, algunos países se sirven de ella para eliminar las bacterias potencialmente nocivas y las plagas de insectos no deseadas, mientras que otros la aprovechan para prolongar el tiempo de conservación de los alimentos.

La inseguridad alimentaria y los desafíos agrícolas a menudo desembocan en hambre y malnutrición. Mediante las técnicas de los isótopos estables, los profesionales sanitarios pueden vigilar la composición corporal y la ingesta y la absorción de alimentos

para conocer mejor las complejidades de la malnutrición y determinar la eficacia de tratamientos y medidas de prevención.



Lograr el desarrollo sostenible no es posible si enfermedades debilitantes u otros problemas afectan a la salud. A fin de contribuir a alcanzar la meta de los ODS de reducir en un tercio las muertes por enfermedades no transmisibles, el OIEA presta asistencia a los países en la lucha contra el cáncer de distintas maneras, entre otras ayudándoles a diseñar unos programas integrales de control del cáncer, creando instalaciones de medicina nuclear, radiooncología y radiología y promoviendo la educación y la capacitación de profesionales sanitarios especializados. La labor del Organismo contribuye a mejorar la gestión del cáncer y el acceso a los cuidados en todo el mundo.

El OIEA también trabaja para mejorar la utilización y la fiabilidad de las instalaciones, incluidos los reactores de investigación, que producen radioisótopos que salvan vidas, y para apoyar a los países a fin de limitar la sobreexposición de los pacientes a la radiación durante los procedimientos médicos.

Un mayor acceso a las tecnologías radiológicas y de la medicina nuclear permite igualmente a los países



(Fotografía: OIEA)



(Fotografía: IUCNweb/flickr.com/CC BY 2.0)



(Fotografía: Philipp P Egli/CC BY 3.0)

diagnosticar y gestionar de una manera más precisa las enfermedades cardiovasculares, por ejemplo, o vigilar y evaluar problemas de salud como la tuberculosis y otras infecciones.

Gracias a las técnicas nucleares, por ejemplo, científicos y trabajadores sanitarios de Guatemala pueden hoy identificar las causas y las consecuencias de la malnutrición en los niños del país, de modo que los responsables de la formulación de políticas pueden concebir estrategias para combatir la obesidad y el retraso en el crecimiento. El OIEA también presta apoyo a los países en el desarrollo de capacidades para la detección precoz de enfermedades que se transmiten de los animales a las personas, como el ébola.



No hay vida sin agua. El aumento de la población y el crecimiento económico hacen que el acceso a agua limpia e

inocua sea imperativo. Las técnicas isotópicas arrojan luz sobre la edad y la calidad del agua. Algunos países, como el Brasil, se sirven de ellas para poner en práctica planes de gestión integrada de los recursos hídricos encaminados a utilizar de manera sostenible los recursos y proteger el agua y los ecosistemas relacionados con el agua, mientras que otros emplean los datos para hacer frente a la escasez y mejorar el suministro de agua dulce.

Entre otras tareas, el OIEA ayuda a agricultores de África a usar eficazmente sus escasos recursos hídricos mediante técnicas nucleares e isotópicas, establece laboratorios isotópicos en el Oriente Medio para estudiar los recursos de aguas

subterráneas y presta asistencia en la formulación de políticas sobre gestión y uso del agua en la región del Sahel.

Otro problema asociado al progreso social es la contaminación del agua. Con el apoyo del Organismo, algunos países se están decantando por la tecnología de la radiación para tratar las aguas residuales industriales, reduciendo así los contaminantes y mejorando la calidad del agua, de modo que sea más seguro reutilizarla.



El acceso a una energía limpia, fiable y asequible es un requisito previo para un crecimiento económico

sostenible y el bienestar de las personas, lo que repercute en la salud, la educación y las oportunidades laborales. A fin de promover la utilización segura y eficiente de la energía nucleoelectrica, el OIEA apoya programas nucleares existentes y nuevos en todo el mundo, cataliza la innovación y crea capacidad en materia de planificación energética, análisis y gestión de la información y los conocimientos nucleares. El Organismo ayuda a los países a atender sus crecientes demandas de energía para el desarrollo y, al mismo tiempo, mejorar la seguridad energética, reducir los efectos medioambientales y sobre la salud, y mitigar el cambio climático.

El OIEA apoya a los países que se están planteando o que prevén introducir o ampliar sus capacidades de generación de energía nucleoelectrica, y les presta asistencia y los guía a través de todas las etapas del proceso para usar la energía nucleoelectrica en condiciones de seguridad tecnológica y física.



El éxito de una economía fuerte, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo, se sustenta en una tecnología industrial de vanguardia. La ciencia y la tecnología nucleares, en particular, pueden contribuir notablemente al crecimiento económico, y pueden desempeñar una importante función en el apoyo al desarrollo sostenible.

Con la ayuda del OIEA, algunos países han aumentado la competitividad de sus industrias al utilizar estas tecnologías para llevar a cabo ensayos no destructivos en pruebas de seguridad y de calidad, y han empleado técnicas de irradiación para mejorar la durabilidad de un producto, desde neumáticos hasta tuberías, o desde dispositivos médicos hasta cables.

Los ensayos industriales en que se usa la tecnología nuclear han redundado en una mayor competitividad del sector manufacturero de Malasia, por ejemplo. El país se ha creado un nicho en el Asia Sudoriental al ofrecer ensayos no destructivos con dispositivos nucleares a los fabricantes de los países vecinos.

La irradiación también mejora la sostenibilidad industrial ya que el tratamiento de los gases de combustión en centrales eléctricas alimentadas con carbón y la identificación de las vías de contaminación en el aire ayudan a reducir el impacto medioambiental.



La ciencia nuclear, incluida la energía nucleoelectrica, puede desempeñar un importante papel en la mitigación del cambio climático y la



(Fotografía: A. Nassir Ibrahim/Centro Madani de Capacitación en END)



(Fotografía: FAO/OIEA)



(Fotografía: P. S. Hai/Instituto de Investigaciones Nucleares de Dalat)

adaptación a sus efectos. La energía nucleoelectrica es, junto a la eólica y la hidroeléctrica, una de las tecnologías que permiten generar electricidad con menos emisiones de carbono. El OIEA procura crear conciencia a escala mundial sobre la función de la energía nucleoelectrica en relación con el cambio climático, en particular tratando de que se reconozca adecuadamente el papel que este tipo de energía puede desempeñar y desempeña en los esfuerzos de los países por reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

La energía nucleoelectrica es un pilar importante de las estrategias de mitigación del cambio climático de muchos países, y cada vez son más los que están estudiando la posibilidad de incorporarla a su canasta energética nacional.

La ciencia y la tecnología nucleares pueden desempeñar un papel fundamental en la asistencia a los países para que se adapten a las consecuencias del cambio climático. Con el apoyo del OIEA, el empleo de técnicas nucleares ha permitido mejorar el control de las inundaciones en Filipinas, desarrollar nuevas técnicas de riego en regiones cada vez más áridas de Kenya y crear nuevas variedades de semillas de trigo en el Afganistán que crecen en condiciones medioambientales hostiles.



Los océanos contienen vastos ecosistemas rebosantes de vida marina que son, además, un recurso vital para la gente cuyo medio de subsistencia o de alimentación diaria depende del mar. A fin de proteger y gestionar de manera sostenible los océanos y, a su vez, apoyar a las comunidades costeras, muchos países recurren a técnicas nucleares e isotópicas, con el apoyo del OIEA, para entender y vigilar mejor la salud de los océanos y fenómenos marinos como la acidificación de los océanos o las floraciones de algas nocivas.

El OIEA presta asistencia a los Estados Miembros en el uso de técnicas nucleares para medir la acidificación de los océanos y proporciona información objetiva a científicos, economistas y responsables de la formulación de

políticas para que adopten decisiones fundamentadas.

Las redes de laboratorios nacionales, regionales e internacionales establecidas por conducto de la coordinación del OIEA también constituyen una vía que distintos países tienen a su alcance para la colaboración científica, y son recursos clave para analizar y vigilar los contaminantes marinos.



La desertificación, la degradación de la tierra y la erosión del suelo pueden poner en peligro la vida y los medios de subsistencia. Las técnicas isotópicas permiten realizar una evaluación exacta de la erosión del suelo y ayudan a identificar y a trazar focos críticos de erosión, y son, por lo tanto, un instrumento importante para invertir la degradación de la tierra y restablecer el suelo. Estas técnicas incluyen la utilización de radionucleidos procedentes de la precipitación radiactiva, que ayudan a evaluar el grado de erosión del suelo, y el análisis de isótopos estables de compuestos específicos, que permite identificar el origen del suelo erosionado. Además, el OIEA apoya a los Estados Miembros para que cumplan sus obligaciones en materia de lucha contra la desertificación.

Gracias a la asistencia del Organismo en estos ámbitos, muchos países pueden servirse de estas técnicas para recabar información y definir unas prácticas agrícolas que les permitan utilizar la tierra de una manera más sostenible, lo que, a su vez, contribuirá a aumentar los ingresos y, al mismo tiempo, mejorará los métodos de conservación y la protección de los recursos, los ecosistemas y la biodiversidad.

Agricultores de países en desarrollo como Viet Nam utilizan estas herramientas para identificar la fuente de la erosión del suelo que afecta a sus plantaciones, lo que les permite salvar sus granjas y obtener ingresos adicionales.



Las alianzas con los Estados Miembros son uno de los ejes de las actividades del OIEA. Una estrecha

colaboración entre el OIEA, las organizaciones de las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales y de la sociedad civil contribuye asimismo a maximizar el impacto del apoyo que el OIEA brinda a los Estados Miembros para que estos alcancen sus prioridades de desarrollo.

En 2014, el OIEA prestó apoyo a 131 países y territorios a través de su programa de cooperación técnica. En colaboración con sus asociados, incluida una red mundial de instituciones de recursos regionales y centros colaboradores, el Organismo promueve la formulación de políticas basadas en la ciencia y el acceso a la tecnología y la innovación.

Gracias a alianzas de larga data como, por ejemplo, las existentes con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las organizaciones internacionales pueden combinar sus competencias y recursos en sus respectivos ámbitos especializados y mandatos en apoyo de los Estados Miembros.

A fin de garantizar que la asistencia que el OIEA presta se ajusta a las necesidades y prioridades específicas de sus beneficiarios y es sostenible a largo plazo, las actividades se basan en consultas con los Estados Miembros. Más de 90 Estados Miembros ya disponen de marcos programáticos nacionales en los que se identifican esferas de cooperación con el OIEA para la promoción de sus respectivas prioridades de desarrollo nacionales.

Los Estados Miembros del OIEA también intercambian conocimientos, tecnologías y prácticas óptimas a través de proyectos regionales de cooperación técnica, incluidos acuerdos de cooperación y acuerdos regionales, proyectos coordinados de investigación y proyectos en los que participan los laboratorios especializados del OIEA. El Organismo promueve y facilita la colaboración bilateral, Sur-Sur, subregional y temática entre países, reguladores e instituciones.

# Las técnicas de origen nuclear mejoran la productividad del ganado y la calidad de la leche en el Camerún

Aabha Dixit

Mejorar la producción agrícola y la calidad de la leche y la carne es fundamental para combatir la pobreza y aumentar la seguridad alimentaria en África. Países como el Camerún recurren cada vez más a técnicas innovadoras nucleares y de origen nuclear para controlar y prevenir las enfermedades del ganado y potenciar la producción pecuaria y lechera.

“Las técnicas nucleares son un importante instrumento en casi todos los ámbitos de la zootecnia cuando el objetivo es promover la productividad y la salud de animales domésticos vitales para la economía”, afirma Abel Wade, Jefe del Laboratorio Veterinario Nacional del Camerún (LANAVET). “Nuestro país se verá abocado a una crisis de abastecimiento de productos animales sin precedentes, si no utilizamos todos los medios científicos disponibles a nuestro alcance para garantizar una cría adecuada y aumentar el número de vacas sanas”, añade Wade. Frente a 4,6 millones de cabras y 4 millones de ovejas, el ganado vacuno, con 5,8 millones de reses, constituye la principal actividad ganadera del Camerún; además, se considera un símbolo de riqueza.

Desde principios de la década de 1990, mediante su programa de cooperación técnica, el OIEA ha ayudado al Camerún a utilizar procedimientos nucleares y de origen nuclear, como el radioinmunoanálisis (RIA) y los ensayos de inmunoadsorción enzimática, el diagnóstico molecular y el cribado genético en programas de reproducción y cría, inseminación artificial y control de enfermedades pecuarias. Las técnicas nucleares de inseminación artificial se implantaron en el Camerún hace ocho años. “Sin vacas sanas, no tendremos carne de buena calidad que comer ni leche nutritiva que beber”, dice Wade.

## Centrarse en la productividad

En colaboración con el OIEA, la Organización de las Naciones Unidas

para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el LANAVET y el Instituto de Investigaciones Agrícolas para el Desarrollo del país están capacitando a veterinarios, trabajadores de servicios de extensión veterinaria y criadores en materia de control de enfermedades e inseminación artificial para mejorar la productividad del ganado, la gestión de la cría y el control de la salud de los animales. La inseminación artificial permite a los científicos mejorar la estructura genética de las crías, haciendo que la producción lechera por vaca sea hasta cinco veces mayor, afirma Mario García Podesta, de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura.

La metodología ayuda al personal técnico a mejorar la gestión de la reproducción en las explotaciones ganaderas y a obtener más terneros, carne y leche que con la gestión tradicional de las explotaciones. La administración de progesterona mediante el uso de radioinmunoanálisis en los procedimientos de inseminación artificial permite detectar entre un 20 % y un 40 % de vacas de cría más que con los métodos tradicionales, consistentes en observar signos de comportamiento. Según García Podesta, esto puede dar lugar a que el índice de concepción aumente entre un 5 % y un 50 %, en función de la eficacia del método tradicional utilizado y de la gestión que se haya hecho previamente.

La mejora del ganado también implica el seguimiento y la prevención de enfermedades como la pleuroneumonía contagiosa bovina, la brucelosis, la tuberculosis, la peste de los pequeños rumiantes y la peste porcina africana. Según explica Wade, el LANAVET lleva a cabo labores de vigilancia para detectar enfermedades infecciosas en el norte del Camerún, donde los desplazamientos estacionales de la población y sus animales entre los pastizales de verano y los pastizales de invierno entrañan riesgos para el

ganado. Asimismo, los laboratorios ambulantes que utilizan técnicas isotópicas, nucleares y de origen nuclear también contribuyen a detectar esos riesgos de forma temprana y rápida, lo que permite dar una respuesta eficaz.

## Concienciación

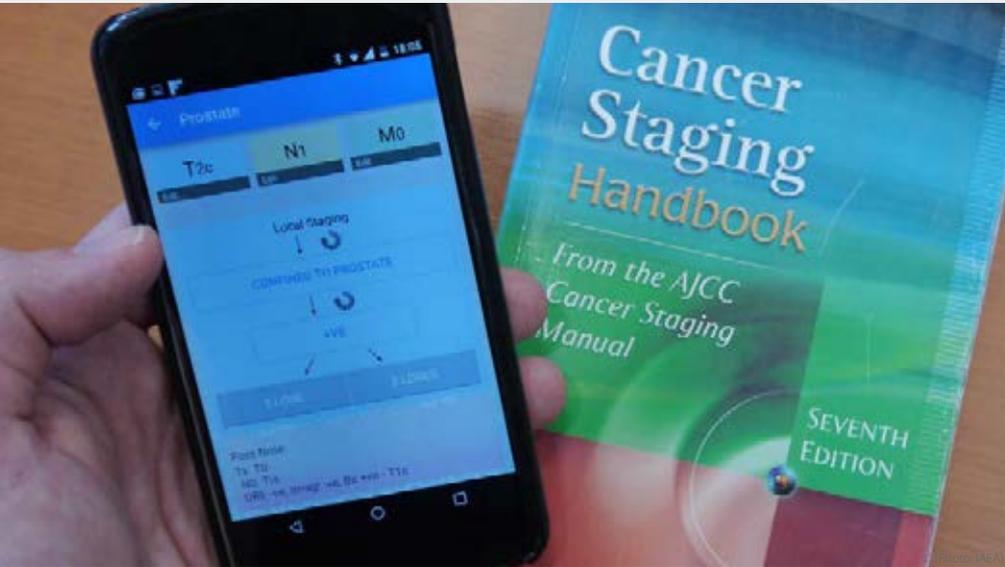
A fin de que los ganaderos de zonas rurales, que utilizan métodos tradicionales de cría de ganado, comprendan mejor cuáles son las ventajas de la inseminación artificial, el centro regional de Bambui del Instituto de Investigaciones Agrícolas para el Desarrollo trabaja directamente con ellos para concienciarlos, y ofrece acceso a los instrumentos necesarios para llevar a cabo procedimientos de inseminación artificial. “Los esfuerzos proactivos del Instituto para lograr convencer a nuestros ganaderos contribuirán a satisfacer la creciente demanda de producción de carne y leche”, afirma Victorine Nsongka, Jefa de la Sección de Producción Pecuaria y Salud Animal del Instituto de Investigaciones Agrícolas para el Desarrollo en Bambui.

Según explica Nsongka, actualmente existe un proyecto conexo en fase de preparación en cuyo marco se inseminará artificialmente a 70 000 vacas en los próximos seis años en el noroeste del Camerún. Esta iniciativa, patrocinada por el Banco Islámico de Desarrollo, también utilizará las técnicas respaldadas por el OIEA y dará lugar a la creación de una red de inseminación artificial y reproducción en la región.

El Gobierno del Camerún lleva a cabo actividades de concienciación para ampliar el apoyo a centros de cría de Benin, Burkina Faso, el Chad y la República Centroafricana, a fin de aumentar el número de animales lecheros inseminándolos artificialmente con el semen de animales de alta calidad genética.

# Nueva aplicación móvil del OIEA sobre estadificación del cáncer para un tratamiento óptimo de la enfermedad

Miklos Gaspar y Omar Yusuf



La determinación del estadio del cáncer con rapidez y exactitud será más fácil para los profesionales sanitarios de países en desarrollo gracias a una aplicación para teléfonos inteligentes desarrollada por el OIEA que se presentó en septiembre de 2015 en la quincuagésima novena reunión ordinaria de la Conferencia General del OIEA.

La estadificación del cáncer es un proceso complejo que conlleva la integración de los resultados de un gran número de pruebas. Partiendo de ese diagnóstico, los médicos deciden qué intervención es la más adecuada: la cirugía, la radioterapia, la quimioterapia o cualquier otro tratamiento.

Según Najat Mokhtar, Directora de la División para Asia y el Pacífico del Departamento de Cooperación Técnica del OIEA, esta nueva aplicación móvil disponible para iPhone y Android, que responde al compromiso del OIEA de crear capacidad en salud humana, además de ser fácil de utilizar y totalmente gratuita, permitirá estadificar el cáncer de forma accesible.

El sistema de estadificación del cáncer, que suele expresarse en etapas que van de la una a la cuatro y que comprenden

varias subetapas, ofrece un lenguaje común a los médicos y facilita el establecimiento de un plan de tratamiento.

Dicho sistema de estadificación, denominado TNM, tiene en cuenta el tamaño y la localización del tumor (T), la diseminación de las células cancerosas a los nódulos linfáticos (N) y las metástasis (M), es decir, si el tumor se ha extendido a otras partes del cuerpo. Cada una de estas variables se determina mediante un complejo sistema, sobre todo cuando el tumor principal y su diseminación se evalúan en todo el cuerpo.

“Esta información estará ahora al alcance de la mano y será mucho más fácil de utilizar con esta aplicación interactiva”, dice Ravi Kashyap, radiólogo de diagnóstico del OIEA. La aplicación funcionará también sin conexión, por lo que los médicos podrán utilizarla en lugares remotos sin acceso a Internet.

Si bien los médicos de los países desarrollados tienen acceso desde hace años a manuales y, a veces, a herramientas informáticas de estadificación, los profesionales sanitarios de muchos países en desarrollo hasta ahora han tenido que

recorrer al manual. “Esta pequeña aportación es un paso importante para acortar las diferencias mundiales de acceso a un tratamiento del cáncer de calidad”, concluye Mokhtar.

## La función del OIEA en el diagnóstico, la estadificación y la planificación del tratamiento

El OIEA contribuye a mejorar el manejo del cáncer en todo el mundo ayudando a los Estados Miembros a elaborar completos programas de control de la enfermedad, poniendo en marcha instalaciones de medicina nuclear, radiooncología y radiología, y respaldando la enseñanza y capacitación del personal médico.

Con la medicina nuclear y las técnicas radiográficas de imagenología, como la tomografía por emisión de positrones (PET)/tomografía computarizada (TC), puede obtenerse información muy valiosa sobre el grado de diseminación de la enfermedad. El conocimiento del estadio del cáncer que se obtiene a partir de estos resultados permite a los médicos establecer un plan de tratamiento adecuado.

Según May Abdel Wahab, Directora de la División de Salud Humana del OIEA, esta nueva aplicación de estadificación es el resultado de utilizar la tecnología para facilitar la difusión de información en apoyo del manejo del cáncer en todo el mundo, y añade que ese acceso a la medicina radiológica para la detección temprana, el diagnóstico y el tratamiento es un paso clave en el manejo de la enfermedad, ámbito en el que el OIEA desempeña un papel fundamental.

El OIEA ha desarrollado la aplicación en colaboración con el Centro Memorial Tata, adscrito al Departamento de Energía Atómica del Gobierno de la India, y con apoyo del proyecto de cooperación técnica del OIEA titulado “Mejora del manejo del cáncer mediante el fortalecimiento del proceso de estadificación del cáncer utilizando la tomografía computarizada”.



Android



iPhone



# International Conference on **NUCLEAR SECURITY:** *Commitments and Actions*

5–9 December 2016  
Vienna, Austria

Ministerial Segment  
5 December 2016



Organized by the



**IAEA**

International Atomic Energy Agency



CN-244