



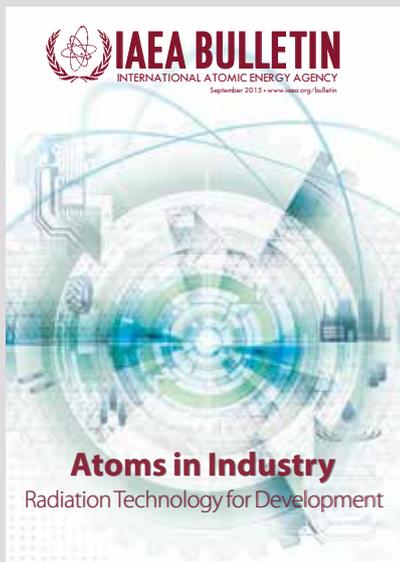
# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Septiembre de 2015 • [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

## Los átomos en la industria

Tecnología de la radiación para el desarrollo



#### 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

Director editorial: Aabha Dixit

Editor colaborador: Nicole Jawerth

Diseño y producción: Ritu Kenn

EL BOLETÍN DEL OIEA está disponible

› en línea, en el sitio [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

› como aplicación móvil, en el sitio

[www.iaea.org/bulletinapp](http://www.iaea.org/bulletinapp)

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, deberá solicitarse permiso para volver a publicar el material 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: A. Schlossman/OIEA

Lea este número en su iPad



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. El OIEA 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 y el medio ambiente.

El OIEA es también la plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear. El OIEA ha creado la Colección de Seguridad Física Nuclear, integrada por publicaciones donde se proporcionan orientaciones sobre seguridad física nuclear aprobadas por consenso internacional. Su labor 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 en relación con todos los tipos de instalaciones y actividades nucleares destinadas a fines pacíficos, así como con las medidas protectoras encaminadas a reducir los riesgos radiológicos existentes.

El OIEA también verifica, mediante su sistema de inspecciones, 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).

# Los átomos en la industria: el apoyo de la tecnología de la radiación al desarrollo

Yukiya Amano, Director General del OIEA

La tecnología industrial de vanguardia cimienta el éxito de las economías fuertes, tanto de países desarrollados como en desarrollo. La ciencia y la tecnología nucleares, en particular, pueden contribuir en gran medida al crecimiento económico y la competitividad, y desempeñan una importante función en pro del desarrollo sostenible. El OIEA contribuye a que la ciencia y la tecnología nucleares estén a disposición de los países para que estos puedan alcanzar objetivos de desarrollo más amplios en esferas como la salud humana, la agricultura, la gestión de los recursos naturales y la protección ambiental. En la presente edición del *Boletín del OIEA* se destacan algunas de las formas en que la tecnología se está utilizando con eficacia en la industria.

Las tecnologías de la radiación son parte de nuestra vida cotidiana. Los edificios, las cañerías, los instrumentos médicos y las piezas de vehículos son solo algunas de las cosas que se tratan y examinan con radiación de manera controlada y segura durante la fabricación. Esos procedimientos aumentan la calidad y la seguridad del producto, en beneficio de fabricantes y consumidores. Como demuestran los artículos de este número del Boletín, las tecnologías de la radiación suelen ofrecer un enfoque más ecológico que las alternativas tradicionales, ya que precisan menos energía y generan menos desechos.

A medida que su población aumenta, los países de ingresos medianos y bajos han de encontrar formas de acelerar su desarrollo industrial para aumentar la producción y satisfacer la demanda de los consumidores de manera sostenible. Las

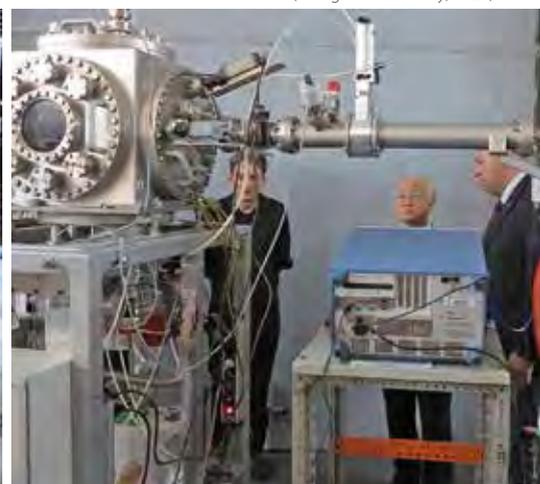
tecnologías nucleares pueden ayudar a que estos procesos sean más rentables, y más seguros para el medio ambiente, y a obtener mejores productos de los que se beneficiará en última instancia la sociedad.



Una parte importante de la labor de OIEA consiste en poner las tecnologías de la radiación al alcance de los Estados Miembros y ayudarlos a que las utilicen con fines pacíficos. Mediante proyectos de cooperación técnica, actividades coordinadas de investigación y reuniones científicas, cientos de expertos y científicos de todo el mundo trabajan conjuntamente para seguir mejorando las tecnologías de la radiación y ponerlas al alcance de la industria. En los últimos años esta cooperación técnica ha estimulado también la cooperación Sur-Sur entre países en desarrollo: Malasia ayuda al Sudán en materia de técnicas de ensayo no destructivo y Viet Nam transfiere tecnología de radiotrazadores a Angola, por citar solo dos ejemplos que se incluyen en este número.

Este año el Foro Científico del OIEA presenta algunas de esas tecnologías y reúne a destacados expertos para analizar las últimas tendencias y las mejores prácticas. Los invito a seguir las reuniones en persona en Viena o en línea en: <https://www.iaea.org/about/policy/gc/gc59/scientific-forum>.

(Fotografías: C. Brady, OIEA)



## 1 Los átomos en la industria: el apoyo de la tecnología de la radiación al desarrollo

### 4 La trascendencia de los átomos en la industria: el Foro Científico del OIEA

La batalla contra los gérmenes (atención sanitaria)



**6 Mejor atención de la salud: Ghana emplea la tecnología de la radiación para esterilizar material médico**

Unir las cadenas (producción de materiales avanzados)



**8 Los apósitos gelatinosos contribuyen a la cicatrización de heridas: Egipto desarrolla hidrogeles mediante polímeros irradiados**



**10 Supercultivos creados en Viet Nam a partir de biopolímeros irradiados**

Soluciones a la contaminación (restauración ambiental)



**12 Los haces de electrones ayudan a la industria eléctrica polaca, centrada en el carbón, a limpiar la atmósfera**



**14 La tecnología de la radiación ayuda a las industrias chinas a descontaminar el agua**

Siguiendo la pista (aumento de la productividad y la fiabilidad de los procesos industriales)



**16 Siguiendo el rastro: la tecnología de trazadores y la búsqueda de petróleo**



**18 Accesibilidad de los puertos: el Brasil se ahorra varios “millones” en costos de dragado gracias a las técnicas nucleares**

Reforzamiento de la seguridad y la calidad (seguridad y gestión de calidad)



**20 Rayos X para la industria: los ensayos no destructivos contribuyen a aumentar la competitividad de Malasia**

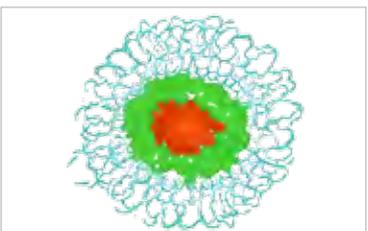


**22 Rentabilización de la minería gracias a la tecnología de la radiación**

Rayos de esperanza (novedades e innovaciones)



**24 El “viejo frágil”: México y Francia salvan con técnicas nucleares una escultura de 2000 años**



**26 Cuando lo diminuto tiene enormes efectos: la radiación ionizante como instrumento para la ingeniería a escala nanométrica**

# La trascendencia de los átomos en la industria: el Foro Científico del OIEA

Luciana Viegas

La industria se ha convertido en algo imprescindible para la vida moderna. En un mundo que viaja cada vez más lejos y con mayor rapidez, donde las ciudades se extienden formando grandes conglomerados, las transacciones comerciales traspasan fronteras y las amistades se mantienen a través de los hilos invisibles de Internet, resulta difícil permanecer ajenos a los productos y procesos industriales a gran escala.

El Foro Científico de este año se centrará en los usos de las tecnologías de la radiación en la industria y en cómo se aplican para controlar la calidad de muchos de los productos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, tales como neumáticos y cables, mejorar la durabilidad de distintos materiales, e incluso sanear aguas residuales. Reconocidos expertos, representantes del sector industrial y académicos se reunirán en Viena (Austria) los días 15 y 16 de septiembre de 2015 paralelamente a la Conferencia General del OIEA con el fin de examinar el gran número de beneficios que ofrecen estas técnicas, especialmente en el contexto del desarrollo sostenible.

El Foro incluirá debates de grupos de alto nivel sobre los siguientes temas:

## La batalla contra los gérmenes

Comenzando con el sector de la salud, el Foro Científico examinará la manera en que la radiación puede matar gérmenes a fin de garantizar la disponibilidad de equipo médico esterilizado para procedimientos que salven vidas, contribuir a la producción de vacunas más eficaces o hacer que los injertos de tejidos sean seguros para los trasplantes.

## Unir las cadenas

Esta sesión se centrará en explorar cómo a través de la radiación se puede hacer que los polímeros —grandes moléculas naturales o sintéticas compuestas por muchas subunidades repetidas— sean más estables, resistentes al calor y durables. Estos versátiles materiales se encuentran en una gran variedad de artículos de uso cotidiano: por ejemplo, cerca del 90 % de los materiales que se utilizan para construir automóviles, aeronaves y ordenadores en todo el mundo contienen polímeros reticulados. Las industrias médica y cosmética también se benefician de estas técnicas, e incluso el sector agrícola, que las emplea en productos que ayudan a acelerar el crecimiento de las plantas.



## Soluciones a la contaminación

La constante expansión de las ciudades y las industrias a gran escala podrían provocar un aumento de la contaminación. En esta sesión se analizará la manera en que se utilizaron con éxito las técnicas de radiación para tratar los contaminantes industriales persistentes e identificar las vías de contaminación. Varios países han empleado técnicas de radiación para evaluar y analizar los procesos ambientales y para tratar aguas residuales y gases de combustión, y en el Foro se pondrán de relieve algunos ejemplos en estas prometedoras esferas.

## Siguiendo la pista

Los radiotrazadores y las sondas nucleónicas contribuyen de manera importante a aumentar la productividad y asegurar la calidad y fiabilidad de los procesos industriales y los sistemas de producción. En esta sesión, los expertos intercambiarán experiencias y analizarán la manera en que estas tecnologías resultan provechosas para las industrias petroquímica y minera, entre otras.

## Reforzamiento de la seguridad y la calidad

Las técnicas de ensayo no destructivo (END), incluidas las técnicas nucleares, se utilizan ampliamente en el sector manufacturero y en la ingeniería de obras civiles. El END es un instrumento de control de calidad que se emplea para analizar la integridad de piezas, maquinaria, edificios y

estructuras a fin de garantizar su seguridad y calidad. En el Foro se estudiarán ejemplos de aplicación de las técnicas de END y se intercambiará información sobre las prácticas óptimas para crear una fuerza de trabajo cualificada que realice de manera eficaz ensayos no destructivos, que en muchos casos podrían resultar vitales, como cuando es necesario examinar con rapidez las grietas y defectos no visibles en estructuras públicas civiles.

## Rayos de esperanza

La tecnología de la radiación ofrece enormes oportunidades para el futuro de la industria, y la última sesión del Foro se centrará en las novedades más recientes, en particular en las esferas de la ingeniería a escala nanométrica, la salud, la alimentación y la agricultura, así como en la protección y preservación del patrimonio cultural.

El Foro concluirá con un debate abierto sobre el valor añadido de las técnicas nucleares en apoyo a las actividades de desarrollo, y brindará a los países la oportunidad de que compartan sus experiencias y reciban más información sobre los servicios que presta el OIEA en esa esfera.

Para obtener más información y ver el último orden del día, sírvase consultar la página: <https://www.iaea.org/about/policy/gc/gc59/scientific-forum>. Esta página se actualizará periódicamente durante el evento con los resúmenes de las sesiones.



(Fotografías: OIEA)



# Mejor atención de la salud: Ghana emplea la tecnología de la radiación para esterilizar material médico

Aabha Dixit

Las infecciones que se contraen por el uso de material médico mal esterilizado constituyen un gran obstáculo para la prestación de atención sanitaria segura, y con frecuencia tienen consecuencias nefastas para los pacientes. En muchos países la tecnología de la radiación desempeña un papel importante en lo que respecta a garantizar que el material médico sea más seguro. “El uso de aplicaciones nucleares, tales como la exposición de material médico a la radiación gamma, ayuda a Ghana a proteger a las personas contra enfermedades evitables que podrían aparecer si objetos como las jeringas no están debidamente esterilizados”, declara Abraham Adu-Gyamfi, Gerente del Centro de Tecnología de las Radiaciones del Instituto de Investigación en Biotecnología y Agricultura Nuclear de la Comisión de Energía Atómica de Ghana en Accra.

“Nuestro país reconoció el enorme potencial y la utilidad de la tecnología de tratamiento por radiación para el desarrollo en diversas esferas, y en especial en el sector médico para mejorar la atención de salud. Por esa razón, Ghana tenía gran interés en contar con esta tecnología”, agrega Adu-Gyamfi. La tecnología de la radiación ha mejorado la calidad higiénica de los materiales médicos, explica Adu-Gyamfi, especialmente de los artículos de plástico, que son difíciles de esterilizar mediante el calor y otros métodos convencionales (véase el recuadro).

## Abraham Adu-Gyamfi (centro) con un grupo de técnicos en la instalación de irradiación gamma.

(Fotografía: Centro de Tecnología de las Radiaciones de Ghana)



## Una breve exposición basta para eliminar virus y bacterias

Con el apoyo del OIEA, Ghana realiza esfuerzos por mejorar sus sistemas de atención de salud garantizando suministros médicos seguros mediante el uso de la ciencia y la tecnología nucleares modernas, señala Sunil Sabharwal, especialista en tratamientos por radiación del OIEA, quien afirma que la radiación gamma desempeña un papel decisivo en el abastecimiento rápido, efectivo y asequible de material médico esterilizado y envasado.

La esterilización reduce la presencia de microorganismos, tales como hongos, bacterias, virus y otros posibles patógenos. En la actualidad, la radiación de alta energía es el método considerado más efectivo para esterilizar material médico, indica Sabharwal. Es un “proceso limpio y eficaz” dado que no deja ningún tipo de residuo en los objetos una vez terminado el tratamiento. Los rayos gamma pueden penetrar completamente el material de manera uniforme, incluso en los objetos envasados, sin que esto produzca un aumento significativo de la temperatura, agrega. Tras la esterilización, el material puede utilizarse de inmediato, sin necesidad de pasar un período de cuarentena.

## Mejora de la calidad higiénica del material médico mediante la radiación gamma

La Comisión de Energía Atómica de Ghana (GAEC) brinda servicios de irradiación a 15 hospitales y clínicas y a cuatro compañías con un irradiador de cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Entre los materiales irradiados se cuentan:

- material médico desechable como gasas, jeringas, algodón, material de sutura, agujas de jeringas;
- catéteres, kits de infusión intravenosa y fluidos;
- indumentaria quirúrgica (batas, casquetes, botas) y sábanas;
- injertos de tejidos;
- equipo hospitalario reutilizable, como bisturíes, tijeras y recipientes, y
- material farmacéutico.

## Asistencia a países vecinos

La instalación de irradiación gamma ubicada en el GAEC también ofrece asistencia a otros países de África occidental, entre ellos, Nigeria, Côte d'Ivoire y el Níger, brindándoles servicios y capacitación en materia de irradiación. Los países también cooperan en varios otros ámbitos de actividad, como la sensibilización de funcionarios gubernamentales y del público en general sobre la tecnología, señala Adu-Gyamfi.

Estas actividades también han ayudado a aclarar malentendidos acerca del uso de la tecnología nuclear en general, añade.

## Conocer las necesidades del país

Ghana se ha venido beneficiando de la asistencia mediante proyectos del OIEA desde 1970. El país recibió la primera y única instalación de irradiación con cobalto 60 en 1994. Expertos del OIEA han impartido capacitación a científicos, operadores y técnicos ghaneses sobre el uso seguro del irradiador de cobalto 60. “La transferencia de conocimientos y la capacitación en la aplicación de las normas internacionales para la validación, el control de procesos y la monitorización rutinaria de la radioesterilización de material sanitario exigen un plan de acción bien concebido y hecho a medida que se ajuste a las necesidades de cada país”, dice Sabharwal.

La instalación de irradiación fue objeto de renovación en 2010 y dos años más tarde se le aplicaron más requisitos de control de calidad del OIEA. Estos pasos han permitido garantizar el cumplimiento con todas las normas y procedimientos internacionales necesarios para su utilización, señala Adu-Gyamfi.



### Artículos esterilizados listos para su distribución.

(Fotografía: Centro de Tecnología de las Radiaciones de Ghana)

Para poder llegar a la mayor cantidad de pacientes posible, Adu-Gyamfi y sus colegas trabajan con hospitales de todo el país. “El apoyo del OIEA contribuye a crear capacidad técnica a escala nacional, pero lo que tenemos que hacer es transferir los conocimientos y las destrezas adquiridos para ayudar a nuestra gente a nivel local”.

## BASE CIENTÍFICA

### Esterilización de material sanitario por medio de la radiación gamma

La radiación gamma, también conocida como rayos gamma, es la radiación electromagnética de frecuencia extremadamente alta. La radiación gamma resulta muy eficaz para prevenir la proliferación de microorganismos, tales como los virus y las bacterias. Esto se logra dañando las moléculas de ADN que se encuentran en las células de esos microorganismos, impidiendo que las células se dividan.

Estas ondas electromagnéticas de alta energía pueden traspasar con facilidad el envoltorio de plástico precintado de materiales

médicos como las jeringas, los kits de infusión intravenosa y materiales similares.

La radiación gamma es emitida por un radioisótopo, normalmente el cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ) o el cesio 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ). Mientras el material irradiado permanezca dentro de un envoltorio de plástico precintado, estará protegido de virus y bacterias. El proceso de irradiación gamma no deja residuos ni transmite radiactividad a los materiales tratados.

# Los apósitos gelatinosos contribuyen a la cicatrización de heridas: Egipto desarrolla hidrogeles mediante polímeros irradiados

Aabha Dixit

Los pacientes con quemaduras, úlceras cutáneas y escaras de decúbito pueden encontrar alivio utilizando un singular material gelatinoso, el hidrogel, que está cobrando cada vez más importancia en el proceso de cicatrización de ese tipo de heridas. La tecnología nuclear ha sido decisiva en el desarrollo de los hidrogeles, que desempeñan un importante papel en el tratamiento de las heridas en muchos países de ingresos medianos y bajos, entre ellos Egipto.

Ese excepcional apósito de gel se utiliza cada vez más en todas partes para “calmar” las heridas y reducir los dolorosos efectos de las quemaduras y otras lesiones. Las heridas de los pacientes diabéticos se curan mucho más rápido y mejor que con los apósitos tradicionales, afirma El-Sayed A. Hegazy, Profesor Emérito y antiguo Presidente del Centro Nacional de Investigación y Tecnología de las Radiaciones de Egipto (NCRRT), única instalación del país en que se producen hidrogeles.



**Los apósitos de hidrogel pueden utilizarse en heridas.**

(Fotografía: S. Henriques/OIEA)

“El hidrogel tiene un efecto muy agradable y alivia el dolor. Disminuye el grado de daño tisular provocado por la lesión; es transparente, por lo que el médico puede vigilar la herida, y reduce a la mitad el tiempo de recuperación, pero lo más importante es que ayuda a que se regenere piel nueva sin dejar cicatrices”, explica Hegazy.

## Los hidrogeles de origen nuclear son inocuos para las personas

La ciencia en que se basa la elaboración de hidrogeles es compleja pero se conoce bien, afirma Ghada Adel Mahmoud, profesora de radioquímica en el NCRRT. “En la formación de hidrogeles se utilizan cadenas de polímeros reticulados y esterilizados mediante rayos gamma o haces de electrones”, prosigue Mahmoud. Los polímeros se mezclan en agua, se introducen en moldes o tubos, se envasan, se precintan y, a continuación, se reticulan y esterilizan exponiéndolos a la radiación. De esta forma los polímeros se enlazan para formar un gel que es denso, maleable y transparente.

Agnes Safrany, radioquímica en el OIEA, explica que los hidrogeles empleados como apósitos para heridas contienen entre un 70 % y un 95 % de agua y son biocompatibles. No se adhieren a la herida, la mantienen hidratada para que cicatrice, absorbe sus supuraciones y son, además, fáciles de almacenar y utilizar.

Los hidrogeles desempeñan también una función decisiva en la administración del medicamento en el lugar exacto del cuerpo humano sin dañar otras zonas. En el caso de medicamentos orales, se utilizan como barrera para proteger la mucosa gástrica de los fármacos que irritan el estómago o para proteger los fármacos ácido-lábiles del ambiente hostil del estómago. Se están realizando investigaciones en este ámbito, explica Mahmoud.

Los investigadores están considerando la posibilidad de utilizar también nanohidrogeles en tratamientos de quimioterapia porque estos circulan directamente por el torrente sanguíneo hasta el tumor sin afectar al resto del cuerpo, afirma Safrany.

## Las aplicaciones nucleares avanzadas benefician al sector de la salud

El OIEA ha prestado apoyo a una serie de países a través de proyectos específicos y ajustados a sus necesidades, destinados a fomentar la concienciación y capacitar a científicos y



**Aplicación de un apósito de hidrogel en un paciente.**

(Fotografía: S. Henriques/OIEA)

técnicos en la elaboración de hidrogeles mediante tecnología nuclear. “Egipto es beneficiario de esa ayuda. Actualmente se están llevando a cabo mejoras en una unidad de haz de electrones en el NCRRT para satisfacer la creciente demanda de producción de hidrogeles”, afirma Hegazy.

Las técnicas nucleares utilizadas en la creación de hidrogeles se conocen desde hace más de 30 años y la producción de estos es sencilla y rentable, añade Mahmoud.

El OIEA respaldó el establecimiento de un laboratorio para evaluar la utilización de polímeros en el desarrollo de hidrogeles. La investigación comprende el examen de las características de los polímeros, como su resistencia, su grado de dilatación, la cantidad necesaria de fármaco y su liberación cuando se utiliza en hidrogeles, así como su posible toxicidad y estabilidad a largo plazo.

Tras las investigaciones de laboratorio, el NCRRT solicitó y recibió una licencia del Ministerio de Salud de Egipto para la preparación y la distribución de apósitos de hidrogel, agrega Hegazy.

Asimismo, Egipto ha transferido a otros países de la región el conocimiento y la experiencia que ha adquirido a través del OIEA. Los hidrogeles han sido de gran ayuda para muchos pacientes con quemaduras graves, y un mayor número de países debería utilizarlos, prosigue Hegazy.

El NCRRT forma parte del Organismo de Energía Atómica de Egipto, la principal institución del país en lo que respecta a la promoción de las aplicaciones pacíficas de la ciencia y la tecnología nucleares en casi todos los aspectos de la vida humana en el país.

Con la ayuda del OIEA, el desarrollo de productos tratados con radiación procedentes de polímeros naturales como la quitina (incluido el quitosano, derivado de la quitina que se utiliza en aplicaciones de atención sanitaria; véase el recuadro de la página 11) ha ampliado considerablemente el uso de la tecnología nuclear en el sector médico de Egipto.

## Los muchos usos de los apósitos de hidrogel

Los apósitos de hidrogel producidos con tecnología de las radiaciones tienen las siguientes ventajas médicas:

- son una eficaz barrera contra bacterias, y también contra pérdidas excesivas de fluidos corporales;
- permiten que la herida se oxigene;
- son suaves y elásticos, pero resistentes;
- se adhieren bien a la herida y a la piel sana, sin ser demasiado pegajosos;
- son transparentes, de modo que los profesionales de la salud pueden ver la herida;

- permiten tratar fácilmente la herida con fármacos;
- absorben los líquidos que produce el cuerpo en respuesta a daños tisulares y toxinas bacterianas;
- no provocan reacciones alérgicas;
- calman el dolor y favorecen la cicatrización óptima de la herida, y
- son estériles y de fácil uso.

(Fuente: [mitr.p.lodz.pl/biomas/old\\_site/dress.html](http://mitr.p.lodz.pl/biomas/old_site/dress.html))

# Supercultivos creados en Viet Nam a partir de biopolímeros irradiados

Sasha Henriques

Con objeto de aumentar el rendimiento y de eliminar enfermedades, actualmente los agricultores de Viet Nam alimentan sus plantas con oligoquitosano y oligoalginato, sustancias elaboradas a partir de biopolímeros irradiados.

Y funciona.

El oligoquitosano y el oligoalginato se obtienen del caparazón de los camarones y las algas pardas respectivamente. Estos y otros biopolímeros, como la fécula de sagú, el almidón de yuca y el aceite de palma, se exponen en entornos controlados a dosis precisas de radiación, que modifican su estructura molecular y los dotan de propiedades que mejoran las plantas. Los productos resultantes no son radiactivos, y son biodegradables y no tóxicos.

El oligoquitosano, un líquido de color amarillo intenso fabricado por el Instituto de Energía Atómica de Viet Nam (Vinatom), casi ha eliminado la utilización de funguicidas nocivos en la agricultura en todo el país,



**El polímero quitosano (arriba) se encuentra en el caparazón de los camarones. Se usa para fabricar rociadores y aditivos que previenen y curan enfermedades de las plantas y promueven su crecimiento.**

(Fotografía: S. Henriques/OIEA)

indica Nguyen Quoc Hien, del Centro de Investigación y Desarrollo para la Tecnología de las Radiaciones del Vinatom. “Protege las plantas frente a las infecciones fúngicas y bacterianas, por lo que elimina las enfermedades. También detiene la propagación del virus del mosaico del tabaco, una enfermedad que infecta a bastantes más de 350 especies de plantas diferentes, no solo al tabaco”.

Hien afirma que las plantas tratadas con oligoalginato, que tiene el color marrón oscuro de la melaza, crecen más rápido y alcanzan un tamaño hasta el 56 % mayor que las plantas no tratadas. Una gota de oligoquitosano líquido disuelta en un litro de agua puede usarse para prevenir enfermedades en plantas y aumentar considerablemente su ritmo de crecimiento.

La generalización del uso de productos no tóxicos como el oligoquitosano, que no dejan residuos nocivos, es en última instancia mejor para los consumidores y genera más posibilidades para las exportaciones agrícolas nacionales. El oligoquitosano incluso puede aumentar el tiempo de conservación de frutas como el mango y la naranja, dado que las mantiene firmes y atractivas para los consumidores durante más tiempo. El oligoquitosano y los productos conexos, como las nanopartículas de oro y plata, que se elaboran a partir de los mismos polímeros de base, pero se les añaden partículas de oro o plata antes de la irradiación, tienen otras aplicaciones diversas. Se pueden añadir al alimento que se da a los peces, pollos y camarones de cría para mejorar su sistema inmunitario y aumentar sus probabilidades de supervivencia y su propensión a ganar peso. Asimismo, se pueden emplear para limpiar el agua en acuicultura y para matar bacterias cuando se produzca una infección.

## Superabsorbentes de agua

El almidón de yuca es otro biopolímero que se usa para crear productos que mejoran la productividad agrícola. La yuca, una raíz comestible, es el material de base para fabricar superabsorbentes de agua, que pueden absorber una cantidad increíble de humedad y liberarla poco a poco a lo largo del tiempo hacia las raíces de las plantas cercanas. Los superabsorbentes de agua tienen un aspecto y un tacto muy similares a los de los cristales de azúcar, pero, cuando se encuentran en presencia de agua (o abono líquido) y la absorben, se expanden: un grano se vuelve tan grande como una uña del dedo meñique de tamaño medio.

Los superabsorbentes de agua sometidos a tratamiento por radiación resultan especialmente útiles para la agricultura en zonas áridas donde las lluvias son escasas o los períodos de sequía son frecuentes.

Cuando se coloca en el suelo cerca de las raíces de las plantas, 1 kg de cristales de superabsorbentes de agua puede absorber y almacenar 200 litros de agua de lluvia y de riego. La liberación lenta de agua o abono hacia las plantas reduce los desechos y la contaminación de los cursos de agua, y ahorra dinero a los agricultores. A los nueve meses, los cristales de superabsorbentes de agua se desintegran sin dejar residuos y sin efectos secundarios nocivos para el entorno circundante.

En Viet Nam, los superabsorbentes de agua fabricados por el Vinatom se emplean en las plantaciones de caucho y los jardines particulares y también se exportan a Australia, donde se usan en la agricultura a gran escala de cultivos comerciales de gran valor. Los agricultores usan entre 30 y 60 kg de superabsorbente de agua por hectárea.



**Nguyen Van Dong vende superabsorbentes de agua en su cadena de supermercados en todo Viet Nam. También los usa para reducir el tiempo de riego y la cantidad de agua empleada en el jardín de su azotea.**

(Fotografía: S. Henriques/OIEA)

## BASE CIENTÍFICA

### ¿Qué son los biopolímeros?

Los biopolímeros son grandes moléculas formadas por largas cadenas de bloques repetidos de átomos. Se encuentran en la naturaleza: la celulosa de las plantas y los árboles y el almidón del pan, el maíz y las patatas son polímeros; tanto el caparazón de los camarones, los cangrejos y otros crustáceos como las algas contienen polímeros.

Estos y otros biopolímeros son perfectos para fabricar nuevos materiales porque son abundantes, económicos, biodegradables y renovables y están disponibles a escala local. También tienen propiedades inherentes destacadas. Por ejemplo, la quitina es un impermeable natural y es dura, pero flexible.

Los productos que se elaboran a partir de biopolímeros se usan en medicina, agricultura, protección ambiental y cosmética y tienen distintas aplicaciones industriales.

### Ventajas del tratamiento de biopolímeros por radiación

El tratamiento por radiación se usa para romper los enlaces químicos y crear otros nuevos, lo que permite rediseñar los biopolímeros a nivel molecular para que cumplan una determinada función.

Ese proceso, durante el cual se exponen a radiación ionizante materiales originados a partir de biopolímeros, puede modificar sus propiedades químicas, físicas y biológicas sin que sea necesario someterlos a procesamiento químico adicional y sin volverlos radiactivos.

El tratamiento por radiación presenta varias ventajas respecto de los métodos químicos convencionales para desarrollar y fabricar nuevos materiales y productos. Es más sencillo y más rápido, más preciso y mucho más limpio, dado que modifica la estructura molecular de los materiales sin necesidad de catalizadores químicos ni condiciones físicas extremas, como temperaturas elevadas y presiones inmensas; en él, ni se usan sustancias químicas tóxicas ni se generan vapores nocivos, explica Agnes Safrany, radioquímica del OIEA.

El OIEA colabora con Estados Miembros de todo el mundo para promover la adopción, la fabricación y la utilización de polímeros biodegradables no tóxicos derivados de plantas y animales.

# Los haces de electrones ayudan a la industria eléctrica polaca, centrada en el carbón, a limpiar la atmósfera

Nicole Jawerth

Se espera que la tecnología de la radiación desempeñe un papel cada vez más importante en Polonia y otros países en la limpieza de la contaminación atmosférica para cumplir los requisitos normativos y proteger el medio ambiente.

En el marco de un proyecto realizado en Polonia con el apoyo del OIEA, se ha ayudado al país a construir una instalación completa de acelerador de haces de electrones para tratar los gases de combustión provenientes de las centrales termoeléctricas de carbón, lo que ha reducido considerablemente las emisiones de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos aromáticos policíclicos, que amenazan la salud humana, dañan el medio ambiente y pueden dar lugar a pérdidas económicas. Los contaminantes ácidos presentes en la atmósfera también pueden desplazarse a otros países mediante la lluvia ácida.

Tras los resultados logrados en Polonia en el tratamiento de los gases de combustión que producen las centrales eléctricas, en la actualidad otros países colaboran con el OIEA para servirse de la experiencia de Polonia y adquirir las aptitudes necesarias para adoptar y aprovechar este dispositivo de uso controlado de electrones.

“Polonia genera el 90 % de su electricidad por combustión de carbón. Por tanto, la contaminación atmosférica es un problema grave y el país debe cumplir los reglamentos relativos a su control”, afirma Lech Sobolewski, Ingeniero Jefe encargado de la construcción y el funcionamiento de la instalación de depuración por haces de electrones, construida con el apoyo del OIEA, de la central eléctrica de Pomorzany. “Es importante que lo haga, dado que la Unión Europea introducirá reglamentos más estrictos en 2016”.

## Limitación de las emisiones

Polonia y el OIEA colaboraron para preparar un proyecto modelo en 1992 a fin de evaluar la eficacia de los aceleradores de haces de electrones, unas máquinas que producen haces de radiación electrónica, para depurar los gases de combustión (véase el recuadro). Como el modelo resultó satisfactorio, Polonia, el OIEA y sus asociados construyeron una instalación completa en 2002 que tenía una capacidad 15 veces mayor que la de la planta piloto. Esta instalación de tratamiento por haces de electrones logra eliminar hasta el 95 % del dióxido

de azufre (SO<sub>2</sub>) y el 70 % de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) presentes en los gases de combustión, de modo que las centrales termoeléctricas de carbón pueden cumplir los límites de emisiones. El subproducto que se genera en el proceso es un abono de alta calidad que se usa en agricultura.

“Los aceleradores de haces de electrones son una tecnología de tratamiento de varios contaminantes; con ninguna otra se logran resultados similares”, indica Sobolewski. Las tecnologías tradicionales que se sirven de diversos procesos físico-químicos son igual de eficaces en la eliminación de los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, pero hacen necesaria la construcción de dos instalaciones distintas; consumen grandes cantidades de agua; usan un catalizador tóxico dopado con metales, y generan una cantidad considerable de desechos que deben almacenarse y tratarse.

“Por lo general, la instalación y utilización de la tecnología convencional son más costosas y se necesitan métodos especiales para eliminar los desechos o usarlos con otros fines”, explica Andrzej Chmielewski, Director General del Instituto de Química y Tecnología Nucleares de Polonia. “Los aceleradores de haces de electrones son una tecnología ecológica eficaz que funciona. Sin embargo, son dispositivos de alta potencia enormes, lo que plantea problemas. Por ello, debemos seguir trabajando para desarrollar dispositivos más fiables que sean más fáciles de mantener. El OIEA puede desempeñar una función importante en el desarrollo de ese equipo mediante la prestación de apoyo científico y técnico”.

## Establecimiento lento, pero eficaz

El uso de electrones para tratar los gases de combustión no es una idea nueva. Esa tecnología se desarrolló en el Japón en la década de 1970, pero, dado que su establecimiento a escala industrial fue lento, en muchas centrales termoeléctricas de carbón más antiguas se instalaron otros dispositivos de depuración más costosos. No obstante, a pesar de que inicialmente los avances fueron lentos en la industria, en la actualidad varios países están aplicando activamente esta tecnología para aprovechar sus ventajas.

Los proyectos industriales de Polonia, tanto el piloto como el completo, son una fuente de orientación y conocimientos que aprovechan otros países mediante los proyectos coordinados



de investigación y los proyectos de cooperación técnica, las publicaciones y las visitas científicas del OIEA. “Hasta la fecha, se ha formado a más de 30 becarios y más de 150 personas han participado en visitas científicas y reuniones técnicas. En la actualidad, aplican en sus centrales eléctricas la experiencia adquirida para reducir las emisiones y hacer que las instalaciones sean más respetuosas con el medio ambiente”, indica Sobolewski.

Se han construido plantas piloto en Bulgaria, China, Corea del Sur, Malasia, Rusia y Turquía. El Brasil, Chile, Filipinas y Ucrania también están estudiando la posibilidad de realizar transferencias de tecnología, mientras que se han realizado

pruebas de laboratorio preliminares con sistemas de combustión de petróleo pesado de la Arabia Saudita y Dinamarca.

“La introducción de esta nueva tecnología afecta considerablemente a la manera en que se crean y perfeccionan sistemas de vigilancia y control de la contaminación en la industria eléctrica”, dice Sobolewski. Además, añade que ahora que se ha demostrado que los haces de electrones funcionan en condiciones industriales difíciles, algunos países como Corea del Sur y Rusia estaban fabricando aceleradores nuevos de mayor tamaño. “La tendencia a usar aceleradores se sigue extendiendo por todo el mundo”.

## BASE CIENTÍFICA

### Depuración en seco con haces de electrones

Antes de que los gases de combustión que producen las centrales eléctricas salgan por la chimenea de la central, se someten a un proceso de “limpieza” denominado “depuración en seco con haces de electrones”.

Durante ese proceso, los gases se enfrían con un rociador de agua hasta que alcanzan entre 70°C y 90°C y luego se desvían a una cámara de reacción. En ella, los gases rociados se exponen a radiación de electrones de baja energía proveniente de un acelerador, que funciona de forma similar a

los tubos de los televisores antiguos. A continuación se añade amoníaco para neutralizar el SO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub>, lo que hace que se modifique su forma química y pasen a ser aerosoles sólidos. Una máquina de alto rendimiento reúne y filtra esas partículas pegajosas y las transforma en abono de alta calidad. Los gases “limpios” restantes salen por la chimenea.

Aunque se emplee la radiación para tratar los gases, no queda radiación residual ni en el gas depurado ni en el abono resultante.

# La tecnología de la radiación ayuda a las industrias chinas a descontaminar el agua

Nicole Jawerth

China se está interesando por la utilización de la tecnología de la radiación como parte de sus métodos de tratamiento de aguas residuales, con objeto de impulsar los esfuerzos para gestionar los desechos industriales de manera respetuosa con el medio ambiente.

“Es muy importante tratar el agua proveniente de nuestras industrias, por lo que llevamos mucho tiempo haciéndolo. Ahora queremos mejorar en la tarea de que quede más limpia”, indica Jianlong Wang, Vicepresidente del Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear y de las Nuevas Energías de la Universidad de Tsinghua (Beijing). “Estamos recibiendo mucho apoyo del OIEA para usar las tecnologías de haces de electrones a fin de que nos ayuden a eliminar diversos contaminantes del agua que los otros métodos, por sí solos, no pueden erradicar”.

Los aceleradores de haces de electrones son máquinas que producen haces de radiación electrónica que pueden utilizarse para depurar las aguas residuales, entre otras cosas (véase el recuadro). Las aguas residuales son aguas que se han visto afectadas por su empleo en actividades humanas, por ejemplo para fines industriales o agrícolas.

Las aguas residuales industriales pueden contener distintas sustancias, como plaguicidas, materia orgánica, productos químicos y colorantes. Estas pueden ser perjudiciales y, en

algunos casos, muy tóxicas. Antes de dar salida a esas aguas o de reutilizarlas, deben tratarse para reducir al mínimo la cantidad que contienen de esas sustancias, a fin de impedir que pasen a las aguas superficiales y subterráneas.

China lleva varios decenios depurando sus aguas residuales con métodos de tratamiento convencionales en que se usan procesos físicos y sustancias químicas. Shijun He, Profesor Asociado del Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear y de las Nuevas Energías, dice que, para cumplir con sus políticas de ahorro energético y conservación ambiental, cada vez más estrictas, China está tratando de ampliar el uso de la tecnología de la radiación para eliminar sustancias nocivas presentes en las aguas residuales, como cianuro, aceites y grasas y colorantes, entre otras cosas.

Sunil Sabharwal, especialista en tratamiento con radiaciones del OIEA, añade que los procesos convencionales son complicados e ineficaces y resultan costosos si se usan solos.

“Los aceleradores de haces de electrones pueden ser una manera muy eficaz y rentable de tratar las aguas residuales”, indica Sabharwal. Asimismo, explica que se necesitan distintos métodos de tratamiento para diferentes tipos de contaminantes y que al combinar la tecnología de la radiación con otras técnicas se pueden eliminar diversos contaminantes y se puede descomponer la materia orgánica más eficazmente, además de que no se origina contaminación secundaria y se necesitan muy pocas sustancias químicas adicionales, o ninguna.

## Colaboración intersectorial

“China está adoptando un enfoque múltiple del tratamiento de aguas residuales y colabora con diversos asociados de los sectores privado y público, entre los que se encuentra el OIEA, para ampliar los conocimientos especializados sobre tecnología de la radiación en combinación con otros métodos”, afirma Kenneth Hsiao, Presidente de Jiangsu Dasheng Electron Accelerator Device Co., Ltd., en Jiangsu (China).

Junto con el OIEA, China se está centrando en las formas de usar la irradiación con haces de electrones para tratar específicamente tipos concretos de contaminantes y demostrar la eficacia de esos instrumentos de radiación a fin de que en el futuro se adopten a una escala mayor y más amplia, explica Massoud Malek, oficial de administración de programas del OIEA que trabaja con China.



**La cámara de barrido con haces de electrones es el lugar en que las aguas residuales se irradian con haces de electrones de alta energía.**

(Fotografía: Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear y de las Nuevas Energías/Dasheng)



**El agua se expulsa a medida que se somete a tratamiento para eliminar contaminantes nocivos y colores y olores indeseados.**

(Fotografía: Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear y de las Nuevas Energías/Dasheng)

“El OIEA viene apoyando a China en el perfeccionamiento de la irradiación con haces de electrones para tratar las aguas residuales, eliminar determinados contaminantes y contribuir a asegurar que los recursos hídricos se mantengan limpios e inocuos”, dice Malek.

### De un país a otro

El agua no entiende de fronteras, por lo que son fundamentales la cooperación internacional y los métodos de tratamiento en el plano nacional eficaces, afirma Malek. “Si las aguas residuales contaminadas llegan a una fuente de agua superficial o subterránea, los contaminantes pueden propagarse a otros lugares por medio de los recursos hídricos compartidos y de la lluvia. Por tanto, es importante depurar el agua antes de darle salida”.

Los estudios como los proyectos que el OIEA realiza en China pueden contribuir a promover la investigación y el desarrollo de estas tecnologías y mostrar a otros países cómo pueden adoptarlas y utilizarlas. En este caso, brindan a las industrias medios apropiados para descontaminar los resultados de sus actividades y fortalecen todavía más los esfuerzos de protección ambiental.

“Hasta la fecha se han realizado pocos proyectos de este tipo, por lo que el de China con el OIEA puede ofrecer competencia profesional y conocimientos a otros países e industrias para que adopten y utilicen esos instrumentos”, indica Malek. “Cuanto más industrias perfeccionen sus métodos de tratamiento de aguas residuales, más limpia estará el agua, lo que nos ayudará a proteger el medio ambiente, a las personas y los recursos hídricos a nivel mundial”.

## BASE CIENTÍFICA

### Tratamiento de aguas residuales con aceleradores de haces de electrones

Los haces de electrones de alta energía que producen los aceleradores de haces de electrones pueden usarse para tratar las aguas residuales: reducen al mínimo los contaminantes nocivos y eliminan colores y olores indeseados.

Durante el proceso de tratamiento, el agua atraviesa una cámara que se expone a radiación ionizante proveniente

del acelerador. Así, se producen reacciones químicas en los contaminantes, que los descomponen en fragmentos más fáciles de gestionar y de tratar. A continuación, el agua se somete a un tratamiento de biodegradación que degrada estos componentes todavía más antes de dar salida al agua tratada o de reutilizarla. Con este método, el agua no se vuelve radiactiva ni queda radiación residual.

# Siguiendo el rastro: la tecnología de trazadores y la búsqueda de petróleo

Joe Rollwagen



**Típica plataforma petrolífera en el mar del Norte donde podrían emplearse radiotrazadores para cartografiar el fondo marino.**

(Fotografía: M. Bengtsson/  
wikimedia.org/CC BY 3.0)

Desde que en la década de 1970 se encontró petróleo por primera vez frente a las costas de Noruega, la economía del país ha experimentado un enorme crecimiento. A fin de mantener la eficiencia de la producción a largo plazo, Noruega se ha servido ampliamente de las técnicas nucleares.

Los trazadores nucleares se utilizan para ayudar a optimizar la producción de petróleo mediante el trazado de mapas de los yacimientos petrolíferos submarinos. Según Tor Bjørnstad, Científico Jefe del Instituto de Tecnología de la Energía en Kjeller (Noruega), antes de comenzar a utilizar los trazadores nucleares, los científicos dependían de la cartografía sísmica, que aportaba datos menos precisos.

“Un trazador te dice exactamente lo que ve, lo que permite optimizar el proceso”, señala Bjørnstad.

En la actualidad, el instituto utiliza la tecnología de trazadores en más de 30 pozos distintos y recoge muestras de otros cientos.

## Conocimiento de los yacimientos petrolíferos

Una pequeña cantidad de material radiactivo se mezcla con el agua o el gas que se inyecta en los pozos de petróleo — aproximadamente 5 ml en el caso de los trazadores solubles en agua. Posteriormente se recogen muestras del suelo

de varios pozos de esa zona, y si se detecta el trazador en múltiples muestras, esto quiere decir que los pozos están conectados y que el petróleo procede del mismo yacimiento (véase el recuadro). Los pozos en los que no se detecta ningún radiotrazador están separados por líneas de falla bajo el lecho marino. Es fundamental conocer la extensión de distintos yacimientos petrolíferos para determinar cómo extraer petróleo de una forma más económica.

La construcción de un pozo tiene un costo superior a 500 millones de coronas (62,5 millones de dólares de los Estados Unidos). Por tanto, ha sido tremendamente ventajoso utilizar la tecnología de trazadores, ya que es precisa y su impacto ambiental es mínimo, explica Bjørnstad.

## Impacto ambiental mínimo

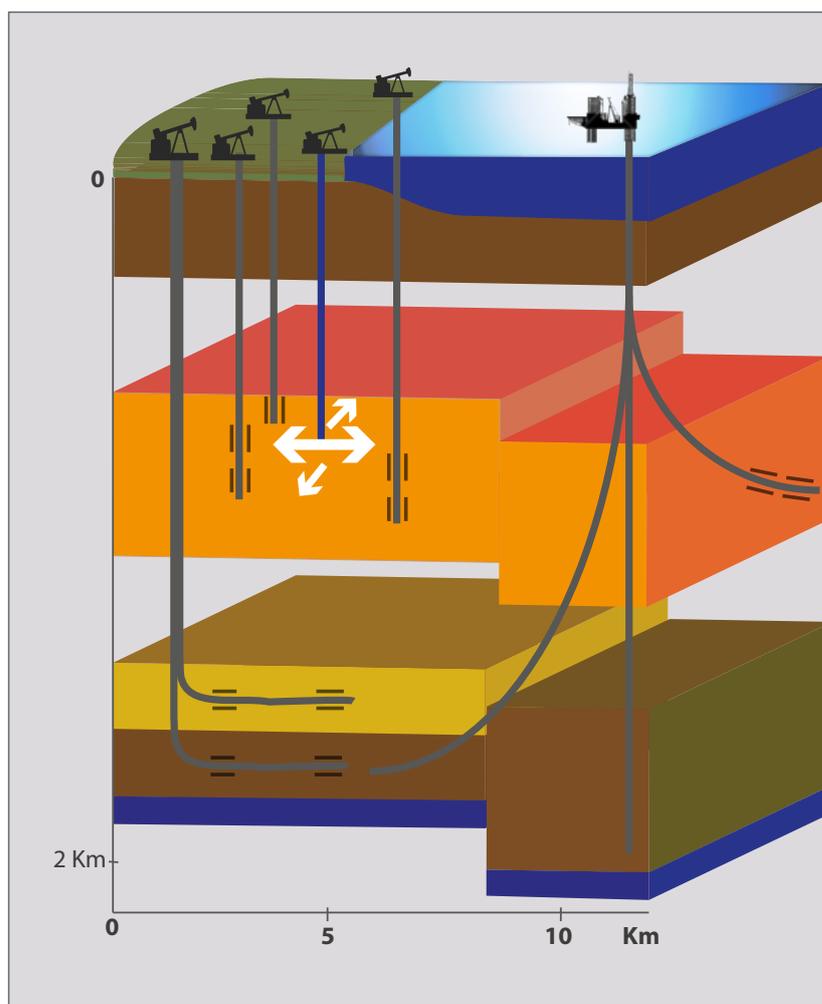
Cumplir con los reglamentos y las normas de seguridad nacionales, así como con las normas medioambientales internacionales, es un objetivo constante del Instituto de Tecnología de la Energía, dice Bjørnstad. La inmensidad de los océanos en comparación con la minúscula cantidad de material radiactivo que se utiliza en los trazadores hace que la amenaza para el medio ambiente natural sea insignificante.

El Instituto ha ayudado a muchos nuevos productores de petróleo a utilizar ese método. El OIEA también ha facilitado

el intercambio de tecnología de forma independiente y en cooperación con el Instituto. El OIEA y el Instituto ayudan a otros países a obtener el equipo necesario para utilizar esa técnica, y además organizan cursos, reuniones y proyectos coordinados de investigación que brindan a los Estados Miembros oportunidades de aprendizaje.

En Viet Nam, por ejemplo, el OIEA ha contribuido a desarrollar los conocimientos técnicos a escala local que se precisan para utilizar las tecnologías de trazadores en la prospección petrolera. “Antes de los proyectos [con el OIEA], Viet Nam no contaba con tecnologías de trazadores para yacimientos petrolíferos. Las compañías productoras de petróleo tenían que solicitar los servicios de otros países”, dice Quang Nguyen Huu, Director del Centro para las Aplicaciones de Técnicas Nucleares en la Industria.

Frente a las costas de Viet Nam se encuentra un yacimiento de petróleo subterráneo fracturado, donde el desplazamiento de las placas tectónicas provoca grietas y fisuras en el suelo marino. Esta compleja geología requiere un enfoque específico. Gracias a las sesiones de capacitación dirigidas por el OIEA, Viet Nam ha sido capaz de modificar la tecnología de trazadores para ajustarla a la compleja geología de su fondo marino, explica Nguyen Huu. Además, Viet Nam ha podido exportar sus servicios a países como Kuwait, Angola y Malasia, añade.



### Principio del método de inyección de trazadores para la comunicación entre los pozos

(Fuente: Application of Radiotracer Techniques for Interwell Studies, OIEA, 2012)

## BASE CIENTÍFICA

### Ensayo de trazadores entre pozos

Los trazadores tienen aplicaciones en casi todas las fases de la explotación de yacimientos petrolíferos. La tecnología de trazadores entre pozos es un importante instrumento de la ingeniería de depósitos que se utiliza para recuperar petróleo.

Este tipo de ensayos también se utiliza en los depósitos geotérmicos para conocer mejor su geología y para optimizar los programas de producción y reinyección. El principal objetivo de realizar ensayos de trazadores entre pozos en depósitos petrolíferos y geotérmicos es supervisar la calidad y cantidad de las conexiones del fluido inyectado entre los pozos

de inyección y de producción, así como las similitudes y diferencias entre los pozos y los depósitos.

El trazador se añade al fluido de inyección a través del pozo de inyección y se observa en los pozos de producción circundantes (véase la figura más arriba). La respuesta del trazador ayuda a registrar en un gráfico el patrón de flujo, lo que permite conocer mejor el depósito. Este conocimiento es importante para optimizar la recuperación de petróleo. La mayor parte de la información que proporciona el trazador no se puede obtener mediante otras técnicas.

# Accesibilidad de los puertos: el Brasil se ahorra varios “millones” en costos de dragado gracias a las técnicas nucleares

Rodolfo Quevenco

En el Brasil, que tiene más de 8500 kilómetros de costa, el 90 % del total de las exportaciones e importaciones se realiza a través de sus puertos.

Muchos de los principales puertos del país se construyeron hace más de un siglo. Para mantener abiertas las rutas marítimas y que en esos puertos puedan amarrar embarcaciones de más tamaño con cargas cada vez mayores, es necesario dragar constantemente, lo que a menudo supone costos elevados.

A lo largo de los años, la utilización de técnicas nucleares para estudiar la acumulación de sedimentos y su transporte entre los principales puertos (véase el recuadro) ha ahorrado al Brasil varios millones de dólares en costos de dragado, dice Jefferson Vianna Bandeira, investigador superior del Departamento de Medio Ambiente de la Comisión Nacional de Energía Nuclear del país.

Con la asistencia del OIEA, Bandeira y un equipo de científicos vienen usando radiotrazadores para estudiar los desplazamientos de sedimentos que afectan a los puertos principales del Brasil desde la década de 1960.

Inicialmente, uno de los principales objetivos era analizar la dinámica de los sedimentos retirados de la zona portuaria de Santos después del dragado. El puerto de Santos, cercano a São Paulo, es uno de los puertos de mayor tamaño y más tráfico de América Latina; en la actualidad presta servicio a

diversos estados brasileños y en él se gestiona el 28 % del comercio exterior del Brasil.

La zona de vertedero se ha trasladado varias veces para reducir al mínimo la cantidad de sedimentos que acaban en la bahía de nuevo. El uso de radiotrazadores ha permitido que los ingenieros del puerto encontraran lugares óptimos para tal fin lo más cerca del puerto posible.

“En los estudios realizados en la década de 1970 en la bahía de Sepetiba, en el estado de Río de Janeiro, para la construcción del puerto de Ilha da Madeira, probablemente nos hemos “ahorrado” más de 100 000 kilómetros de trayecto de dragado”, indica Bandeira. Además, añade que, gracias a ello, las autoridades portuarias brasileñas se han ahorrado varios millones de dólares.

## Del puerto al mar: modelización del desplazamiento de los sedimentos y el agua con radiotrazadores

Tras varios años de investigaciones con radiotrazadores en el puerto de Santos y en otros puertos del Brasil, el equipo de Bandeira también ha adquirido amplios conocimientos sobre la dinámica del transporte de sedimentos y los modelos de desplazamiento en condiciones cambiantes. En el proceso, ha podido usar modelos matemáticos y conjuntos de datos precisos sobre transporte de sedimentos y patrones de flujo que se utilizan continuamente en las actividades de ingeniería costeras.

“Somos como los cirujanos y los especialistas”, dice Bandeira cuando describe el trabajo que realizan él y sus colegas. “Igual que un cardiocirujano puede investigar los principales vasos sanguíneos o un radiólogo se sirve de trazadores médicos para estudiar las funciones orgánicas del metabolismo humano, los radiotrazadores nos permiten analizar el comportamiento hidrodinámico y las principales vías de desplazamiento de los sedimentos en las zonas costeras”.

Estos conocimientos tan profundos se han aplicado de forma práctica en numerosas ocasiones. Por ejemplo, en los estudios de los sedimentos realizados a lo largo de la costa de lo que posteriormente se denominaría el puerto de Suape, el marcado con radiotrazadores puso de manifiesto que la tasa de transporte de sedimentos en el fondo era baja tanto en verano como en invierno. Esa información fue esencial para determinar la ubicación ideal del puerto e indicó que no sería necesario llevar a cabo tareas de dragado de mantenimiento



**Las técnicas de radiotrazadores pueden contribuir a ahorrar costos en operaciones de dragado para que los puertos tengan un calado suficiente para embarcaciones de más tamaño con cargas cada vez mayores.**

(Fotografía: A. Hardacre/Flickr.com/CC BY 2.0).



**El conocimiento de la dinámica de los sedimentos puede ayudar a encontrar el lugar óptimo para las zonas de vertedero de los sedimentos retirados con técnicas de dragado, a fin de evitar que las playas cercanas se contaminen accidentalmente.**

(Fotografía: R. Quevenco/OIEA)

importantes mar adentro. Al tiempo que esos estudios, se realizaron mediciones oceanográficas cerca de la costa (del oleaje, el viento, las corrientes y las mareas). Desde entonces, Suape ha pasado a ser el complejo portuario más importante del noreste del Brasil.

### La lucha contra la erosión costera

La costa y el lecho marino son regiones dinámicas en que los sedimentos experimentan períodos de erosión, transporte, sedimentación y consolidación. Entre las causas principales de la erosión de las playas se encuentran las tormentas, pero algunas actividades humanas, como el dragado de la desembocadura de los arroyos y la construcción de diques y embarcaderos, también perturban el flujo natural de los sedimentos.

“Las técnicas nucleares son los métodos más útiles y eficaces para estudiar la erosión y el desplazamiento del limo

y los sedimentos en las zonas costeras”, dice Patrick Brisset, tecnólogo industrial del OIEA. “Estas técnicas se han usado y se siguen usando en muchos países en actividades de ingeniería costeras; muchos más acaban de comenzar a servirse de esta tecnología para apoyar sus planes de desarrollo”.

Brisset explica que se ha impartido capacitación a muchos científicos brasileños en el marco del programa de cooperación técnica del OIEA. Al mismo tiempo, muchos expertos del OIEA se han desplazado al Brasil para realizar estudios sobre el transporte de sedimentos y formar a diversos técnicos. Asimismo, en la actualidad los expertos brasileños ayudan y apoyan a otros Estados Miembros, entre los que se encuentran Venezuela, el Uruguay y el Níger, en proyectos relacionados con las aplicaciones de los radiotrazadores para estudiar los sedimentos.

## BASE CIENTÍFICA

### Ventajas de usar radiotrazadores para estudiar el transporte de sedimentos

La mayor parte de la población mundial vive en la costa o en regiones costeras, por lo que conocer la dinámica del transporte de sedimentos en esas zonas es fundamental para muchos países.

Las técnicas de radiotrazadores son un método eficaz para investigar la dinámica de los sedimentos, dado que con ellas se puede determinar con exactitud y en tiempo real hacia dónde, cómo y por qué se desplazan. Un procedimiento que se usa con frecuencia consiste en introducir pequeñas cantidades de radioisótopos (por ejemplo, oro 198 o iridio 192) en las muestras de sedimentos que se vayan a analizar, colocándolas en puntos clave de muestreo, y luego hacer un seguimiento

de su desplazamiento con detectores de centelleo enganchados a barcos.

Las técnicas de trazadores también suelen usarse para validar los resultados de otros métodos empleados para estudiar el comportamiento de los sedimentos, por ejemplo los reconocimientos batimétricos o los modelos matemáticos y físicos. Además, cada vez hay más tendencia a analizar los experimentos con radiotrazadores mediante la dinámica de fluidos computacional, una rama de la mecánica de fluidos en que se usan análisis numéricos y algoritmos para estudiar el movimiento de los líquidos. Se espera que eso dé lugar a modelos más fiables y a mejores técnicas para validar los resultados.

# Rayos X para la industria: los ensayos no destructivos contribuyen a aumentar la competitividad de Malasia

Brian Plonsky

**Unos técnicos inspeccionan un oleoducto de PETRONAS con métodos de END para determinar su calidad.**

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



Agentes de la industria afirman que los ensayos en que se usa la tecnología nuclear han contribuido a aumentar la competitividad del sector manufacturero de Malasia. Además, el país ha creado para sí un nicho de exportación en Asia Sudoriental, al ofrecer ensayos no destructivos (END) con dispositivos nucleares a los fabricantes de los países vecinos.

“El hecho de que podamos contratar servicios de END de buena calidad a un precio muy razonable nos permite destinar más fondos a las inspecciones y, por tanto, aumentar nuestra competitividad, así como el nivel de seguridad de nuestras instalaciones”, dice Zamaludin Ali, ingeniero superior de la empresa petrolera PETRONAS. Asimismo, explica que, antes de que se creara una industria local de END y un sistema de acreditación para los servicios de ensayo, PETRONAS y otras empresas malasias debían recurrir a proveedores de servicios de END extranjeros o a empresas locales que contrataban operadores con certificaciones obtenidas en el extranjero.

En los END con técnicas nucleares se usa la radiación ionizante para inspeccionar la calidad de los productos terminados. Los END se basan en el mismo principio que los rayos X que se usan en los hospitales (véase el recuadro).

Entre los productos cuya calidad se inspecciona con esta técnica se encuentran los oleoductos, las calderas, las vasijas de presión, el equipo aeronáutico y las embarcaciones.

El OIEA ha desempeñado un papel importante en la prestación de ayuda a Malasia para establecer organismos de formación acreditados y un sistema de certificación y para promover las tecnologías de END, como la inspección radiográfica. Como consecuencia de esta asociación de larga data, más de 50 empresas malasias, que emplean a más de 2000 técnicos, han recibido la certificación para realizar END.

## Creación de competencia técnica a nivel local

Todo comenzó en la década de 1980, cuando Abdul Nassir Ibrahim, que entonces era oficial subalterno de Energía Nuclear de Malasia, comenzó a asistir a una serie de cursos de capacitación del OIEA sobre los END. Con el apoyo de su Gobierno y la asistencia del OIEA, ayudó a establecer la Junta Nacional de Certificación para Personal de END, de la que se jubiló el año pasado. Actualmente, Nassir Ibrahim se ocupa de gestionar el Centro Madani de Capacitación en END, cercano a Kuala Lumpur.

Nassir Ibrahim explica que, en Malasia, las empresas de los sectores del petróleo y el gas representan alrededor del 70 % del mercado de los servicios de inspección mediante END. Otros clientes importantes que aprovechan esta tecnología son las centrales eléctricas, los astilleros y la industria aeronáutica. Nassir Ibrahim dice que el costo de las inspecciones locales es una quinta parte del costo que supone contratar a inspectores y recurrir a tecnología del extranjero.

Los primeros años, el OIEA ayudó a crear competencia técnica a nivel local suministrando equipo y organizando cursos de capacitación y visitas científicas, explica Patrick Brisset, tecnólogo industrial del OIEA. “Dados los avances y los buenos resultados logrados en Malasia, solemos recurrir a expertos malasios para que ayuden al OIEA establecer centros de capacitación y certificación en otros países”, indica.

El sistema de capacitación y el Programa Nacional de Certificación para Personal de END de Malasia se han convertido en una referencia para muchos países: Nassir Ibrahim y sus colegas celebran periódicamente cursos de capacitación en el Sudán, que ha adoptado el programa de certificación de Malasia. Algunos futuros inspectores de



Filipinas, el Yemen y Sri Lanka también viajan a Malasia con fines de capacitación y certificación, dice Nassir Ibrahim.

Brisset afirma que los buenos resultados del programa de capacitación en END de Malasia pueden servir como modelo e inspiración para otros países que deseen establecer un programa nacional de certificación para personal de END. “El ejemplo de Malasia muestra que es posible crear desde cero un sistema de ensayo reconocido internacionalmente y que el OIEA puede ayudar en el proceso”.

## BASE CIENTÍFICA

### Ensayos no destructivos

Puede parecer que la restauración de arte en Londres, la fabricación de municiones en la Argentina, la construcción de un puente en Nueva York y la industria del petróleo y el gas de Malasia tienen muy poco en común. Lo que los une a todos es un método de control de calidad en que se usa la radiación, denominado “ensayo no destructivo” (END).

La técnica de END más importante disponible en el mercado y que más se usa en Malasia es la inspección radiográfica, que se basa en la absorción diferencial de los rayos X y los rayos gamma emitidos por un aparato de rayos X y una fuente radiográfica respectivamente.

La inspección radiográfica funciona mediante el uso de radiación ionizante (rayos X o rayos gamma) para generar una imagen de la estructura interna de materiales sólidos y duros, como el acero o el hormigón. La radiación atraviesa el material e incide en una película colocada al otro lado. La oscuridad de la película varía en función de la cantidad de

radiación que haya incidido en ella a través del objeto que se esté inspeccionando: los materiales con zonas de un grosor reducido o de baja densidad dejan pasar más radiación. Esas variaciones de la oscuridad de la imagen pueden usarse para determinar el grosor o la composición de un material, así como para revelar los defectos o irregularidades que haya en su interior.

La inspección radiográfica desempeña un papel fundamental en la producción y el mantenimiento de materiales y estructuras, sin dañarlos ni dejar residuos radiactivos. Se usa para determinar y mejorar la calidad y, por tanto, para garantizar la seguridad. Entre las aplicaciones específicas se encuentran la detección y evaluación de defectos, la medición dimensional, la detección de fugas, la caracterización estructural, la medición de la respuesta dinámica y a la tensión, el análisis de la integridad estructural y la clasificación de materiales, por ejemplo determinando su conductividad y composición química.

# Rentabilización de la minería gracias a la tecnología de la radiación

Rodolfo Quevenco

Durante los años de auge de la década de 2000, la industria minera mundial se expandió rápidamente y muchos países y empresas invirtieron grandes sumas de dinero en actividades para aumentar la producción y satisfacer a una economía mundial en rápido crecimiento y ávida de recursos naturales. Ahora que los precios de los productos básicos son más bajos, la calidad de los minerales va en descenso y los costos de producción son más elevados, para mantener abiertas las minas es necesario racionalizar las operaciones y aumentar la productividad. Algunas de las técnicas que permiten aumentar la eficiencia de la industria son los radiotrazadores y las sondas nucleónicas.



**Vista aérea de la mina de ópalo de Coober Pedy, en Australia.**

(Fotografía: G. Sharp/Flickr.com/CC BY 2.0)

La industria es muy consciente de esas cuestiones. “Actualmente, el gran desafío para la minería es que el agua es más escasa, la energía se está encareciendo y la ley real de las menas es cada vez más baja”, dice Nick Cutmore, Director de Programas de Investigación en la Organización de Investigaciones Científicas e Industriales del Commonwealth (CSIRO), un destacado organismo científico australiano que va a la vanguardia de la investigación y el desarrollo sobre la aplicación de las técnicas nucleares en la minería. “Por ello, necesitamos una tecnología nueva que nos permita extraer material de forma más selectiva y no desperdiciar ni agua ni energía en menas de muy baja ley”.

“La conclusión es simple: lo importante es quedarse con las rocas buenas y librarse de las malas antes de desperdiciar energía y agua en su procesamiento”, dice Cutmore.

En las operaciones mineras es importante analizar grandes cantidades de minerales —entre 1000 y 10 000 toneladas por hora— a medida que pasan por una cinta transportadora. Para hacer un análisis rápido y preciso, los ingenieros necesitan una manera de examinar los minerales para detectar los elementos que contienen y en qué cantidad. En palabras de Cutmore, las técnicas nucleares son “sin duda, las más apropiadas” para realizar este tipo de análisis.

“Los neutrones o los rayos X o rayos gamma de alta energía son muy penetrantes y permiten analizar grandes cantidades de material con bastante precisión en casos en que otros enfoques no darían resultado”, dice.

En las industrias mineras se usan radiotrazadores y sondas nucleónicas para mejorar la calidad de los productos, optimizar los procesos y ahorrar energía y materiales, indica Patrick Brisset, tecnólogo industrial del OIEA. “A día de hoy, muchas empresas mineras han reconocido además los grandes beneficios socioeconómicos de la tecnología radioisotópica”.

## Una lupa nuclear

La CSIRO va a la vanguardia del desarrollo de la utilización de técnicas nucleares para, entre otras cosas, realizar perforaciones, clasificar los minerales y llevar a cabo labores de detección y análisis en tiempo real. Ha inventado un nuevo analizador en que la fluorescencia X se combina con la difracción de rayos X para caracterizar rápidamente los minerales a niveles de partes por mil millones. Con esta técnica se pueden detectar elementos clave hasta un nivel de alrededor de cien partes por mil millones y se pueden medir cantidades de metales valiosos, como el oro, la plata, el uranio y los elementos del grupo del platino, y de contaminantes importantes, como el plomo, el mercurio y el arsénico, a niveles de unos pocos gramos por tonelada o menos.

Asimismo, la CSIRO ha ideado recientemente un método de análisis por activación de rayos gamma que utiliza rayos X de alta energía para medir las muestras de mena en un sistema automatizado, sin que sea necesario realizar tareas laboriosas de preparación de muestras ni tener acceso a un reactor nuclear para realizar un análisis por activación neutrónica. Esta técnica resulta especialmente eficaz para detectar el oro contenido en diversos tipos de muestras (véase el recuadro).

## Cooperación con el OIEA: transferencia de tecnología

La CSIRO participa en un proyecto coordinado de investigación del OIEA para desarrollar métodos radiométricos destinados a la exploración y la extracción de minerales y metales, en cuyo marco está dando a conocer su tecnología a científicos de todo el mundo.

De hecho, la cooperación de Australia con el OIEA en relación con la utilización de neutrones, rayos X y radiotrazadores se remonta a la década de 1980, cuando esta tecnología era nueva.

Australia, que es uno de los cinco países del mundo que realizan más actividades mineras, va a la vanguardia de varios ámbitos de las aplicaciones nucleares utilizadas en la industria. Muchas de esas aplicaciones son tecnologías bastante consolidadas, que cuentan con un historial de éxitos en su uso comercial y sobre el terreno.

Cutmore explica que la participación de Australia en el proyecto coordinado de investigación del OIEA se centra principalmente en la transferencia de tecnología a otros países.

Los proyectos coordinados de investigación del OIEA ofrecen un mecanismo para reunir a investigadores de instituciones de países desarrollados y en desarrollo con objeto de que colaboren en un tema de investigación específico y haya entre ellos un intercambio y una transferencia de conocimientos sobre la utilización de las técnicas nucleares en diversas aplicaciones con fines pacíficos.



**Mineral de oro en matriz.**

(Fotografía: J. St. John/Flickr.com/CC BY 2.0)

“Queremos dar a conocer a otros países nuestros conocimientos y las tecnologías que hemos desarrollado, para que estén plenamente informados acerca de las opciones de que dispone la industria de los minerales en esos ámbitos”, dice Cutmore. “Deseamos que esta tecnología beneficie a otros Estados Miembros que, a medio o largo plazo, puedan aprovecharla para explotar mejor los recursos, en aras de la prosperidad económica de sus países”.

## BASE CIENTÍFICA

### Hasta la última pepita

La producción mundial de oro está valorada en miles de millones de dólares al año y el elevado precio de este metal se debe principalmente al alto costo que supone su extracción. El oro se extrae comercialmente a niveles de gramos por tonelada y pocas técnicas analíticas son suficientemente sensibles para medir metales con precisión a unos niveles tan bajos.

En el análisis por activación de rayos gamma se usan rayos X de alta potencia para excitar elementos concretos del mineral, a fin de activar las trazas de oro de la muestra. La técnica se aplica al oro en cualquier forma química o física y se puede

usar para determinar la cantidad de ese metal en sólidos, lechadas o líquidos. Al combinar las últimas novedades en fuentes de rayos X de alta potencia y detectores de radiación con modelos informáticos avanzados, el analizador desarrollado por la CSIRO puede detectar niveles de oro diez veces más bajos que los que pueden detectarse mediante otras técnicas. También puede detectar niveles muy bajos en muestras extremadamente pequeñas.

# El “viejo frágil”: México y Francia salvan con técnicas nucleares una escultura de 2000 años

Aabha Dixit

**D**urante una excavación realizada en 2001 en Becán, un yacimiento arqueológico de la civilización maya ubicado en el estado de Campeche, en el sudeste de México, el hallazgo de una escultura de madera de 2000 años de antigüedad causó un gran revuelo en la comunidad de arqueólogos del país. La estatuilla de madera estaba enterrada a bastante profundidad bajo una tumba derruida. Se trataba del primer objeto de madera descubierto que podía datarse fiablemente en el período clásico temprano maya, pero se estaba deteriorando lentamente y muchos fragmentos se habían desprendido.

Gracias a la tecnología nuclear y a la asistencia prestada por Francia, los científicos le han restituido su gloria pasada. En la actualidad, la estatuilla se expone en el museo de Campeche, junto con otros objetos artísticos mayas.

recuadro) fue una novedad en las actividades de conservación mexicanas. Gracias al proceso de conservación de este singular hallazgo, México se ha dotado de los conocimientos especializados necesarios sobre una tecnología puntera que permite conservar artefactos antiguos con valor histórico.

Tras examinar el artefacto detenidamente, se concluyó que representaba una figura masculina. Varias partes del cuerpo estaban muy erosionadas y faltaban algunos fragmentos. Los tobillos y los pies de la escultura eran especialmente frágiles porque su forma delgada los hacía muy débiles para soportar el peso del cuerpo, dice Alejandra Alonso Olvera, restauradora perito del Departamento de Conservación del Instituto Nacional de Antropología e Historia, que participó en el proyecto de restauración.

“A pesar de su condición inestable, causada por la perturbación del contexto, el envejecimiento, la abrasión mecánica y el deterioro biológico, los expertos del equipo mexicano-francés creían que cabía la posibilidad de que se pudiera salvar al viejo frágil de 2000 años mediante técnicas nucleares avanzadas”, añade.

## ¿Qué aspecto tenía?

Al explicar las características de la antigua escultura maya, Alonso Olvera dice que fue tallada a partir de un único bloque de madera, con una altura de 21,5 cm y una anchura en la base de 17,5 cm. Además, añade que la escultura no tiene rasgos faciales y le falta la parte inferior de los brazos. Al examinarla más detenidamente se descubrió que varias partes del cuerpo estaban decoradas con ilustraciones y que la base había sido pintada.

Los mexicanos se pusieron en contacto con el Atelier Régional de Conservation Nucléart (ARC-Nucléart) de Grenoble (Francia), que forma parte de la Comisión de Energía Atómica de Francia, a fin de solicitar asistencia científicotécnica para restaurar la escultura. El ARC-Nucléart es célebre por sus vanguardistas actividades de conservación y protección de artefactos antiguos mediante procesos de irradiación con rayos gamma.

“Fue una excelente oportunidad de investigación colaborativa para ambas instituciones”, dice Quoc-Khôi Tran, experto superior en el ámbito de la irradiación con rayos gamma del ARC-Nucléart, que impartió capacitación a expertos mexicanos sobre métodos de conservación y restauración con procesos de irradiación con rayos gamma.

## El “viejo frágil”



Antes



Después

**Izquierda: El “viejo frágil” antes de la irradiación con rayos gamma. Derecha: Con esa técnica de conservación se ha salvado la antigua escultura.**

(Fotografías: cortesía de Quoc-Khôi Tran, ARC-Nucléart)

El tratamiento por irradiación con rayos gamma se realizó en la instalación de irradiación del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, cerca de Ciudad de México. La aplicación de esta tecnología de polimerización por rayos gamma a objetos arqueológicos de madera (véase el

Inicialmente solo se realizaron observaciones microscópicas mediante investigaciones de laboratorio en la base del delicado artefacto. “Por su frágil estado, era demasiado arriesgado tocar la parte principal de la escultura”, indica Alonso Olvera. Este estudio era necesario para determinar el tipo de madera, el color, los daños causados por organismos biológicos y el contenido de humedad.

### La lucha contra los hongos

En esas investigaciones se determinó que la madera era de una especie tropical de madera dura (siricote) originaria de la península de Yucatán. Alonso Olvera añade que, por naturaleza, el siricote es resistente a los hongos y a los ataques de otros microorganismos que destruyen la madera. Sin embargo, explica que durante las investigaciones se observó la presencia de hifas, un tipo de hongo que crece en las células de la madera.

Los arqueólogos decidieron someter a la figurilla de madera a un tratamiento de polimerización por rayos gamma, que mataría los hongos y protegería la escultura para evitar que se siguiera deteriorando. Con ese método se estabilizaría la madera mediante la utilización de un consolidante para el curado por radiación y también se restauraría el color.

El tratamiento de irradiación con rayos gamma emitidos por fuentes de cobalto 60 se aplicó a tasas de dosis relativamente bajas para mantener controlada la temperatura de la madera (a entre 40°C y 50°C aproximadamente) durante el proceso de polimerización. Tran explica que en cada ocasión hubo que vigilar cuidadosamente la tasa de dosis de rayos gamma para que la madera se consolidara adecuadamente.



### Preparación del soporte para impregnar la escultura maya con resina.

De izquierda a derecha, el equipo técnico mexicano, Alejandra Alonso Olvera y Quoc-Khôi Tran

(Fotografía: cortesía de Quoc-Khôi Tran, ARC-Nucléart)

La estrecha colaboración entre los especialistas mexicanos y franceses fue crucial para que el proyecto llegara a buen término, dice Alonso Olvera.

El OIEA, en colaboración con el ARC-Nucléart, presta apoyo a los Estados Miembros en la utilización de la tecnología de irradiación para conservar objetos históricos. Además, se imparten varios cursos de capacitación del OIEA para dar a conocer las aplicaciones de las ciencias y las técnicas nucleares, así como para crear capacidad de conservación mediante irradiación a fin de salvar objetos arqueológicos singulares que contribuyen a explicar la historia de los países.

## BASE CIENTÍFICA

### Conservación de artefactos de madera deteriorados mediante un tratamiento de polimerización por rayos gamma

El uso de la polimerización por rayos gamma para consolidar artefactos de madera deteriorados parte del principio de que se pueden rellenar los poros de la madera con determinadas resinas líquidas (como poliéster no saturado o resinas acrílicas) y transformarlas in situ en polímeros sólidos al exponerlas a la radiación, de modo que se refuerce la estructura de la madera.

En primer lugar, se limpia la superficie del artefacto cuidadosamente y se eliminan con brochas suaves todas las partículas sólidas que se encuentren en ella. En la siguiente fase, se impregna la estructura de la madera de una resina

polimerizable líquida mediante un proceso de vacío y presión, también denominado “impregnación a presión”.

El proceso de impregnación consiste en rellenar los poros de la madera con un material que, tras la polimerización in situ por rayos gamma, refuerza la estructura sin que esta se contraiga o se deshaga. Así, el artefacto de madera consolidado es mucho menos sensible a los cambios en los niveles de humedad que la madera sin tratar. Tras la irradiación, se aplican al artefacto otras técnicas de restauración, como el encolado, la reconstrucción y el relleno de grietas.

# Cuando lo diminuto tiene enormes efectos

## La radiación ionizante como instrumento para la ingeniería a escala nanométrica

Sasha Henriques

En la actualidad, más de una decena de Estados Miembros del OIEA utilizan la radiación ionizante para producir nanopartículas a fin de usarlas en la agricultura, la medicina, la cosmética y las aplicaciones industriales, mientras que otros estudian la manera de crear sus propios productos y procesos. A continuación, Wanvimol Pasanphan, Profesora Adjunta del Centro de Tratamiento por Radiación para la Modificación de Polímeros y la Nanotecnología de la Universidad Kasetsart (Tailandia), explica los fundamentos de las nanopartículas y hace referencia a las interesantes posibilidades que ofrecen.

### ¿Cómo de pequeñas son las nanopartículas?

Las nanopartículas son estructuras artificiales extremadamente diminutas que se miden en nanómetros. Un nanómetro es una milmillonésima parte de un metro.

En términos más prosaicos, un nanómetro es 100 000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello. Los objetos a escala nanométrica no pueden apreciarse a simple vista. En cambio, los investigadores deben usar microscopios muy potentes.

Las nanopartículas y las nanoestructuras no son totalmente nuevas. Más bien, lo que es nuevo es la capacidad del ser humano de trabajar y de medir y manipular objetos a escala nanométrica.

### ¿Para qué se usan las nanopartículas y cómo se fabrican?

Las nanopartículas pueden usarse en la agricultura, la medicina, la cosmética y la industria. Dado su tamaño nanométrico, son excelentes instrumentos de almacenamiento, transporte, inserción y distribución, que transportan medicamentos, abonos, compuestos bioactivos, etc. y los depositan en lugares concretos de un organismo o estructura.

Las nanopartículas pueden fabricarse a partir de compuestos inorgánicos y de biopolímeros y polímeros sintéticos. En función del uso que se les vaya a dar, se les puede dotar de diversas estructuras. Por ejemplo, las nanopartículas poliméricas núcleo-coraza constan de tres componentes: una coraza exterior (un polímero que da estabilidad a las sustancias químicas que componen la coraza interior), una coraza interior (que puede estar compuesta por moléculas resistentes al agua) y el núcleo central, que contiene sustancias antimicrobianas o fármacos anticancerosos (véase la figura 1). Las nanopartículas que tienen esa estructura se pueden usar para recubrir la fruta con objeto de prevenir el crecimiento de hongos, como el *Sphaceloma ampelinum*, un moho rojo oscuro que suele salirles a las uvas.

### ¿Cuáles son las posibles aplicaciones médicas de esta tecnología?

Las nanopartículas pueden diseñarse para que solo liberen su contenido en un momento determinado (o a lo largo de un período de tiempo establecido) y en un lugar determinado. Por ejemplo, los investigadores están tratando de fabricar nanopartículas que, en combinación con radiofármacos (o creadas a partir de estos), se dirijan únicamente a las células cancerosas y a ningún otro lugar, y puedan introducirse en ellas para liberar la medicación necesaria.

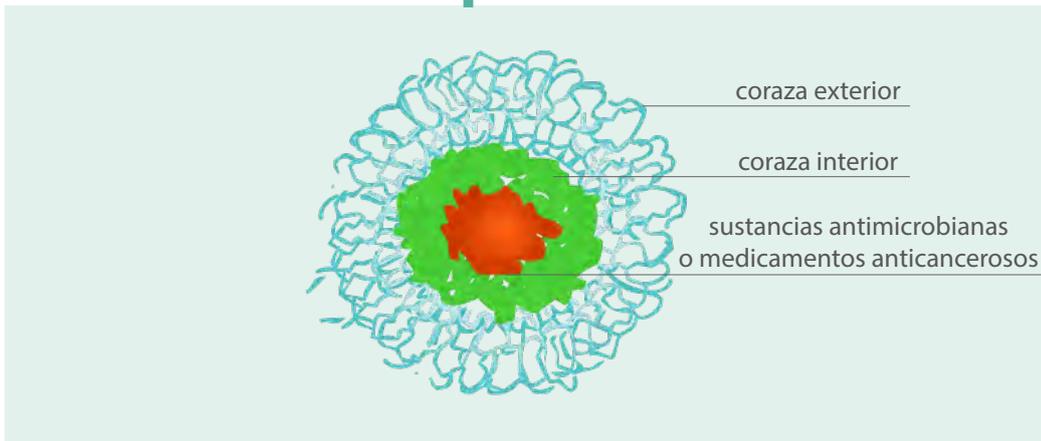
Doce Estados Miembros (Argentina, Brasil, Egipto, Estados Unidos de América, Irán, Italia, Malasia, México, Pakistán, Polonia, Singapur y Tailandia) participan en un proyecto coordinado de investigación del OIEA en que se usan nanopartículas con objeto de crear fármacos dirigidos



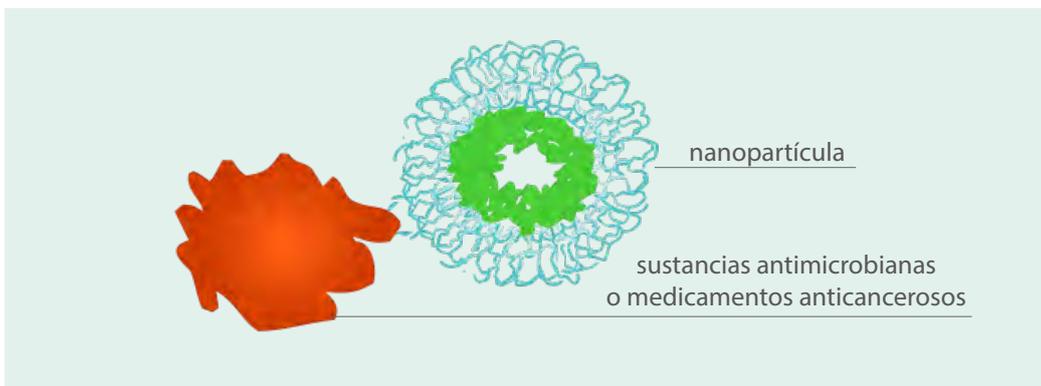
**Wanvimol Pasanphan explica el diseño molecular de las nanopartículas a estudiantes del Centro de Tratamiento por Radiación para la Modificación de Polímeros y la Nanotecnología de la Universidad Kasetsart (Tailandia), donde trabaja como Profesora Adjunta.**

(Fotografía: T. Piroonpan)

# nanopartículas



**Figura 1:** Las nanopartículas poliméricas núcleo-coraza constan de tres componentes: una coraza exterior (un polímero que da estabilidad a las sustancias químicas que componen la coraza interior), una coraza interior (que puede estar compuesta por moléculas resistentes al agua) y el núcleo central, que contiene sustancias antimicrobianas o medicamentos anticancerosos.



**Figura 2:** En esta nanopartícula polimérica núcleo-coraza, las sustancias antimicrobianas o medicamentos anticancerosos se encuentran fuera de la coraza exterior (un polímero que da estabilidad a las sustancias químicas que componen la coraza interior) y de la coraza interior (que puede estar compuesta por moléculas resistentes al agua).

para tratar el cáncer. Estos nanofármacos no solo podrían introducirse en las células cancerosas más fácilmente que otros tipos de medicamentos, sino también permanecer en la masa tumoral durante más tiempo que otros fármacos. Si los resultados son satisfactorios, esta investigación podría revolucionar el tratamiento del cáncer, al reducir la posibilidad de que las células sanas —y, por tanto, el paciente— se vean perjudicadas por fármacos creados para destruir células cancerosas. Estas nanopartículas pueden tener una estructura similar a la que ya he explicado más arriba u otra totalmente distinta. Por ejemplo, algunos investigadores están usando nanopartículas que se parecen más a la que se muestra en la figura 2.

## ¿Qué relación existe entre la radiación y las nanopartículas?

La radiación ionizante utilizada por profesionales capacitados en entornos muy controlados es un instrumento rápido y eficaz que puede usarse para modificar y combinar los materiales que se emplean para fabricar nanopartículas. Es un proceso limpio que se realiza a bajas temperaturas, y a veces la preparación

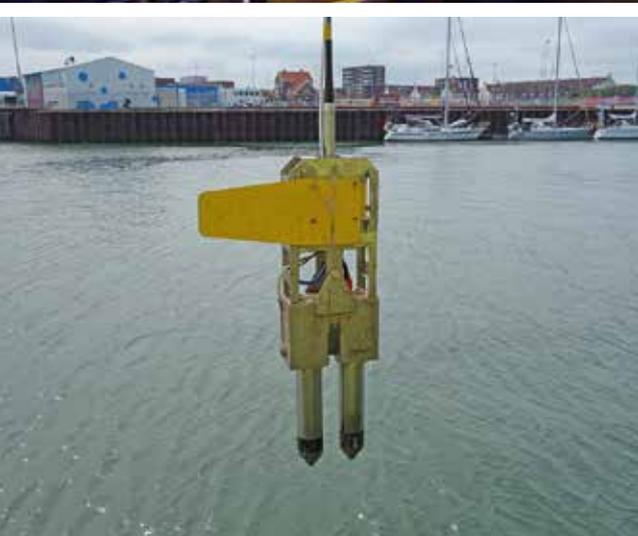
y la esterilización de un producto de nanopartículas puede hacerse en un solo paso.

Cabe señalar que las nanopartículas que se crean no son radiactivas.

*(Para más información sobre la interacción de los biopolímeros con la radiación ionizante, véase el recuadro sobre la base científica en la página 11).*

## ¿Qué hace el OIEA al respecto?

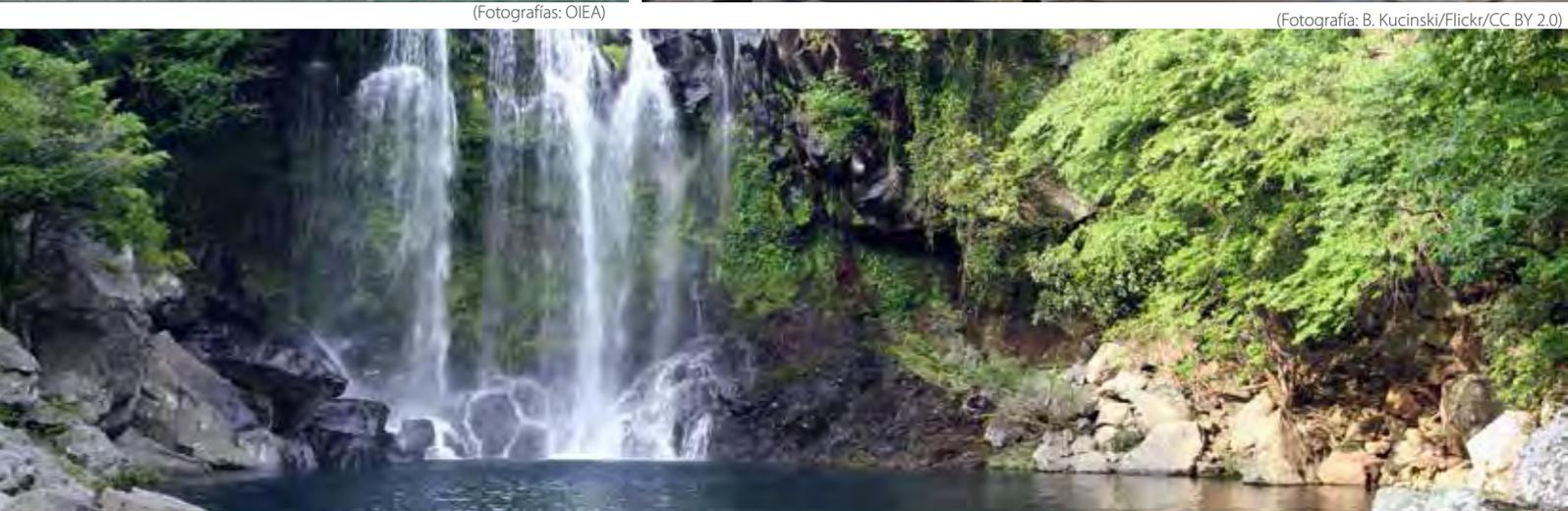
En parte, el OIEA promueve el tratamiento por radiación de biopolímeros, como los que se emplean para fabricar nanopartículas, ayudando a los Estados Miembros a adquirir y desarrollar conocimientos especializados sobre la utilización de la radiación ionizante con fines médicos, industriales y comerciales. Además, en los últimos 30 años, el OIEA viene impartiendo capacitación en esta esfera a los países interesados (talleres, visitas de expertos, becas) y organizando proyectos colaborativos de investigación entre varios países en cuyo marco se estudian los límites de la tecnología de la radiación en cuanto a la manipulación de polímeros y nanopartículas.



(Fotografías: OIEA)



(Fotografía: B. Kucinski/Flickr/CC BY 2.0)





# Y EN 2017

## **Primera Conferencia Internacional sobre las Aplicaciones de la Ciencia y la Tecnología de la Radiación**

Sede del OIEA | Viena (Austria) | 24 a 28 de abril de 2017

Se ofrecerá más información en la dirección [www-pub.iaea.org/iaeameetings](http://www-pub.iaea.org/iaeameetings)

# Aplicaciones de la ciencia y la tecnología de la radiación