



# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA

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



# Cambio climático

Las tecnologías nucleares marcan la diferencia

También contiene:  
**Noticias del OIEA**



#### 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  
iaebulletin@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 cualesquiera 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:

Las ciencias nucleares pueden desempeñar un importante papel en la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos.  
(Diseño: Ritu Kenn)

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).

# Lucha contra el cambio climático: aportaciones de la ciencia y la tecnología nucleares

Yukiya Amano, Director General del OIEA

El cambio climático es el mayor desafío ambiental de nuestro tiempo. Mientras los gobiernos de todo el mundo se preparan para negociar un acuerdo universal y jurídicamente vinculante sobre el clima en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que se celebrará en París a finales de año, es importante que se reconozcan las contribuciones que pueden aportar la ciencia y la tecnología nucleares a la lucha contra el cambio climático.

La ciencia nuclear, incluida la energía nucleoelectrónica, puede desempeñar un importante papel en la mitigación del cambio climático y la adaptación a sus efectos.

## Mitigación

La energía nucleoelectrónica es, junto a la eólica y la hidroeléctrica, una de las tecnologías que permiten generar electricidad con menos emisiones de carbono. Según las estadísticas más recientes de la publicación World Energy Outlook, el uso de la energía nucleoelectrónica ya ha evitado la emisión de liberación de unas 56 gigatoneladas de dióxido de carbono desde 1971, lo que equivale a dos años de emisiones mundiales a las tasas actuales. Este es un logro muy importante, que muestra las posibilidades que ofrece la energía nucleoelectrónica para la mitigación del cambio climático.

El OIEA procura crear conciencia a escala mundial sobre la función de la energía nucleoelectrónica 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.

De conformidad con su mandato, el OIEA seguirá ayudando a los países a utilizar la tecnología nuclear de forma física y tecnológicamente segura y sin desmedro para el medio ambiente.

## Adaptación

A pesar de las medidas de mitigación que se han aplicado en algunos países, el calentamiento global es ya una realidad que está teniendo graves consecuencias en muchas partes del planeta.



Como demuestran los artículos de la presente edición del Boletín del OIEA, la ciencia y la tecnología nucleares pueden hacer una contribución vital a los esfuerzos de los países por adaptarse a las consecuencias del cambio climático. La mejora del control de las inundaciones en Filipinas, el desarrollo de nuevas técnicas del riego en regiones cada vez más áridas de Kenya o las nuevas tecnologías para medir el impacto del cambio climático en la Antártida son solo algunos de los ámbitos en que el apoyo del OIEA está haciendo una aportación tangible.

El progreso científico depende en gran medida de la genialidad y la pasión de personas profundamente comprometidas. Estamos orgullosos de la labor de los científicos que, con el apoyo del OIEA, están desarrollando nuevas variedades de plantas más adaptadas a las condiciones climáticas cambiantes de sus países. El trabajo de los becarios del OIEA en el Afganistán, Mauricio y el Pakistán, que reseñamos en esta publicación, mejora la vida de agricultores cuyos medios de subsistencia y cuya seguridad alimentaria se venían de otro modo amenazados por los efectos del cambio climático.

Como demuestran estos ejemplos, la ciencia y la tecnología nucleares están aportando importantes contribuciones al desarrollo sostenible en todo el mundo. Espero que los participantes en las conversaciones sobre el clima que se celebrarán en París reconozcan su valor.

(Fotografías: C. Brady/OIEA)

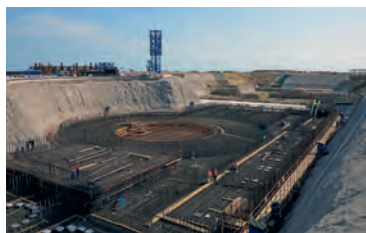




## Prólogo

### **1 Lucha contra el cambio climático: aportaciones de la ciencia y la tecnología nucleares**

#### Cambio climático



**4 La energía nucleoelectrica: un pilar importante de las estrategias de mitigación del cambio climático de muchos países**



**6 Formados para la adaptación: investigadores del Pakistán, Mauricio y el Afganistán cultivan plantas mutantes para hacer frente al cambio climático**



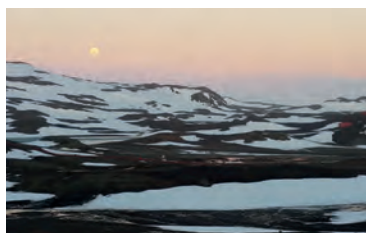
**8 Verdor en las tierras áridas de Kenya gracias a la agricultura climáticamente inteligente**



**10 Adaptación al cambio climático: aumento de la producción de quinua mediante técnicas nucleares**



**12 No se puede cambiar lo que no se puede medir: comprender las emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica**



**14 Un mundo en evolución: Uso de las técnicas nucleares para estudiar el impacto del cambio climático en las regiones polares y montañosas**



**18 Cuando el aumento del nivel del mar se une a lluvias más intensas: empleo de las técnicas nucleares en la gestión de las inundaciones**



**20 Acidificación de los océanos: el escaso conocimiento de las repercusiones de las emisiones de CO<sub>2</sub>**

La visión del mundo

**22 La opción nuclear: argumentos a favor del uso de la energía nucleoelectrónica para combatir el cambio climático**

— Robert Stone

La visión del OIEA

**24 ¿Nos ayuda realmente la energía nucleoelectrónica a luchar contra el cambio climático?**

— Mikhail Chudakov

Noticias del OIEA

**25 Solicitudes de participación en las actividades coordinadas de investigación del OIEA en 2015**

**26 La fructífera cooperación de Mongolia y el OIEA se centra nuevamente en la atención del cáncer**

**27 Acción en alta mar: ejercicio de seguridad física del transporte frente a la costa de Suecia**

**28 Aviso sobre las publicaciones**

**29 Los átomos en la industria: Rayos de esperanza para el desarrollo**

# La energía nucleoelectrónica: un pilar importante de las estrategias de mitigación del cambio climático de muchos países

Miklos Gaspar

La necesidad de mitigar el cambio climático es una de las principales razones por las que cada vez más países estudian la posibilidad de incorporar la energía nucleoelectrónica a sus canastas energéticas nacionales, según expertos del OIEA y fuentes gubernamentales.

“La preocupación que suscita el cambio climático es uno de los motivos que impulsan a los países a implantar o ampliar el uso de la energía nucleoelectrónica”, señala David Shropshire, Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del OIEA. Otros factores son la creciente demanda de energía y el deseo de aumentar la seguridad energética y reducir la dependencia de los inestables precios de los combustibles fósiles.



Central nuclear en construcción en China.

(Fotografía: C. Brady/OIEA)

Las nuevas centrales nucleares ayudarán al Reino Unido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 80 % de aquí a 2050, y a asegurar su suministro de energía, según el documento de política del Gobierno del Reino Unido titulado *2010 to 2015 Government Policy: Low Carbon Technologies*. “La energía nucleoelectrónica produce bajas emisiones de carbono, es asequible, fiable y segura, y puede ampliar la diversidad del suministro energético,” dice el documento. Francia tiene la cuarta tasa más baja de emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por PIB entre los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) “gracias a su flota de centrales nucleares,” según el documento sobre política energética sostenible del Gobierno de Francia.

La energía nucleoelectrónica ha evitado la emisión de 56 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> desde 1971, lo que equivale a alrededor de dos años de emisiones mundiales a las tasas actuales, según las estimaciones más recientes de la publicación *World Energy Outlook*, de la Agencia Internacional de Energía. Para 2040, la

energía nuclear habrá evitado el equivalente de cuatro años de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## La energía nucleoelectrónica es una parte esencial del plan de energía limpia de China

El aumento de la capacidad de producción de energía nucleoelectrónica y de la proporción que esta aporta a la canasta energética es uno de los elementos que ayudará a China a cumplir su compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero después de 2030. China, que reúne en su territorio más de un tercio de los reactores nucleares de potencia que se están construyendo en el mundo, considera que la energía nucleoelectrónica es una fuente de energía limpia que ayudará a combatir los problemas ambientales tanto mundiales como locales, contribuyendo al mismo tiempo al crecimiento de la economía del país, dice el Embajador Jingye Cheng, Representante Permanente de China ante las Naciones Unidas y otras organizaciones internacionales con sede en Viena.

“El cambio climático es un desafío común que afecta a todos los países, y es importante que la comunidad internacional se una para hacerle frente,” señala el Sr. Cheng, Embajador de China ante el OIEA. “China hará lo que le corresponde, y la energía nuclear es parte de la solución.”

Otros elementos importantes de los planes de China para la mitigación del cambio climático son lograr una mayor eficiencia energética en su economía y aumentar la parte correspondiente a las fuentes de energía renovables.

“Aunque por ahora todavía dependemos de las fuentes de combustibles fósiles, estamos atribuyendo mayor importancia al desarrollo de recursos con bajas emisiones de carbono,” dice el Embajador Cheng. En el Plan de Acción Estratégico Nacional de Desarrollo de la Energía del país se fijó una meta del 15 % para las fuentes de energía no fósiles en 2020, en comparación con algo menos del 10 % al final de 2013.

China tiene 23 reactores nucleares de potencia en explotación y 27 en construcción. Varios otros están a punto de comenzar a construirse. Está previsto añadir nuevos reactores, entre ellos algunos de los más avanzados del mundo, con el objetivo de triplicar con creces la capacidad nuclear y alcanzar los 58 gigavatios en 2020. Los reactores que están en construcción tendrán una capacidad combinada de 30 gigavatios.

China tiene graves problemas ecológicos y está adoptando medidas para hacer frente al cambio climático, explica el Embajador Cheng. Su plan nacional relativo al cambio climático



incluye el establecimiento de un mercado de comercio de los derechos de emisión de carbono, así como la intensificación de la cooperación internacional para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo con el principio de las “responsabilidades comunes pero diferenciadas”. En sus planes de expansión de la energía nuclear, el país se centra en la construcción de grandes reactores de agua a presión y en el desarrollo y la explotación experimental de reactores de alta temperatura refrigerados por gas y reactores rápidos, dice el Embajador Cheng.

El historial de China en la explotación de sus centrales nucleares en condiciones de seguridad tecnológica y física y

la experimentación con su nuevo diseño de reactor de tercera generación sitúan al país entre los actores mundiales en el ámbito de la tecnología nuclear, señala el Embajador Cheng. “Estamos dispuestos a facilitar nuestros conocimientos especializados y nuestra tecnología y a aportar apoyo financiero a los países que se incorporan al ámbito nuclear y a los que están ampliando sus programas.”

En este artículo colaboró también Julie Sadler.

## ¿Qué es el cambio climático?

Todo el mundo habla del cambio climático, pero ¿qué es y por qué se está produciendo ahora?

En primer lugar, es importante señalar que el clima de la Tierra siempre está cambiando; a pesar de que las pautas meteorológicas y las temperaturas medias mundiales oscilan cada año, durante largos períodos de tiempo los científicos pueden detectar y examinar tendencias climáticas. En el pasado, los cambios del clima se han atribuido a la actividad solar, la tectónica de placas, la actividad volcánica e incluso a procesos bióticos. Sin embargo, el actual cambio climático sobre el que están informando los medios de comunicación no está relacionado con esos procesos naturales. Lo que se está produciendo es un “cambio climático antropogénico”, es decir, un cambio climático causado por el hombre; se trata de un fenómeno que se viene gestando desde la revolución industrial.<sup>1</sup>

En el cambio climático antropogénico intervienen diversos factores, pero la entidad más autorizada sobre esta cuestión, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, ha afirmado que la causa principal son los gases de efecto invernadero, en particular el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO<sub>2</sub> es un gas, un compuesto químico que se libera cuando se queman combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. Las plantas absorben CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, pero la tasa actual de emisiones supera la capacidad de las plantas y de otros “sumideros de carbono”<sup>2</sup> para eliminar CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Desde 1900 la temperatura media mundial ha aumentado en 0,7 grados Celsius, y ya se están produciendo los efectos del cambio climático. Algunas de las repercusiones previstas y observadas de las emisiones de CO<sub>2</sub> y del cambio climático son: la modificación de los regímenes de precipitaciones; la reducción de los

glaciares; la pérdida de masa del manto de hielo en Groenlandia y la Antártida; la disminución cada vez mayor de la superficie de hielo marino en el Ártico; el deshielo del permafrost; los desastres naturales como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones y fuegos incontrolados, y la acidificación de los océanos.

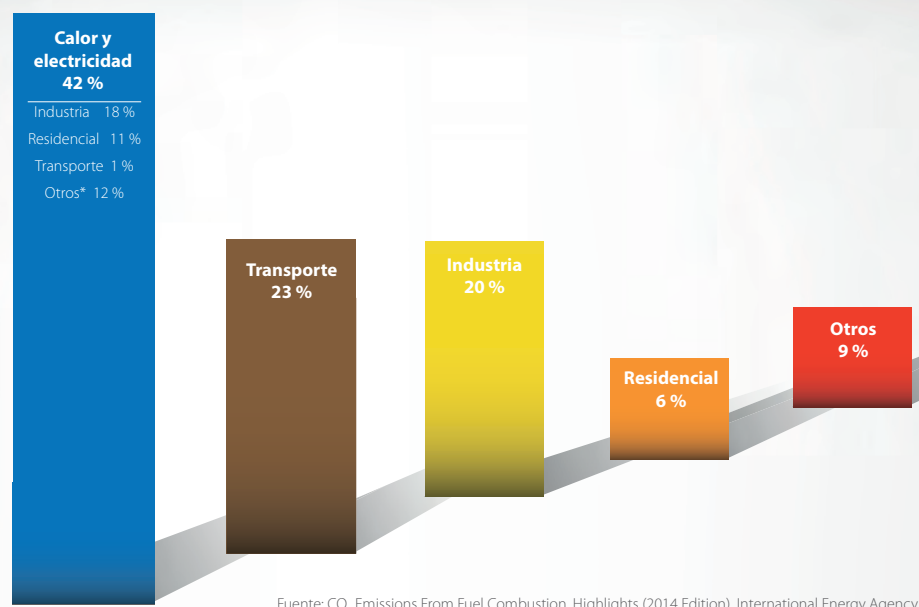
<sup>1</sup> IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report, Summary for Policymakers*, [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf).

<sup>2</sup> Los sumideros de carbono son depósitos en los que se acumulan y almacenan durante un tiempo indefinido compuestos químicos que contienen carbono, y entre ellos cabe citar los océanos, los bosques y los suelos.

### Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por sectores en 2012

Dos sectores, Calor y electricidad y Transporte, representaron en conjunto casi dos tercios de las emisiones mundiales en 2012.

Nota: También se indica la distribución de calor y electricidad a los sectores de uso final.



# Formados para la adaptación: investigadores del Pakistán, Mauricio y el Afganistán cultivan plantas mutantes para hacer frente al cambio climático

Nicole Jawerth

Desde el algodón en el Pakistán hasta los tomates en Mauricio, pasando por el trigo en el Afganistán, muchos cultivos de todo el mundo están sufriendo los efectos devastadores de las precipitaciones irregulares, las sequías, las enfermedades y un calor implacable, que el cambio climático exacerba continuamente. Mientras en todo el mundo se buscan soluciones a los desafíos del clima, tres investigadores están

utilizando la capacitación que recibieron de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura para obtener nuevas variedades de plantas capaces de soportar estas condiciones adversas y ayudar a mantener una agricultura floreciente en sus países.

## El algodón en el Pakistán

“El cambio climático está ocasionando grandes daños a los cultivos en el Pakistán, y tiene graves efectos en el crecimiento, la maduración y la productividad de las plantas de algodón y en la vida de los agricultores”, afirma Mehboob-ur Rahman, Científico Principal y Jefe de Grupo del Laboratorio de Genómica Vegetal y Mejoramiento Molecular del Instituto Nacional de Biotecnología e Ingeniería Genética, de la Comisión de Energía Atómica del Pakistán. “Estoy utilizando la formación que recibí en distintos proyectos destinados a crear nuevas variedades de plantas, por ejemplo poblaciones mutantes de algodón y trigo que toleran temperaturas más altas y resisten mejor las enfermedades. Hasta la fecha, mi grupo ha desarrollado siete variedades de algodón”. El algodón es uno de los cultivos comerciales más importantes para el Pakistán y una

de las principales fuentes de divisas. Como más del 70 % de la población vive en zonas rurales, es también un importante medio de sustento para mucha gente.

Mehboob-ur Rahman recibió capacitación en dos ocasiones en el Laboratorio de Fitomejoramiento y Fitogenética, uno de los cinco laboratorios que conforman los Laboratorios de Agricultura y Biotecnología FAO/OIEA en Seibersdorf (Austria), primero en junio de 2012 y luego en febrero de 2013. Aprendió a crear nuevas variedades de plantas mediante la mejora por inducción de mutaciones (véase el recuadro de la página 11) y trabajó en estrecho contacto con expertos del OIEA y científicos de todo el mundo.



Mehboob-ur Rahman, Científico Principal, Comisión de Energía Atómica del Pakistán (izquierda), y Bradley Till, Oficial Técnico, Laboratorio de Fitomejoramiento y Fitogenética FAO/OIEA (derecha).

(Fotografía: A. Qaiser Khan/Comisión de Energía Atómica del Pakistán)

“Antes de la capacitación, no había tenido jamás la oportunidad de realizar este tipo de trabajo de investigación, que me pareció un medio fascinante para crear nuevas variedades de plantas en un período de tiempo limitado. Este procedimiento funciona mejor que los procedimientos de mejora tradicionales”, señala Rahman.

Ahora Mehboob-ur Rahman está trabajando con un equipo en el Instituto, por medio de un proyecto de cooperación técnica del OIEA, y está utilizando sus habilidades para crear nuevas variedades de algodón y trigo resistentes al estrés ambiental y a enfermedades como el encrespamiento de la hoja del algodón, causado por un virus que puede provocar el raquitismo de la planta y reducir drásticamente los rendimientos.

“Cada año creo líneas mutantes de algodón y trigo”, dice Rahman. “Tras someter esas líneas mutantes a otras pruebas, se seleccionarán las mejores para la multiplicación y, una vez puestas en circulación, se distribuirán a los agricultores”. Las nuevas líneas mutantes deberían estar disponibles entre 2016 y 2017 para probarlas en distintas explotaciones agrícolas, y ayudarán a mantener los rendimientos y a mejorar las condiciones socioeconómicas de la comunidad rural, señaló.



## Los tomates en Mauricio

“Las lluvias fuertes provocan interrupciones en algunas actividades socioeconómicas, en las escuelas y en la industria del turismo, y afectan también al sector agrícola, al ocasionar daños a muchas plantaciones. Y el aumento de las temperaturas altera las pautas de cultivo, la floración y la productividad de algunas hortalizas y frutas. Ello está teniendo un efecto directo en la fase de floración de los tomates, con la caída de las flores, un descenso de la producción de frutos y la consiguiente disminución de los rendimientos”, señala Saraye Banumaty, Científica Investigadora Superior del Instituto de Investigación y Extensión en Alimentación y Agricultura de Mauricio. “El programa de mejora por inducción de mutaciones de los tomates está abordando el problema del clima mediante la creación de líneas de tomates que soportan el calor y que presumiblemente se adaptarán al aumento de las temperaturas”.

Saraye Banumaty está utilizando la capacitación que recibió en los laboratorios

FAO/OIEA en 2011 y en 2014-2015 para avanzar en la investigación que lleva a cabo en Mauricio. “Los dos cursos ampliaron mis conocimientos sobre el uso de la inducción de mutaciones mediante técnicas nucleares y de otro tipo para el mejoramiento de los cultivos. Además, pude comprender y utilizar la biotecnología para la detección de mutantes.” “La capacitación impartida por el OIEA me ayudó a prepararme mejor para realizar investigaciones en mi país”.

Las nuevas plantas de tomates mutantes se están ahora evaluando y desarrollando a través de un proyecto financiado por el OIEA, pero los resultados preliminares indican que algunas líneas mutantes toleran el estrés por calor. A finales de 2016 se espera poder distribuir esta variedad, que “contribuirá a mejorar la producción local de tomates y a aumentar los ingresos de los pequeños cultivadores”, afirma Saraye Banumaty.



**Saraye Banumaty, Científica Investigadora Superior, Instituto de Investigación y Extensión en Alimentación y Agricultura de Mauricio.**

(Fotografía: D. Ndeye Fatou)

## El trigo en el Afganistán

“Un agricultor afgano medio posee una hectárea de tierra, y una familia afgana media tiene siete miembros, de modo que, con el cultivo de 50 000 hectáreas de tierra con la nueva variedad de semilla de trigo que desarrollé tras recibir la capacitación del OIEA, los mayores rendimientos de las plantas y su resistencia a las enfermedades han beneficiado a 350 000 personas”, afirma Sekander Hussaini, Jefe del Centro de Investigación sobre Química, Biología y Agricultura de la Academia de Ciencias del Afganistán. “Más del 70 % de los afganos viven de la agricultura y de las empresas agrícolas conexas, por lo que es muy importante, para el Afganistán y para los medios de vida de los agricultores, que se seleccionen mutaciones adecuadas al clima y se utilicen las nuevas variedades”.

Sekander Hussaini recibió capacitación en el uso de técnicas nucleares para la mejora de las plantas por inducción de mutaciones en los laboratorios FAO/OIEA en 1992 y en 2012. “En esta formación aprendí a utilizar técnicas de radiación para el fitomejoramiento y pude encontrar la

variedad de trigo que mejor se adapta al clima y al suelo afganos”, afirma. Muchas de las variedades de semillas de Sekander Hussaini se han utilizado con resultados satisfactorios en varias provincias afganas. Su labor en esta y otras esferas de la mejora por inducción de mutaciones le valieron el premio FAO/OIEA por sus logros sobresalientes en el fitomejoramiento por mutaciones inducidas en 2014 y la nominación al Premio Mundial de la Alimentación en 2012-2014.

Actualmente Sekander Hussaini trabaja en una nueva serie de semillas de trigo que está aún en curso de evaluación, pero espera obtener buenos resultados. “Se eligieron seis variedades experimentales porque son mejores que las otras, rinden más del doble que sus plantas madre y son también más resistentes a las enfermedades”, explica. “Ahora estamos estudiando e investigando la próxima generación de estas semillas para el futuro”.



**Sekander Hussaini, Jefe del Centro de Investigación sobre Química, Biología y Agricultura, Academia de Ciencias del Afganistán.**

(Fotografía: FAO/OIEA)

# Verdor en las tierras áridas de Kenya gracias a la agricultura climáticamente inteligente

Rodolfo Quevenco



**Las prácticas de agricultura climáticamente inteligente pueden ayudar a convertir tierras marginales en campos productivos.**

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

Las tierras áridas y semiáridas constituyen casi el 80 por ciento de la superficie de Kenya, y el cambio climático está amenazando este frágil ecosistema.

En un país en el que unas prácticas agrícolas que distan de ser óptimas se traducen en un reducido crecimiento de los cultivos, una escasa cubierta vegetal, un bajo rendimiento de las cosechas y una seria degradación de las tierras, las condiciones meteorológicas resultantes del cambio climático y la variabilidad del clima han hecho que la sequía y la escasez de agua sean habituales.

Mediante el uso de técnicas nucleares, el OIEA está ayudando a Kenya a mejorar la fertilidad del suelo y las tecnologías de gestión del agua como parte de la introducción de la gestión integrada de la fertilidad del suelo (véase el recuadro), que puede ayudar a mantener el equilibrio adecuado entre agua, nutrientes y carbono y maximizar la adaptación al cambio climático de los sistemas agrícolas.

## Medios para encontrar el equilibrio adecuado

En el marco de un proyecto en curso de cinco años de duración, el OIEA está colaborando con laboratorios y científicos locales para determinar el grado de pérdida de carbono del suelo y los efectos de la sequía en las plantas y los recursos hídricos en las

regiones áridas y semiáridas de Kenya. También está ayudando a medir la absorción de abonos y el uso del agua, así como la tasa de evaporación. Los datos de ensayos de campo se integrarán en diversos modelos a fin de generar recomendaciones sobre los sistemas agrícolas apropiados que convendría introducir en las regiones afectadas.

Por ejemplo, más de 300 agricultores recibieron capacitación sobre técnicas de cultivo en terrazas que se utilizan para conservar el suelo y el agua y mejorar la productividad. La mayoría de ellos ha podido adoptar las técnicas y ha obtenido desde entonces buenas cosechas, dice Isaya Sijali, científico investigador principal y coordinador de la gestión del riego, el drenaje y los suelos de difícil cultivo de la Organización de Investigación sobre Agricultura y Ganadería de Kenya. Muchos agricultores pueden cosechar ahora más de 10 toneladas de forraje por hectárea en tierras que eran estériles antes del inicio del proyecto.

El OIEA también está proporcionando equipo y expertos para apoyar el proyecto. A fin de facilitar la transferencia de conocimientos a contrapartes locales, ha concedido varias becas y ha organizado visitas científicas, así como capacitación para becarios.

Un objetivo clave es combatir la degradación de la tierra causada por un pastoreo excesivo y unas prácticas deficientes de gestión



del suelo. Otra finalidad del proyecto es impulsar la producción agrícola, afirma Isaya Sijali.

“El uso de técnicas nucleares para validar tecnologías de gestión del agua y los nutrientes es esencial para que Kenya convierta en realidad su visión de desarrollar un sector agropecuario moderno y productivo,” dice Sijali.

“Las tecnologías nos ayudarán a maximizar el uso de tierras de elevado y mediano potencial, y a seguir desarrollando las zonas áridas y semiáridas tanto para la producción agrícola como para la pecuaria”, añade Sijali. “Las técnicas nucleares también nos ayudarán a adaptar rápidamente el uso que damos a esas tierras para poder afrontar mejor los efectos del cambio climático.”

## Colaboración interinstitucional

El Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) de Viena (Austria) también ha colaborado en el proyecto. Expertos del IIASA están trabajando con contrapartes de Kenya y el OIEA para evaluar la huella hídrica de las cosechas en las regiones central, oriental y del valle del Rift. Se espera que esta labor aporte datos valiosos sobre el consumo de agua para determinar las cantidades que guardan relación con la lluvia o con la disponibilidad de aguas superficiales o subterráneas.

Las evaluaciones de la disponibilidad de agua — sobre la abundancia, la necesidad y/o la escasez — permitirán a su vez conocer mejor las repercusiones de la sequía en los recursos existentes y las comunidades de esas zonas.

Una ampliación notable del proyecto es el desarrollo previsto de una tecnología basada en dispositivos móviles para compartir información con los agricultores. Una vez establecida, podrá enviarse a los agricultores información práctica, como la cantidad de abono que es preciso utilizar y el momento y la frecuencia del riego, directamente desde un teléfono celular.



**Casi el 80 por ciento de la superficie de Kenya se compone de tierras áridas y semiáridas.**

(Fotografía: R. Quevenco/OIEA)

## Agricultura climáticamente inteligente

La expresión más utilizada para describir este modelo de agricultura integrado y adaptable es “agricultura climáticamente inteligente”.

“Tal vez no podamos detener por completo los efectos devastadores de la sequía pero podemos reducirlos al mínimo mediante métodos de cultivo que se adapten al cambio de las condiciones climáticas e impulsen la productividad manteniendo al mismo tiempo la sostenibilidad de los recursos naturales,” afirma Sijali.

“Al apoyar a los agricultores y habilitarlos para aplicar prácticas de gestión sostenible de la tierra, les estamos ayudando a contribuir a un ecosistema positivo y a mantener el equilibrio adecuado entre agua, nutrientes y carbono y, en consecuencia, a lograr una mejor calidad de vida para todos”.

## BASE CIENTÍFICA

### Gestión integrada de la fertilidad del suelo

Se están realizando ensayos de campo en diferentes zonas de Kenya para detectar prácticas óptimas integradas que combinen los principios de la gestión integrada de la fertilidad del suelo (ISFM), la agricultura de conservación y la gestión del agua. Los resultados han mostrado que en la parte oriental árida y semiárida de Kenya, determinados conjuntos de

tecnología, que incluyen el uso de caballones compartimentados para la conservación del agua, la mejora de las variedades de cultivos y el uso de estiércol y de la microdosificación, entre otras tecnologías de ISFM, permitieron aumentar el rendimiento del maíz de menos de 500 kilogramos por hectárea a una media de 1,2 toneladas por hectárea.



# Adaptación al cambio climático: aumento de la producción de quinua mediante técnicas nucleares

Aabha Dixit



## Campo con líneas mutantes de quinua.

(Fotografía: L. Gómez-Pando/Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú))

En los esfuerzos por ayudar a los países en desarrollo a superar la amenaza de una menguante producción de alimentos causada por el cambio climático, una especie de cultivo comestible del grupo de los cereales ha captado la atención internacional por su excepcional valor nutritivo: la quinua. Los agricultores dispondrán de variedades nuevas y mejoradas de esta planta, cultivada tradicionalmente en las tierras altas de América del Sur, con mutaciones que facilitan su adaptación a los entornos difíciles de Bolivia y el Perú.

Esta mayor diversidad genética es el resultado del uso de técnicas nucleares (véase el recuadro), en colaboración con el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), dice L. Gómez-Pando, Profesora Principal y Jefa del Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú). “Hay 64 cepas mutantes de quinua seleccionadas para el mercado por su potencial de rendimiento y su calidad”, señala. “Esas cepas mutantes se seguirán evaluando y las mejores se distribuirán como variedades nuevas en 2015-2016.”

Mediante el uso de nuevas variedades de quinua de alto rendimiento, los agricultores podrán mejorar sus ingresos y aumentar su ingesta de proteínas, explica la Sra. Gómez-Pando. Las nuevas variedades

permitirán ofrecer semillas a precios asequibles a personas en peligro de malnutrición, especialmente a los niños menores de cinco años.

“Debido a su elevado valor nutritivo, agronómico y económico, la quinua será sin duda uno de los principales alimentos de las generaciones futuras y un importante cultivo alternativo, en vista de los problemas que está causando el cambio climático” dice Qu Liang, Director de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura. La quinua se considera ahora un elemento esencial en los esfuerzos por superar el hambre, la malnutrición y la pobreza.

## Protección y mejora de la producción de quinua mediante el uso de técnicas nucleares

Utilizando técnicas nucleares avanzadas, la División Mixta ha ayudado a los agricultores de América Latina y de otras regiones a aumentar aún más la producción de quinua. Esto se logró por inducción de mutaciones y detectando los genotipos mejorados, lo que permitió crear nuevas variedades de ese grano.

La quinua tiene una composición nutricional excepcional, con un contenido de proteínas superior al del arroz integral, la cebada y el mijo. Además de no contener gluten, la quinua es una excelente fuente de fibra alimentaria y tiene un nivel elevado de fósforo, magnesio, hierro y calcio. También es rica en vitaminas.

## El interés mundial por el cultivo de quinua

La quinua se cultiva en la región de los Andes, desde Colombia en el norte, hasta la Argentina y Chile en el sur. Se planta principalmente en alturas de entre 3000 y 4000 metros, donde el clima hostil impide el crecimiento de otros cultivos. Los principales países productores son Bolivia, el Perú y el Ecuador. Agricultores de los Estados Unidos de América, Francia, Inglaterra, Suecia, Dinamarca, Holanda e Italia, así como de Marruecos, Egipto, Kenya y las regiones septentrionales de la India, también han comenzado a cultivarla, con resultados cada vez más satisfactorios.

Con el reconocimiento de su valor, la quinua ha pasado de ser un cultivo poco apreciado a tener una gran demanda internacional. Se han desarrollado diversas variedades de quinua que son tolerantes a la sal, a la sequía o a las heladas y esos atributos han aumentado el interés en cultivarla en todo el mundo. Hay valiosos recursos genéticos que pueden obtenerse mediante técnicas de mejora por inducción de mutaciones que aumentan la productividad y la calidad de la quinua. “Utilizando técnicas nucleares, se puede reducir el impacto de los rasgos negativos,”



**Nuevas plantas mutantes de quinua en el Perú.**

(Fotografía: L. Gómez-Pando/Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú))

dice Ljupcho Jankuloski, un genetista de la División Mixta FAO/OIEA. Ahora los científicos han creado variedades que son menos altas, y por ello más fáciles de cosechar, tienen un ciclo de crecimiento más corto y contienen menor cantidad de saponina, un detergente natural que da al grano un sabor amargo. Las nuevas variedades que está previsto distribuir dentro de este año contribuirán a aumentar la producción de quinua y a mejorar los medios de subsistencia de los agricultores, afirma.

En reconocimiento de las prácticas ancestrales de los pueblos andinos, que a lo largo de los siglos preservaron la quinua en su estado natural como alimento para el presente y para las generaciones futuras, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró 2013 “Año Internacional de la Quinua”.

## BASE CIENTÍFICA

### Fitomejoramiento por mutaciones

La mejora de las plantas por inducción de mutaciones consiste en exponer semillas o esquejes de plantas, o tiras de hojas de plantas, a la radiación, por ejemplo, a rayos gamma o rayos X, y luego sembrar las semillas o cultivar el material irradiado en un medio de enraizamiento estéril, que genere una plántula. Posteriormente, esas plantas se multiplican y se examinan para determinar sus rasgos. La reproducción asistida por marcadores moleculares, a menudo denominada selección asistida por marcadores (SAM), permite acelerar la selección de las plantas que tienen genes de interés (rasgos deseados). La SAM consiste en emplear marcadores moleculares para seleccionar plantas que tengan determinados genes que expresen rasgos deseados. Las que tengan los rasgos deseados se seguirán cultivando.

La mejora de las plantas por inducción de mutaciones no entraña la modificación de los genes, sino que utiliza el propio material genético de la planta y emula el proceso natural de mutación espontánea, que es el motor de la evolución y que de otro modo operaría a una escala de millones de años. Con ayuda de la radiación, los científicos pueden reducir considerablemente, a veces a tan solo un año, el tiempo que se necesita para obtener variaciones beneficiosas. Las técnicas de selección se centran en algunos rasgos útiles para atender las necesidades esenciales, como la tolerancia a elevados niveles de salinidad en el suelo o la resistencia a determinadas enfermedades y plagas. Esto permite validar una nueva variedad para su uso en un tiempo récord.



# No se puede cambiar lo que no se puede medir: comprender las emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica

Michael Amdi Madsen

En Costa Rica el cambio climático es una verdadera preocupación. Es probable que el aumento del nivel del mar, la variabilidad climática y los brotes de enfermedades provocados por el clima afecten la disponibilidad de agua potable y supongan un peligro para los anfibios y la vida marina a escala local. El país se ha comprometido a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero, y actualmente está dando pasos para averiguar qué cantidad de estos gases emiten los sectores lechero y agrícola a fin de determinar las medidas que puede adoptar para reducir los efectos del cambio climático.

“La falta de capacitación, de equipo y de un laboratorio nacional hacen que Costa Rica dependa de los factores internacionales de emisión para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura”, afirma Ana Gabriela Pérez, investigadora de la Universidad de Costa Rica, que está trabajando en el desarrollo de un laboratorio nacional de referencia para la medición de estos gases en el país.

“Costa Rica tiene el objetivo de ser neutra en carbono en 2021, pero los factores internacionales de emisión de gases de efecto invernadero no son muy precisos en nuestro caso. El país necesita datos más fiables sobre sus emisiones, y tiene que poder recopilar esos datos por sí mismo”, afirma Pérez. Una manera de obtener datos sobre los gases de efecto invernadero procedentes de distintos usos de la tierra es colaborar con el OIEA para desarrollar las capacidades analíticas e instrumentales de Costa Rica con respecto a las técnicas nucleares.

## Las técnicas atómicas brindan respuestas

Las técnicas nucleares ofrecen ventajas considerables frente a las técnicas convencionales para medir los efectos del cambio climático (véase el recuadro). “Los analizadores de isótopos

estables nos permiten monitorizar los procesos agrícolas en tiempo real. Con ellos podemos cuantificar la captura de carbono y los patrones de emisión de las prácticas agrícolas, lo que nos permite encontrar formas de introducir mejoras”, explica Pérez.

El secuestro de carbono es clave para compensar el aumento del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la agricultura. Se trata de un proceso por el que se modifican las prácticas agrícolas para reducir al mínimo las emisiones y ayudar a eliminar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante la reposición de dióxido de carbono en los depósitos de suelos degradados que se van agotando, aumentando así la productividad y resiliencia del suelo ante condiciones climáticas severas.

La cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del suelo ofrece información sin igual sobre los cambios en las tasas de descomposición del carbono y el equilibrio de la respiración microbiana, lo que a su vez puede utilizarse para impulsar cambios en las prácticas agrícolas que influyen en los procesos del suelo y la emisión de CO<sub>2</sub>. La exactitud y robustez de la tecnología de haces de láser en el infrarrojo cercano permite a esta técnica cuantificar con precisión los procesos del suelo y del carbono en tierras de cultivo.

El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento atmosférico por unidad de masa 298 veces superior al CO<sub>2</sub> y se produce de forma natural en los suelos durante los procesos microbianos de nitrificación, codenitrificación y desnitrificación. “Podemos utilizar técnicas nucleares para determinar si el N<sub>2</sub>O se ha producido a partir del nitrógeno de los fertilizantes o del nitrógeno del suelo”, explica Pérez, y añade que de las mediciones del <sup>15</sup>N se sabe que, del total de las emisiones de N<sub>2</sub>O, entre un 10 % y un 40 % puede atribuirse a los fertilizantes y entre un 60 % y un 90 % se origina en el suelo.

## ¿Cómo provocan los gases de efecto invernadero el calentamiento global?

Los gases de efecto invernadero son gases que retienen el calor en la atmósfera terrestre. Absorben y emiten radiación infrarroja, y provocan lo que se conoce como el efecto invernadero, un proceso por el cual la radiación térmica de la Tierra es absorbida e irradiada de nuevo a la superficie, haciendo que la temperatura de la Tierra aumente en unos 33 grados Celsius en comparación con una situación en la que no haya ninguno de esos gases. Si bien este proceso es necesario

para mantener un clima templado en el planeta, la creciente acumulación de gases de efecto invernadero está dando lugar al calentamiento global.

Los principales gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el CO<sub>2</sub>, el metano, el N<sub>2</sub>O y el ozono.





**Análisis de muestras tomadas sobre el terreno con un cromatógrafo de gases con cargador de muestras automático y cámara volátil.**

(Fotografía: Ana Gabriela Pérez, investigadora, Universidad de Costa Rica)

## Un verdadero cambio para el cambio climático

Estos nuevos datos, específicos de Costa Rica, ayudarán a idear un cambio en las políticas del país. Las emisiones de gases de efecto invernadero y, en particular, los efectos de los fertilizantes, son la base de los cálculos de costo-beneficio que pueden emplearse para determinar la cantidad adecuada y el tipo de fertilizante que ha de utilizarse para avanzar hacia la neutralidad en carbono en el sector lechero.

El proyecto ayuda a que se produzcan cambios con la participación del sector privado a través de conferencias y estudios sobre el terreno en la Universidad de Costa Rica y a través de la Comisión Conjunta de Ganado del Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología.

Según Mohammad Zaman, científico especialista en suelos de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, el proyecto de Costa Rica es uno de los muchos proyectos coordinados de investigación en curso que ejecuta el OIEA en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) cuyo foco de atención es lograr un conocimiento más completo y exacto de las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo. Además de a los científicos de Costa Rica, afirma Zaman, el proyecto ayuda también a los científicos de Alemania, el Brasil, Chile, China, España, Estonia, Etiopía, el Irán y el Pakistán a mejorar sus capacidades para medir las emisiones de gases de efecto invernadero con mayor precisión y determinar su fuente exacta de producción en el suelo a fin de aplicar medidas de mitigación.

## BASE CIENTÍFICA

### Utilización de isótopos para estudiar la producción de gases de efecto invernadero

Los isótopos son elementos químicos (como el carbono o el nitrógeno) con el mismo número de protones pero un número distinto de neutrones. Aunque químicamente reaccionan del mismo modo, es posible distinguirlos por su distinto peso atómico. Al utilizar los isótopos como trazadores, los científicos pueden seguir los movimientos de los elementos por ciclos complejos y observar el modo en que intervienen en la producción de moléculas concretas como las de los gases de efecto invernadero.

En el caso del  $N_2O$ , los científicos pueden analizar los isotómeros (moléculas con el mismo número de isótopos de cada elemento pero en configuraciones químicas distintas) en los procesos de nitrificación, desnitrificación y codenitrificación en el suelo para estudiar la forma en que las moléculas nitrogenadas cambian en estos procesos y los distintos factores que influyen en la producción de este potente gas de efecto invernadero.

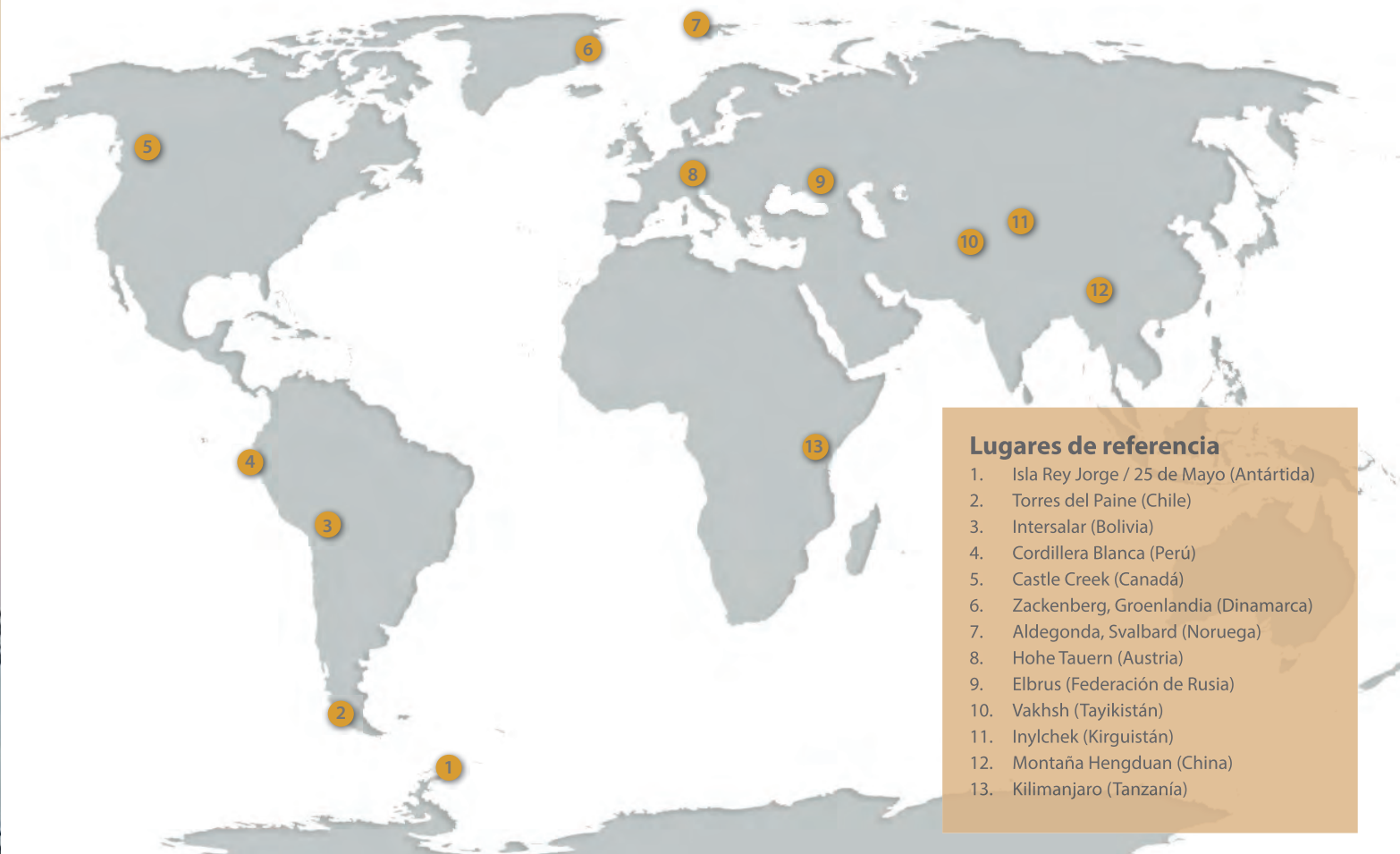
# Un mundo en evolución

Uso de las técnicas nucleares para estudiar el impacto del cambio climático en las regiones polares y montañosas

Sasha Henriques







### Lugares de referencia

1. Isla Rey Jorge / 25 de Mayo (Antártida)
2. Torres del Paine (Chile)
3. Intersalar (Bolivia)
4. Cordillera Blanca (Perú)
5. Castle Creek (Canadá)
6. Zackenberg, Groenlandia (Dinamarca)
7. Aldegonda, Svalbard (Noruega)
8. Hohe Tauern (Austria)
9. Elbrus (Federación de Rusia)
10. Vakhsh (Tayikistán)
11. Inylchek (Kirguistán)
12. Montaña Hengduan (China)
13. Kilimanjaro (Tanzanía)

**E**n las regiones polares y montañosas se están utilizando técnicas nucleares para estudiar el cambio climático y su impacto en la calidad de la tierra, el agua y los ecosistemas con el fin de conservar y gestionar mejor esos recursos.

Investigadores de todo el mundo utilizarán datos de 13 lugares de referencia para extraer conclusiones sobre los efectos de los rápidos cambios que se están dando en el clima en el Ártico, las montañas y la zona occidental de la Antártida, que han alarmado a comunidades, ecologistas, científicos y encargados de la formulación de políticas. Entre julio de 2015 y julio de 2016 esos investigadores utilizarán técnicas isotópicas y nucleares, así como métodos analíticos geoquímicos y biológicos de otras disciplinas científicas. Esto les permitirá rastrear el agua del suelo, monitorizar el movimiento de suelos y sedimentos y evaluar los efectos del deshielo del permafrost en la atmósfera, así como en las tierras, el agua y los ecosistemas frágiles de las regiones polares y montañosas. Las mediciones se efectúan tras numerosos ensayos in situ realizados desde noviembre de 2014 para perfeccionar la técnica de muestreo.

Muchos temen que el cambio climático cause la inestabilidad del suelo y que haya menos agua disponible para las comunidades que habitan las zonas montañosas. También es motivo de inquietud que los gases de efecto invernadero encerrados durante milenios en los suelos de esas regiones se liberen ahora, lleguen a la atmósfera y produzcan nuevos cambios en el clima de la Tierra. El OIEA ha iniciado un proyecto de cooperación técnica de cuatro años de duración (2014-2017), en el que participan 23 países y 6 organizaciones internacionales, para evaluar si esas inquietudes

que suscita el cambio climático están justificadas o no, y determinar lo que se puede hacer en caso afirmativo.

Aunque el proyecto se ejecutará en regiones polares y montañosas, los resultados, en particular los relacionados con el permafrost y el carbono en la atmósfera, tienen repercusiones mundiales.

Gerd Dercon, Jefe del Laboratorio de Gestión de Suelos y Aguas y Nutrición de los Cultivos, de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, señala que el impacto del cambio climático en las regiones montañosas y polares “no siempre se comprende bien. Y por eso el proyecto es tan importante. Además, este proyecto también es muy valioso para ver lo que sucede cuando cambia la criosfera –es decir, la cubierta de nieve, los mantos de hielo, los glaciares y el permafrost– y lo que ocurre en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero, la disponibilidad de agua del suelo, los sedimentos y su distribución, la estabilidad de las laderas y la erosión costera”.

### Una mirada al pasado a través de los isótopos

Según Heitor Evangelista da Silva, paleoclimatólogo de la Universidad del Estado de Río de Janeiro (Brasil), uno de los principales componentes del proyecto es el uso de las técnicas nucleares para comprender el comportamiento del clima en el pasado a fin de predecir el futuro.

Gracias a las técnicas isotópicas y nucleares, los científicos pueden leer la historia de la Tierra preservada en los propios archivos de la naturaleza. Esos archivos son el hielo de los



glaciares o los casquetes polares, el suelo y los sedimentos de lagos y océanos, y la materia orgánica de la tierra o los árboles. Los isótopos son diferentes formas de un mismo elemento, cuya diferencia es el número de neutrones que tienen.

Al medir la composición y las razones isotópicas en los estratos de sedimentos y hielo es posible reconstruir la historia y las variaciones del clima en las concentraciones de gases de efecto invernadero durante períodos de tiempo muy largos. Las mismas técnicas pueden aplicarse al suelo para extraer información sobre la forma en que el cambio climático en las regiones polares y montañosas afecta al movimiento y la calidad del suelo, y la producción de gases de efecto invernadero. La obtención de información sobre los cambios climáticos del pasado y la forma en que el medio ambiente respondió a ellos es un medio excelente para comprender los cambios actuales y futuros del clima y formular respuestas apropiadas.

### Adaptación: la cuestión más importante

En julio de 2015, el OIEA impartirá un curso de capacitación en Svalbard (Noruega) para unos 20 becarios de diferentes lugares de referencia en el que se les enseñará a utilizar los métodos de ensayo necesarios. Posteriormente, también se enviarán expertos a los diversos lugares para dar seguimiento a la capacitación en función de las necesidades. Este enfoque permitirá la comparación cruzada del muestreo y el análisis de los resultados, que es un elemento importante de este proyecto multinacional.

La recolección de muestras y el análisis de los datos se efectuarán entre julio de 2015 y julio de 2016. “Si esta fase del proyecto va bien, iniciaremos otra en la que examinaremos cómo podemos adaptarnos al cambio climático. Porque una cosa es evaluar el impacto, pero la cuestión más importante es cómo podemos usar esta información para ayudar a las



Los investigadores se dirigen a recoger muestras del suelo en la isla Rey Jorge / 25 de Mayo (Antártida).



Los científicos se desplazan a través de una cueva de hielo a fin de llegar a los mejores lugares para recoger muestras.



comunidades de las regiones montañosas a adaptarse”, dice Dercon.

## Colaboración y cambio de las políticas

“Considero que el éxito de este proyecto impulsará la colaboración entre países de todos los continentes y entre disciplinas científicas, y nos ayudará a estudiar y comprender mejor el cambio climático en las regiones montañosas y polares,” dice Bulat Mavlyudov, coordinador del proyecto interregional, y glaciólogo del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Rusia. “Los resultados se utilizarán para formular recomendaciones para la política de adaptación al cambio climático que está examinando el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.”



Miembros del equipo de investigación científica que visitaron la isla Rey Jorge / 25 de Mayo (Antártida).

(Fotografías: G. Dercon/OIEA y B. Mavlyudov/Academia de Ciencias de Rusia)



Un pequeño río aporta grandes cantidades de sedimentos desde altitudes superiores.

El análisis de la edad y la calidad de la materia orgánica del suelo puede dar a los científicos mucha información sobre el futuro cambio climático.





# Cuando el aumento del nivel del mar se une a lluvias más intensas: empleo de las técnicas nucleares en la gestión de las inundaciones

Rodolfo Quevenco

Los científicos afirman que las precipitaciones inusualmente intensas que se producen en muchos lugares del mundo son una consecuencia del cambio climático. El razonamiento es que, puesto que el aire más caliente puede contener más agua, el incremento de las temperaturas aumentará las probabilidades de que se registren episodios de precipitaciones más fuertes. Y cuando el aumento del nivel del mar se combina con precipitaciones más intensas, el resultado es casi seguro: inundaciones.

Las inundaciones son los desastres naturales más frecuentes y Asia Sudoriental es especialmente vulnerable. Se prevé que el cambio y la variabilidad del clima den lugar a un mayor número de tifones, al aumento del nivel del mar y a lluvias monzónicas fuera de temporada en Asia Sudoriental y otras regiones. Esos fenómenos pueden causar inundaciones devastadoras en países como Camboya, Filipinas, Laos, Pakistán, Tailandia y Viet Nam.

Para los habitantes de esos países que han sobrevivido a los estragos de grandes inundaciones, el camino hacia la recuperación puede ser largo y difícil. A medida que las aguas retroceden, se ven inundados por las preocupaciones e inquietudes que supone la reconstrucción de sus casas, sus vidas, sus ciudades. Los gobiernos también deben afrontar los enormes desafíos de reconstruir carreteras, edificios públicos, infraestructuras y recursos naturales que han sido destruidos o contaminados por la inundación.

## La reconstrucción con instrumentos científicos

Las zonas azotadas por las inundaciones deben ser restauradas antes de poder realizar actividades de desarrollo. Con ese fin, la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura ha puesto en marcha en la región proyectos a gran escala de varios años de duración para ayudar a los países afectados por las inundaciones a reconstruir recursos esenciales y adoptar medidas que reduzcan los efectos de futuras inundaciones.

Esos proyectos emplearán técnicas nucleares e isotópicas para encontrar una solución integrada a la gestión de las inundaciones, tanto antes como después de inundaciones de grandes proporciones (véase el recuadro).

“Gracias al uso de las técnicas nucleares, podremos seguir más de cerca las fuentes y vías de enfermedades, los nutrientes y el movimiento de suelos y aguas en las zonas afectadas por las inundaciones”, dice Raymond Sugang, especialista superior en investigación científica del Instituto Filipino de Investigaciones Nucleares.

“Esta información será sumamente valiosa para ayudar al país a hallar una solución integrada de gestión de las inundaciones y de rehabilitación basada en unos conocimientos científicos adecuados”, añade Sugang.

Hace poco, expertos de Australia y Nueva Zelandia visitaron las zonas más afectadas por el supertifón Haiyan, que devastó la costa oriental de Filipinas en noviembre de 2013. Los expertos, que trabajan en el marco de un proyecto apoyado por el OIEA, han estudiado las zonas afectadas y han propuesto técnicas nucleares que se utilizarán para determinar las fuentes de sedimentos, así como capacitación en el uso de técnicas isotópicas y de otro tipo para las contrapartes locales, explica Sugang.

Los funcionarios locales quieren analizar los cambios que se han producido en la circulación, la dinámica y la calidad de las aguas subterráneas en la ciudad de Tacloban como consecuencia del tifón Haiyan, estudiar la dinámica del proceso de recuperación natural de la zona y tratar de acelerar la restauración del medio ambiente afectado.

En general se opina que la inundación causada por la marejada gigante que acompañó al tifón podría haber contaminado los sistemas de aguas subterráneas y los acuíferos de la ciudad con materia orgánica en descomposición, cadáveres y agua del mar. También es posible que los campos circundantes ya no sean aptos para la agricultura debido a la presencia en el suelo de sal y contaminantes transportados por la inundación.

En cualquier caso, las autoridades locales necesitan acceso a información científica fiable y eficaz que sirva de base para sus planes, políticas, medidas y estrategias de mitigación. Las técnicas nucleares son instrumentos valiosos que pueden sacar a la luz esa información tan necesaria.

## Un enfoque regional de la gestión de las inundaciones

La labor realizada en Filipinas servirá de experiencia piloto para prestar asistencia a otros países de la región.

El objetivo general es mejorar la capacidad de los países de Asia para utilizar técnicas nucleares en el desarrollo de sistemas agrícolas que sean resilientes y puedan adaptarse a las inundaciones, afirma Lee Kheng Heng, Jefe de la Sección de Gestión de Suelos y Aguas y Nutrición de los Cultivos de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura. El uso eficiente de las técnicas



nucleares e isotópicas les ayudará a crear cultivos tolerantes a las inundaciones, mejorar las prácticas de gestión de nutrientes del agua del suelo para la rehabilitación y adaptación tras las inundaciones, optimizar el uso de recursos forrajeros locales y el diagnóstico rápido de enfermedades de los animales, realizar evaluaciones completas de los recursos hídricos para prever inundaciones potenciales, y elaborar estrategias para aprovechar la capacidad de las planicies aluviales de absorber el agua de las inundaciones, explica.

Entre las actividades previstas figuran las siguientes: un curso de capacitación en los laboratorios del OIEA sobre la detección temprana de enfermedades de los animales tras una inundación, prestando especial atención a las enfermedades transmitidas por el agua y por vectores; un curso de capacitación en China sobre el uso de técnicas de radionucleidos procedentes de precipitación radiactiva y de isótopos estables específicos de los compuestos, y otras técnicas pertinentes, en la mitigación de los riesgos de inundación y los esfuerzos de rehabilitación tras las inundaciones en Asia; y un curso regional de capacitación en Tailandia sobre el empleo de aplicaciones isotópicas y geoquímicas para mitigar los riesgos de inundación. Además, el Laboratorio Nacional de Argonne de los Estados Unidos está financiando un taller dirigido a responsables de la adopción de decisiones para sensibilizar acerca de la importancia de la gestión de las inundaciones y la mitigación de sus efectos.

Según Lee Heng, “en su conjunto, estas actividades ayudarán a fortalecer las capacidades de los Estados Miembros en el uso de las técnicas nucleares junto con los enfoques convencionales, y a



**Para los habitantes de Filipinas que han padecido una inundación importante, el camino hacia la recuperación puede ser largo y difícil.**

(Fotografía: Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz)

intensificar la colaboración en la gestión de inundaciones a nivel nacional y regional. Además, gracias a ellas se dispondrá de conocimientos científicos para prever cuándo se podría producir la próxima inundación, así como su posible magnitud”.

## BASE CIENTÍFICA

### Uso de isótopos estables en el control de las inundaciones y la rehabilitación

Al combinar las técnicas nucleares e isotópicas con los enfoques convencionales, los científicos pueden estudiar eficazmente los efectos de las inundaciones en los sistemas de aguas subterráneas y los acuíferos, y determinar el tiempo necesario para que esos recursos se regeneren y vuelvan al estado en que se encontraban antes de la inundación. Los científicos dependen en gran medida de las técnicas isotópicas para crear o determinar cultivos tolerantes a las inundaciones; estudiar las tendencias en la erosión del suelo y las vías de contaminación debida al agua de las inundaciones; y mejorar las prácticas de gestión del suelo, el agua y los cultivos para reducir al mínimo los picos de las inundaciones y adaptarse a esos sucesos.

Estas técnicas emplean principalmente isótopos estables, que no son radiactivos o, en el caso del tritio, que tienen concentraciones radiactivas muy bajas.

Al mismo tiempo, la aplicación de la tecnología isotópica a la vigilancia del suelo y del almacenamiento de agua a escala zonal de los sistemas de riego contribuye a mejorar la capacidad de los países para prever futuras inundaciones y los daños que estas podrían causar.

# Acidificación de los océanos: el escaso conocimiento de las repercusiones de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Michael Amdi Madsen



(Fotografía: M. Madsen/OIEA)

La acidificación de los océanos, al igual que el calentamiento mundial, es una grave consecuencia del aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y constituye una amenaza cada vez mayor para las comunidades costeras. Tanto los científicos como los economistas están pidiendo que en todo acuerdo internacional futuro sobre el cambio climático se incluyan planes para mitigar la acidificación de los océanos y adaptarse a ese fenómeno, alegando que de ese modo el acuerdo en cuestión sería más sólido y su aplicación más sencilla. El OIEA utiliza técnicas nucleares para medir la acidificación de los océanos y ha proporcionado información objetiva a los científicos, economistas y responsables de la formulación de políticas para que adopten decisiones fundamentadas.

“El primer paso consiste en reconocer que miles de millones de personas dependen de un océano sano para lograr su bienestar y desarrollo económico”, dice Alexandre Magnan, del Instituto de Desarrollo Sostenible y de Relaciones Internacionales, en un taller del OIEA celebrado en París este año. Si en el texto jurídico de un acuerdo sobre el clima se admiten las amenazas que afrontan los océanos, se podría abrir el camino para que las comunidades costeras afectadas por la acidificación de los océanos se beneficien de la financiación disponible en el marco de un acuerdo sobre el cambio climático, señaló. Ello les permitiría adaptarse a la evolución de las circunstancias sociales y económicas, conocer mejor los cambios ecológicos y biofísicos previstos y ejercer presión para que los gobiernos adopten medidas concretas, añade.

Los datos indican que la acidez de los océanos ha aumentado en un 26 %<sup>1</sup> con respecto a los niveles de la era preindustrial debido a la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera, y la

velocidad actual de la acidificación de los océanos es diez veces superior a la registrada en cualquier otro período durante los últimos 55 millones de años.

La Conferencia anual de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CP CMNUCC), celebrada en Lima (Perú) en diciembre de 2014, realizó progresos considerables en relación con un nuevo acuerdo multilateral pero los expertos han dicho que apenas se mencionaron los desafíos que afrontan las comunidades oceánicas y costeras que dependen de los servicios de los ecosistemas marinos.

## Un sistema en declive

Algunos efectos de la acidificación de los océanos y el calentamiento mundial ya son patentes, señala Ove Hoegh-Guldberg, del Instituto de Cambio Climático de la Universidad de Queensland. La Gran Barrera de Coral de Australia, que proporciona una barrera protectora durante las tormentas, es una atracción turística y sirve de criadero de peces; su tamaño se ha reducido ya en un 50 % durante los últimos 30 años, explica Hoegh-Guldberg, agregando que todavía se desconoce

<sup>1</sup>INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, “Social, economic and ethical concepts and methods” and “Drivers, trends and mitigation”, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, IPCC, Cambridge University Press, New York (2014) Ch. 3 and Ch. 5.*

<sup>2</sup>HÖNISCH, B., et al., *The geological record of ocean acidification, Science 335 (2012) 1058, 1063.*



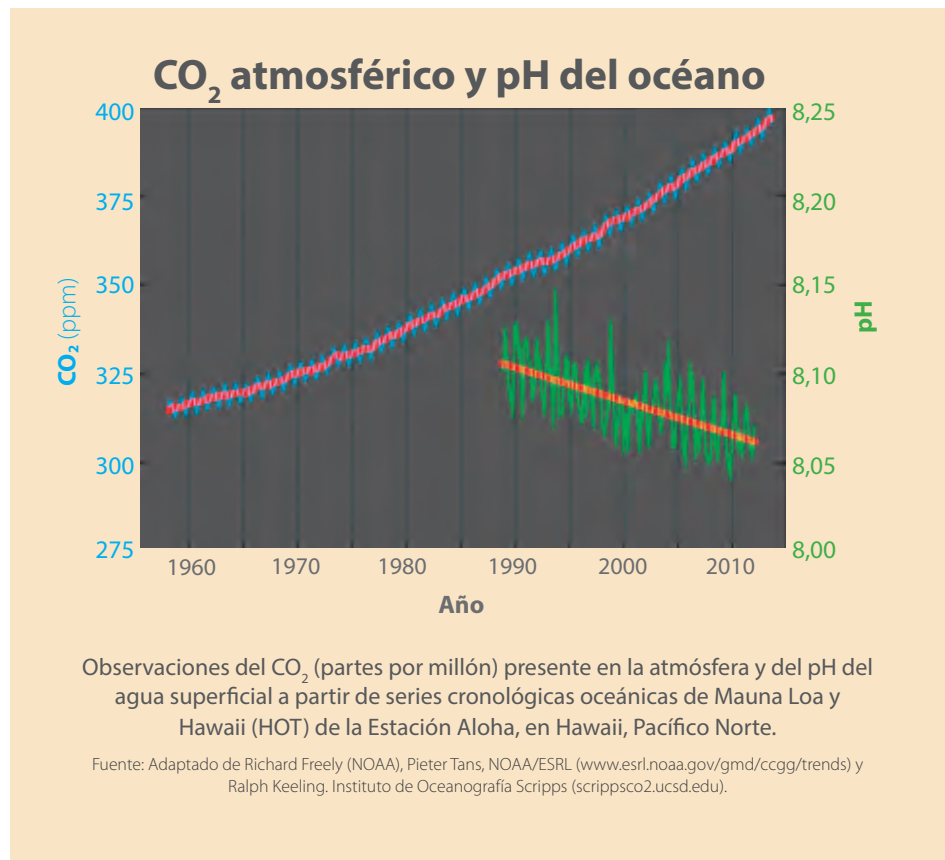
la cantidad de coral que puede perderse sin que se produzcan consecuencias de más envergadura.

Hoegh-Guldberg y sus compañeros están elaborando modelos para mostrar la manera en que la acidificación de los océanos y la pérdida de coral incidirán en los ecosistemas y las personas en general, a fin de orientar a los responsables de formular políticas para que adopten una decisión al respecto.

Muchos opinan que el nuevo frente de la investigación sobre la acidificación de los océanos será el estudio de sus efectos en los ecosistemas. El examen de determinadas especies de forma aislada no facilita suficiente información para establecer la cantidad de dióxido de carbono que los océanos pueden absorber sin que su flora y su fauna sufran daños considerables, señala Sam Dupont, un investigador del Departamento de Ciencias Biológicas y Medioambientales de la Universidad de Gotemburgo. “Tenemos que examinar mecanismos enteros y no solo especies”.

## La función de las ciencias nucleares

Las ciencias nucleares tienen una función que desempeñar en la comprensión de los efectos que el cambio climático y la acidificación de los océanos causan en los océanos. El Centro Internacional de Coordinación sobre la Acidificación de los Océanos del OIEA, situado en Mónaco, utiliza las técnicas nucleares para entender los procesos y cambios que se producen en el medio marino. El uso de radioisótopos, como el calcio 45 y el carbono 14, proporciona información importante sobre el ritmo y las repercusiones de la acidificación de los océanos. El Centro

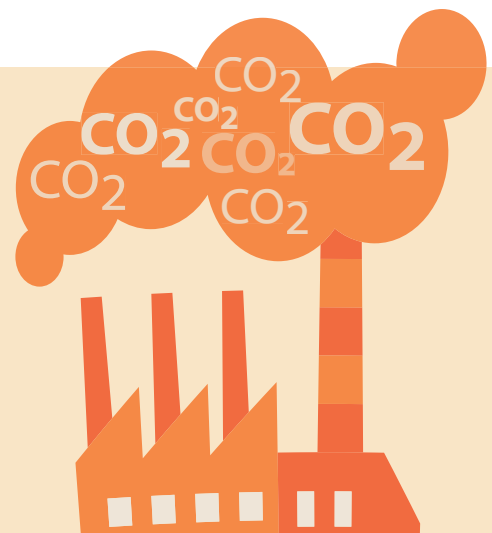


ejecuta actividades internacionales y facilita la comunicación a escala mundial para utilizar las ciencias de la forma más eficaz.

“Muchos centros de investigación de todo el mundo emplean técnicas nucleares para suministrar datos muy específicos, contribuyendo a un mayor conocimiento por parte de la comunidad científica de la gravedad y las consecuencias de la acidificación de los océanos”, dice David Osborn, Director de los Laboratorios del OIEA para el Medio Ambiente. “Ello es fundamental para prever las repercusiones económicas y sociales”.

## ¿Qué es la acidificación de los océanos?

Los océanos absorben una parte del CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera. La reacción del CO<sub>2</sub> con moléculas de agua (H<sub>2</sub>O) produce el ácido carbónico. El ácido carbónico es un ácido débil, pero incluso los cambios ligeros de la acidez de los océanos pueden tener consecuencias enormes en algunos organismos y causar efectos colaterales en toda la cadena alimentaria. Esos efectos colaterales también pueden afectar a los seres humanos, influyendo en los medios de subsistencia y la seguridad alimentaria de miles de millones de personas.





# La opción nuclear: argumentos a favor del uso de la energía nucleoeléctrica para combatir el cambio climático

Robert Stone



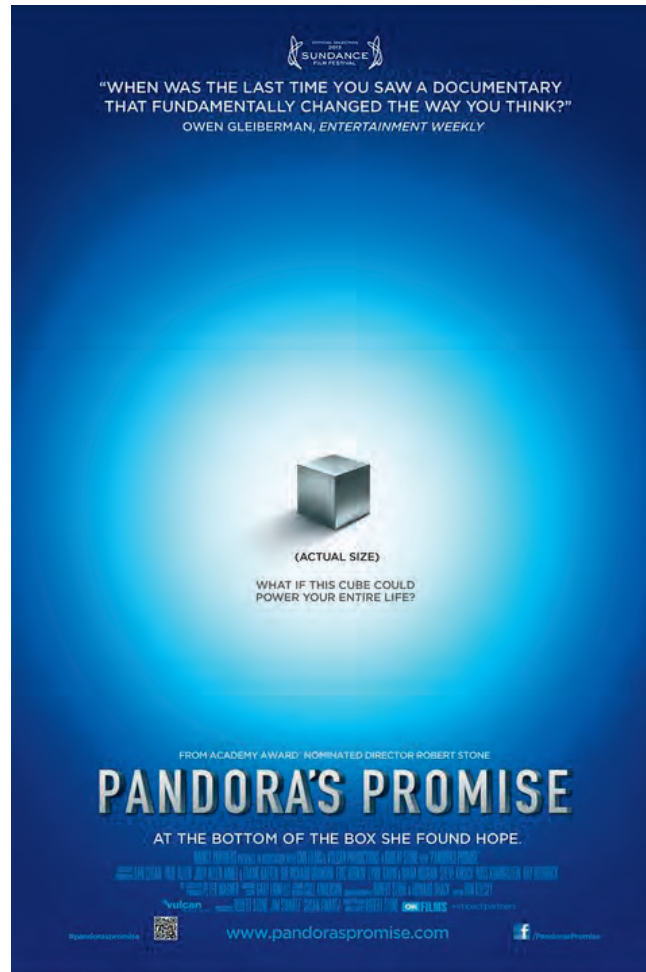
En diciembre de 2015, los dirigentes del mundo se reunirán en París para negociar un tratado mundial destinado a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera provocadas por la quema de combustibles fósiles. Quisiera pedir a todos los delegados que, cuando lleguen a la habitación de su hotel, se asomen al balcón, respiren hondo, contemplen las luces de la ciudad de París, alimentada con energía nuclear, y se inspiren en ella para imaginar cómo podría ser un futuro con energía limpia. Gracias a la decisión de utilizar energía nucleoelectrica a gran escala adoptada por Francia hace unos 30 años, la red eléctrica actual del país está prácticamente exenta de emisiones de carbono. Lo que es todavía más extraordinario es que la mayor parte de esa transición se llevó a cabo en solo 11 años (1969-1980) utilizando la tecnología de la época. Ahora la contaminación atmosférica generada por la producción de electricidad en Francia es casi nula y las tarifas eléctricas de este país son las más bajas de Europa occidental.

¿Tomarán nota los activistas del clima y los delegados de lo que Francia ha logrado, y la verán como una precursora de lo que sería posible a nivel mundial? En las negociaciones preliminares celebradas en Lima a finales de 2014, la energía nuclear quedó al margen del programa de las conversaciones sobre el clima. Los principales grupos de defensa del medio ambiente del mundo, que en gran medida impulsan el programa, sostienen que la energía nuclear es una distracción innecesaria en el camino hacia un futuro de energía renovable. Para justificar su postura, alegan que la humanidad puede reducir la demanda energética global y al mismo tiempo suministrar energía suficiente a los 3000 millones de personas que actualmente viven con un abastecimiento de electricidad reducido o nulo y atender a los otros 3000 millones de personas que nacerán de aquí a 2050. Afirman que tenemos buenas probabilidades de poder sustituir toda la infraestructura de combustibles fósiles existente, abandonar completamente la energía nuclear y satisfacer todas las necesidades de energía del mundo utilizando solo energía renovable. Y apenas se ha empezado a hablar de la energía adicional que se necesitará para electrificar el sector de transporte del mundo y atender la demanda creciente de desalación de agua, que requiere gran cantidad de energía.

Es fascinante pensar que está a nuestro alcance vivir en un mundo en el que toda la humanidad pueda recibir un suministro ilimitado de energía limpia procedente del viento y el sol. Un gran número de defensores del medio ambiente han dedicado su vida a hacer realidad ese sueño. El problema es que hay pocos indicios de que ello sea materialmente posible en el mundo real. Algunos estudios académicos ampliamente citados han demostrado que, con una voluntad política y unos recursos sin límites, y con un marcado descenso de la demanda energética mundial, se podría, al menos en teoría, imaginar que esa visión pueda hacerse realidad. Muchos ecologistas opinan que Alemania, que está abandonando la energía nuclear, es un ejemplo de un país que va por buen camino para lograr cubrir sus necesidades de electricidad casi únicamente con energía renovable. De hecho, Alemania obtiene el 5 % de su electricidad de la energía solar y alrededor del 8 % de la eólica (más que cualquier otro país industrializado importante). Pero el 87 % restante de las necesidades de electricidad del país se atiende mediante otras fuentes, como la energía hidroeléctrica y la biomasa, y sobre todo los combustibles fósiles. Además, Alemania es uno de los pocos países europeos que siguen construyendo nuevas centrales a carbón.

Robert Stone es un director de documentales que ha sido nominado al Oscar y que goza de fama internacional. Su película más reciente, La promesa de Pandora, trata de la transición experimentada por varios ecologistas destacados, antiguos adversarios de la energía nuclear, que se convierten en partidarios de esta energía en vista del cambio climático, y de las promesas que encierra la tecnología de los reactores de la próxima generación. Robert Stone cofinanció recientemente la organización sin fines de lucro Energy for Humanity, un grupo de defensa del medio ambiente con sede en Londres, que es partidario de la energía nuclear.

No hay ninguna garantía de que podamos invertir las tendencias actuales que nos están abocando posiblemente a una catástrofe climática. Pero creo que estamos reduciendo, y muy probablemente eliminando, nuestras probabilidades de éxito de manera irresponsable si insistimos en resolver este problema sin utilizar la energía nuclear a gran escala. En un mundo que está añadiendo anualmente al planeta una energía equivalente a la que consume el Brasil, y donde el carbón sigue siendo no solo la fuente de energía más utilizada sino también la que crece con más rapidez, la energía nuclear puede aportar una contribución importante al tipo de combinación de energías limpias que necesitaremos si queremos reducir seriamente nuestra dependencia de los combustibles fósiles a nivel mundial. La energía nuclear no es ciertamente la única solución para todo lugar o situación. La energía eólica, solar e hidroeléctrica, el mayor uso del gas natural a corto plazo y tal vez los avances de la tecnología de captura y almacenamiento de carbono son los otros componentes de una transición global a la energía limpia. Pero eliminar de la ecuación el potencial excepcional de la energía nuclear, como parecen resueltos a hacer los activistas del clima que se reunirán en París, es exponerse a un desastre.



Los detractores de la energía nuclear señalan que la actual iteración del reactor de agua ligera de gran escala tiene limitaciones políticas y económicas como solución sostenible y viable a los desafíos mundiales en materia de energía. Sin embargo, lo que se ignora con frecuencia es que muchos diseños de reactores avanzados de vanguardia, en cuyos aspectos científicos se viene trabajando desde hace muchos decenios, están casi listos para su comercialización (y ya lo estarían ahora si los grupos detractores de la energía nuclear no se hubieran unido para cortar la financiación de la investigación y el desarrollo hace unos años). La próxima generación de centrales nucleares tendrá la capacidad de desempeñar un papel transformador al suministrar energía limpia a la escala masiva que se requerirá para alcanzar las nuevas metas relativas al clima. El uso de los actuales desechos nucleares como combustible, unido a la capacidad de extraer uranio del agua del mar o de pasar a un ciclo del combustible de torio, que es un mineral muy abundante, garantiza un suministro prácticamente inagotable de material fisionable para atender las necesidades de electricidad de toda la población del planeta casi para siempre, al tiempo que elimina prácticamente la acumulación de desechos radiactivos de período largo. Los diseños de reactores avanzados de seguridad pasiva, como los reactores de sales fundidas y los reactores modulares pequeños, prometen una mejora espectacular de los aspectos económicos de la energía nuclear al reducir al mínimo la necesidad de disponer de los tipos de sistemas de seguridad onerosos y complejos que requieren las centrales nucleares de nuestros días. La producción en masa de componentes modulares en líneas de montaje, en lugar de la construcción del reactor en el emplazamiento, puede simplificar el proceso de producción y permitir una rápida expansión de la tecnología y una drástica reducción de los costos. Las mismas técnicas de fabricación que se emplean actualmente para producir aviones de reacción comerciales (una tecnología incluso más compleja, pero extraordinariamente segura y fiable) podrían conducir en breve a la construcción de centrales nucleares modulares normalizadas a un ritmo rápido. Esta es una visión realista.

Los delegados que se reunirán próximamente en París deberían mirar por la ventana, cuando estén allí, y disfrutar de la vista. Tendrán ante sus ojos la prueba de concepto de una transición completa de los combustibles fósiles a la energía limpia a escala nacional.

# ¿Nos ayuda realmente la energía nucleoelectrica a luchar contra el cambio climático?

Mikhail Chudakov



**A**l haber sido explotador de reactores nucleares de potencia durante buena parte de mi carrera, conozco muy bien las posibilidades que ofrece la energía nuclear. He visto muchas mejoras de la tecnología y la seguridad operacional, así como los beneficios financieros y ambientales que estas han reportado.

La comunidad mundial se enfrenta a un doble desafío: por un lado, la población del mundo, el nivel de desarrollo y, por ende, la demanda de energía aumentan constantemente; y por otro, debemos comprender el cambio climático, mitigar sus efectos y adaptarnos a él, como lamentable producto secundario del aumento del uso de energía.

La energía nucleoelectrica es la única tecnología con bajas emisiones de carbono existente en la actualidad que puede utilizarse a gran escala y con grandes capacidades para ayudar a afrontar el desafío mundial del clima y la energía. En primer lugar, las emisiones directas de gases de efecto invernadero de las centrales nucleares son insignificantes. En segundo

lugar, si se tienen en cuenta las emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida, la energía hidroeléctrica, la nuclear y la eólica son las que permiten producir electricidad con menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Por consiguiente, la energía nuclear es una opción ideal para mitigar los efectos del cambio climático de la manera más eficaz en función de los costos.

Actualmente, un número creciente de Estados Miembros del OIEA preocupados por el cambio climático están estudiando la posibilidad de introducir la energía nucleoelectrica en su matriz energética nacional o de ampliar su uso. El OIEA cuenta con un conjunto completo de instrumentos para ayudarles a comprender el desafío que plantean el clima y la energía, así como el reto que supone el inicio de un programa nucleoelectrico. Nosotros procuramos ofrecer una evaluación objetiva de la energía nucleoelectrica. Ayudamos a los responsables de la adopción de decisiones a tomar en consideración todas las opciones tecnológicas de producción de energía. Nuestros instrumentos de planificación, utilizados por 130 países y 20 organizaciones regionales e internacionales, tienen en cuenta todas las opciones energéticas. Pero cuando un Estado Miembro así lo desea, prestamos asistencia en la ejecución sostenible y tecnológica y físicamente segura de su programa nucleoelectrico.

Nuestro apoyo abarca muchas esferas que van desde la planificación energética hasta la extracción responsable de uranio, desde el examen de las infraestructuras nacionales hasta la capacitación, y desde el comportamiento operacional hasta la necesidad de ocuparse de los desechos radiactivos, la clausura y la restauración ambiental.

Mediante la energía nucleoelectrica se produce cerca del 11 % de la electricidad mundial. Nuestras proyecciones muestran que la energía nuclear seguirá desempeñando un papel clave en la matriz energética mundial durante las próximas décadas. El accidente nuclear de Fukushima Daiichi ha ralentizado el crecimiento de la energía nucleoelectrica, pero no lo ha invertido. Ese crecimiento constante indica que los factores básicos que respaldan el uso continuo de la energía nucleoelectrica no han cambiado. Cuanto más seguros sean los reactores y mejor sea su comportamiento, menores serán las emisiones de CO<sub>2</sub>. Solo en 2011 se estima que se evitaron 2,1 gigatoneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> gracias a la generación de electricidad por medios nucleares.

Creo que los diseños de reactores y combustibles avanzados e innovadores desempeñarán un papel cada vez más destacado en los esfuerzos por hacer frente a este desafío mundial. Por ejemplo, el uso de reactores rápidos y refrigerados por gas mejorará la utilización del combustible, ayudará a optimizar los ciclos del combustible, disminuirá la demanda de agua de refrigeración y reducirá al mínimo la generación de desechos radiactivos de período largo.

El Departamento de Energía Nuclear dirige las actividades del OIEA encaminadas a lograr la innovación en la esfera de la energía nucleoelectrica. Tratamos de establecer una conexión entre las numerosas disciplinas que guardan relación con los reactores avanzados, que van desde la financiación hasta un mejor empleo de los recursos, y desde el comportamiento operacional hasta la gestión de los desechos y la resistencia a la proliferación. La energía nucleoelectrica ha sido una fuente fiable de suministro de electricidad en el mundo durante más de medio siglo. Por tanto, mi respuesta a la pregunta crucial “¿Nos ayuda realmente la energía nucleoelectrica a luchar contra el cambio climático?” es un claro SÍ. Seguiremos ayudando a los Estados Miembros en sus esfuerzos por utilizar la energía nucleoelectrica de forma segura y sostenible.



## Solicitudes de participación en las actividades coordinadas de investigación del OIEA en 2015

Las organizaciones y los institutos de investigación interesados en tener acceso a enormes bases de datos mundiales sobre resultados de investigaciones y en colaborar en artículos para revistas de alto nivel revisadas por homólogos pueden ahora presentar una propuesta de contrato o acuerdo de investigación para participar en las actividades coordinadas de investigación del OIEA de este año.

Más de 1600 instituciones de investigación ya están trabajando en colaboración en más de 100 actividades coordinadas de investigación del OIEA que versan sobre una amplia gama de temas, como la mejora del diagnóstico y el tratamiento del cáncer y las enfermedades cardiovasculares, la comprensión más a fondo del cambio climático y la contaminación costera con ayuda de instrumentos isotópicos, la elaboración de diseños de seguridad de los reactores y el aumento de la eficiencia agrícola.

La finalidad de estos proyectos es promover la adquisición y difusión de

los nuevos conocimientos y adelantos tecnológicos obtenidos gracias a las tecnologías nucleares y las técnicas isotópicas, así como la adaptación de las tecnologías en los Estados Miembros del OIEA. Los resultados de estos proyectos se difunden a los Estados Miembros y a la comunidad científica internacional mediante publicaciones. Con frecuencia las conclusiones de los proyectos coordinados de investigación del OIEA dan lugar a aplicaciones prácticas importantes.

El OIEA anunciará unas 50 nuevas propuestas de proyecto este año, e invita a todas las instituciones interesadas a que presenten propuestas de investigación sobre los temas que se indican en la siguiente dirección: <http://cra.iaea.org/cra/info-letter.html>.

“Gracias a estos proyectos coordinados de investigación, los institutos de investigación, cualquiera que sea su tamaño o ubicación, pueden ampliar sus actividades”, dice el Director General Adjunto del OIEA, Aldo Malavasi. “Se trata de una excelente oportunidad

de compartir y enriquecer una base de conocimientos profundos y de coordinarse con otros en algunos de los más importantes estudios científicos que se están realizando actualmente sobre las amplias aplicaciones, pacíficas y beneficiosas, de la tecnología nuclear.”

Se dispone de financiación para sufragar los costos del equipo menor y aportar el capital inicial, pero el grueso de los gastos correrá a cargo de los Estados Miembros. El importe medio de la subvención es de 6500 euros anuales aproximadamente.

El OIEA invita a todos los interesados a que presenten propuestas para sumarse a la exploración de las fronteras de la tecnología nuclear y las técnicas isotópicas. El procedimiento de presentación de solicitudes está disponible en la siguiente dirección: <http://cra.iaea.org/cra/forms.html>.

*John Brittain y Nicole Jawerth*

**Más de 1600 instituciones de investigación están trabajando en colaboración en más de 100 actividades coordinadas de investigación del OIEA.**

(Fotografías: OIEA)



## La fructífera cooperación de Mongolia y el OIEA se centra nuevamente en la atención del cáncer

La sustitución de las unidades de tratamiento de radioterapia existentes y la próxima instalación de dos nuevos aceleradores lineales darán un gran impulso al programa nacional de lucha contra el cáncer de Mongolia y reducirán los tiempos de espera de los pacientes, según funcionarios del país. En los últimos años se ha producido un aumento del número de casos de cáncer y, “al ser Mongolia un país en desarrollo, necesitamos todo el apoyo que el OIEA nos pueda proporcionar”, afirma Minjmaa Minjgee, radiooncóloga del Centro Nacional del Cáncer, situado en la capital, Ulan Bator.

### Un diagnóstico rápido para un tratamiento eficaz

El apoyo proporcionado por el OIEA a Mongolia ha sido crucial para la adquisición de un sistema de protección radiológica de rayos gamma y un sistema de calibración de rayos X en apoyo del programa nacional de control, diagnóstico y tratamiento del cáncer. El OIEA también está ayudando a Mongolia a modernizar un sistema de imagenología médica mediante tomografía computarizada y tomografía computarizada por emisión de fotón único en el Primer Hospital General de Ulan Bator. Además, está previsto instalar dos aceleradores lineales en una nueva ampliación del hospital que se inaugurará dentro de este año. También se está estudiando la posibilidad de instalar servicios de braquiterapia tridimensional avanzada para los pacientes en 2016.

“El tiempo es esencial cuando se trata del cáncer; el diagnóstico rápido y el tratamiento eficaz en el momento oportuno ayudan a los pacientes, y estos aparatos de radioterapia son lo que nos hace falta para alcanzar nuestro objetivo”, dice Minjmaa Minjgee. Asimismo, la asistencia prestada por el OIEA a Mongolia para la movilización de recursos

permitió obtener importantes fondos proporcionados por el Japón y Mónaco para modernizar el equipo y los programas informáticos del sistema de planificación del tratamiento por radioterapia en el Centro Nacional del Cáncer.

### Los progresos logrados

Mongolia es uno de los países con menor densidad de población del mundo, por lo que es particularmente difícil proporcionar una atención del cáncer para todos.

“Nuestro objetivo es brindar acceso al diagnóstico y el tratamiento del cáncer a las personas del campo, para poder salvar vidas”, señala Minjmaa Minjgee. “Valoramos mucho la cooperación y el apoyo internacionales, en particular del OIEA, que nos ayudarán a mejorar la calidad de la atención y los servicios médicos para el tratamiento del cáncer”.

Desde 1995 el OIEA ayuda a Mongolia a mejorar su programa nacional de lucha contra el cáncer proporcionando asesoramiento sobre las políticas, el equipo y la capacitación técnica.

Además, por medio del Programa de Acción para la Terapia contra el Cáncer del OIEA, Mongolia ha recibido asistencia para la atención del cáncer pediátrico, los cuidados paliativos y la capacitación en medicina radiológica. Tras recibir asistencia en la formulación de políticas en 2010, elaboró y aprobó su Plan de Acción General sobre Prevención y Control del Cáncer para 2011-2021.

### Planificación para el futuro

Desde que pasó a formar parte del OIEA en 1973, Mongolia ha recibido asistencia en el uso de aplicaciones nucleares para mejorar la vida de su



Minjmaa Minjgee, radiooncóloga del Centro Nacional del Cáncer, Ulan Bator (Mongolia).

(Fotografía: S. Henriques/OIEA)

población en varios sectores, como el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades animales.

“Las medidas concretas adoptadas gracias a los proyectos del OIEA que han prestado apoyo a Mongolia en varias esferas mediante el uso de las aplicaciones pacíficas de las técnicas nucleares han ayudado a nuestro país y a nuestra población”, dice Tamir Nyambayar, ex asistente nacional de enlace del país ante el OIEA.

El pasado mes de marzo Mongolia finalizó su marco programático nacional para 2016-2021, que integra la aplicación de la tecnología nuclear en los planes de desarrollo del país.

*Aabha Dixit*



## Acción en alta mar: ejercicio de seguridad física del transporte frente a la costa de Suecia

Como en una película de acción, barcos, helicópteros y personas con uniforme se dieron cita frente a la costa de Suecia el 6 de mayo de 2015, cuando las autoridades nacionales realizaron un ejercicio de seguridad física durante el transporte de combustible nuclear gastado.

Esta actividad se enmarcaba en un proyecto llevado a cabo conjuntamente con el OIEA para probar y evaluar una nueva guía del Organismo sobre planificación, realización y evaluación de ejercicios de seguridad física del transporte. El objeto y el modelo de la prueba era el marco de seguridad física del sistema nacional de transporte nuclear de Suecia, país que periódicamente traslada combustible gastado desde sus centrales nucleares a lo largo de la costa hasta su instalación de almacenamiento provisional de combustible nuclear gastado.

“El ejercicio práctico constituyó un excelente entrenamiento en una situación realista no solo para la autoridad reguladora, el servicio de guardacostas y la unidad de antiterrorismo de la policía, sino también para la empresa encargada de las operaciones de transporte”, dice Tommy Nielsen, director del ejercicio, que trabaja en la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica. “Este ejercicio ofreció también a Suecia la oportunidad de mejorar aún más su sistema nacional de seguridad física del transporte”.

El OIEA había examinado el sistema de seguridad física del transporte nuclear de Suecia en 2011 y había prestado asesoramiento sobre la aplicación de las normas internacionales y las orientaciones del OIEA para la protección física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos y de las instalaciones conexas, incluidas las buenas prácticas, las recomendaciones de mejoras y las actividades de seguimiento.

### Un escenario en el mar

El ejercicio práctico fue una representación completa a escala real



Un helicóptero ayuda a recobrar el control del buque durante el ejercicio práctico.

(Fotografía: Policía de Suecia)

de una situación ficticia en la que participaron las autoridades nacionales encargadas de la supervisión del M/S Sigrid, un buque construido especialmente con ese fin, que transportaba falso combustible nuclear gastado desde la central nuclear de Forsmark. El buque, que se dirigía hacia el sur con destino a una instalación de almacenamiento provisional, fue interceptado por un grupo armado no identificado, que asumió el control del navío y obligó a la tripulación a acatar sus órdenes.

Las autoridades pasaron a la acción. Valiéndose de los planes preparados y de la amplia capacitación recibida, y actuando en estrecha coordinación, el personal de la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica, la policía nacional, el servicio de guardacostas y la Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares consiguieron recobrar el control del buque. Los planes se habían elaborado minuciosamente sobre la base de la reglamentación nacional y de la capacitación recibida, así como de las directrices del OIEA sobre la seguridad

física del transporte nuclear y los ejercicios preparatorios. La estrategia de seguridad física del transporte se basó también en los resultados de un ejercicio de simulación que se había organizado en febrero de 2015, como parte de los preparativos del ejercicio práctico, y en el que habían intervenido unos 100 participantes y observadores.

“Para mi personal es de vital importancia poder ensayar las maniobras en condiciones realistas”, señala Göran Kessell, Superintendente de la policía sueca. “La cooperación con el servicio de guardacostas y el apoyo de otras partes interesadas fue clave para que pudiéramos planificar la operación y recobrar el control del buque en mar abierto.”

A lo largo de todo el día se enviaron actualizaciones de los avances en tiempo real a los observadores del OIEA y de 15 países que se habían reunido en una instalación cercana, en la costa, para seguir de cerca y analizar el ejercicio. Los más de 40 participantes internacionales tuvieron así



la oportunidad de informarse sobre ese tipo de ejercicios.

“Estos ejercicios ayudan a elevar los niveles de seguridad física de todos los Estados y contribuyen a la aplicación de un enfoque coherente y tecnológica y físicamente seguro del transporte de material nuclear”, señala Steve Skelton, Inspector Principal de la Oficina de Reglamentación Nuclear del Reino Unido.

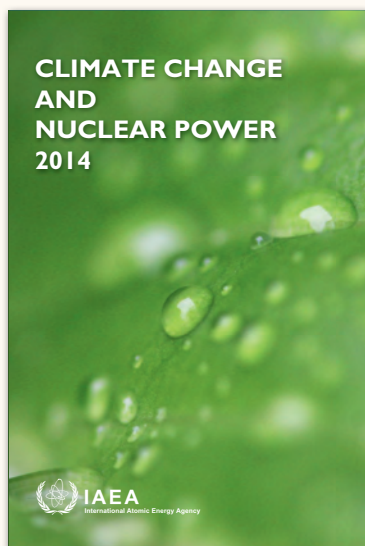
### Una guía de ejercicios oportuna y práctica

Los resultados del ejercicio piloto que se realizó del 5 al 7 de mayo de 2015 se emplearán para mejorar la guía del OIEA y complementarán los resultados del ejercicio de simulación y las aportaciones de expertos de varios Estados Miembros y otras organizaciones asociadas.

“La guía de ejercicios sobre seguridad física del transporte será un instrumento importante que permitirá al OIEA ayudar a los Estados que lo

soliciten a aplicar en la práctica las recomendaciones y orientaciones del Organismo sobre seguridad física del transporte”, dice Khammar Mrabit, Director de la División de Seguridad Física Nuclear del OIEA. “Deben utilizarse tanto ejercicios de simulación como ejercicios sobre el terreno para probar y validar los planes de seguridad física del transporte. No hay mejor plan que el que se aplica y prueba en la práctica. El Organismo está preparado para seguir prestando asistencia a los Estados en este sentido.”

## Aviso sobre las publicaciones

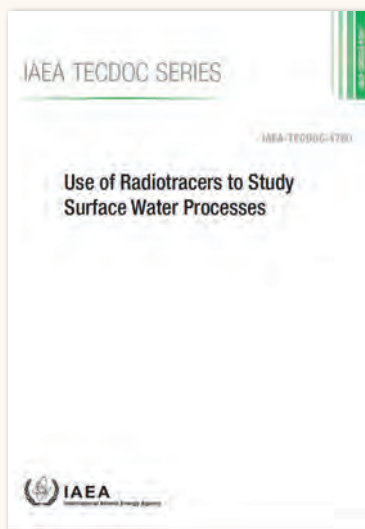


El informe titulado **Climate Change and Nuclear Power 2014** ofrece un examen y un análisis exhaustivos del papel de la energía nucleoelectrica en la mitigación del cambio climático mundial y el modo en que contribuye a afrontar otros desafíos en materia de desarrollo y medio ambiente. En él se estudian las ventajas ambientales que entraña el uso de la energía nuclear para ayudar a reducir la contaminación atmosférica a nivel local y regional, y se contemplan medidas de adaptación al cambio climático, como la desalación de agua del mar o la protección contra las fluctuaciones de la energía hidroeléctrica.

En el informe también se examinan cuestiones más generales, como el costo, la seguridad, la gestión de desechos y los últimos adelantos tecnológicos. Además, se presentan las proyecciones de la energía nucleoelectrica del OIEA de 2014 y se estudian nuevas cuestiones que afectarán a la relación entre el cambio climático y la energía nucleoelectrica en las próximas décadas.

La edición de 2015 se publicará en el último trimestre de este año.

[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10771/Climate-Change-and-Nuclear-Power-2014](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10771/Climate-Change-and-Nuclear-Power-2014)



La publicación titulada **Use of Radiotracers to Study Surface Water Processes** es una referencia esencial para todos los que están interesados directa o indirectamente en los procesos de las aguas superficiales. Proporciona una base de conocimientos para llevar a cabo estudios con radiotrazadores en medios marinos y terrestres. Los trazadores radiactivos, o radiotrazadores, son compuestos químicos en los que uno o varios átomos han sido sustituidos por un radioisótopo. Pueden ser muy útiles para estudiar procesos naturales y antropogénicos, como el cambio climático, que modifican el flujo y la calidad del agua y repercuten directamente en las vidas humanas. En la publicación se describen con detalle la tecnología de radiotrazadores, así como metodologías, diseños de estudios, mediciones y análisis relacionados con los radiotrazadores. También se dan orientaciones sobre la capacitación en el uso de radiotrazadores y se presentan estudios de casos relativos al medio ambiente de cinco Estados Miembros (Australia, el Brasil, Francia, la República de Corea y Suecia) que facilitan información sobre la realización de estudios con trazadores radiactivos.

[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10689/Use-of-Radiotracers-to-Study-Surface-Water-Processes](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10689/Use-of-Radiotracers-to-Study-Surface-Water-Processes)

# LOS ÁTOMOS EN LA INDUSTRIA

## Rayos de esperanza para el desarrollo

¿Cuáles son los usos de la tecnología de la radiación y qué beneficios reporta a nuestras vidas? El público desconoce en gran medida que las técnicas nucleares se utilizan con muchos fines además de la generación de electricidad y la terapia contra el cáncer.

En el Foro Científico de este año, que se celebrará los días 15 y 16 de septiembre de 2015, paralelamente a la 59ª reunión ordinaria de la Conferencia General del OIEA, se presentarán los usos de las tecnologías de la radiación en una amplia gama de industrias.

El Foro, que se titulará “Los átomos en la industria — Tecnología de la radiación para el desarrollo” y congregará a expertos, dirigentes de la industria e investigadores, examinará las mejores prácticas industriales de todo el planeta y servirá de plataforma para intercambiar ideas sobre la manera de aplicar esas tecnologías para impulsar las actividades de desarrollo.

“Una de las principales esferas de la labor del OIEA consiste en ayudar a los países a sacar provecho de la utilización de la tecnología nuclear con fines pacíficos. Nuestra asistencia abarca esferas como la salud humana y pecuaria, la seguridad alimentaria, la gestión del agua, la producción de electricidad y la protección del medio ambiente, entre otras”, afirma el Director General del OIEA, el Sr. Yukiya Amano.

En 2014 más de 130 países recibieron apoyo por conducto del programa de cooperación técnica del OIEA y, aunque a los ojos del público en general la tecnología nuclear se equipara a menudo con la energía nucleoelectrónica, en realidad el 80 % de los Estados Miembros del OIEA no tienen centrales nucleares.

Desde los automóviles, trenes y aviones a los que la gente se sube a diario hasta los cables que suministran electricidad para las actividades cotidianas y los instrumentos que miden la seguridad de nuestros hogares, las técnicas nucleares se utilizan ampliamente para atender las necesidades de la vida moderna.

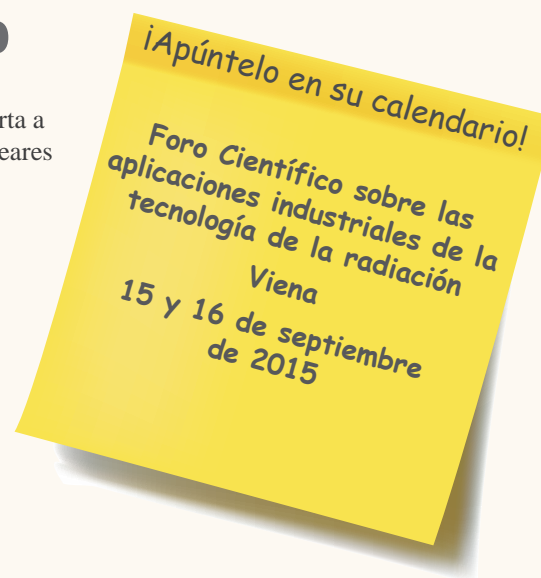
La radiación es un instrumento eficaz para matar gérmenes y organismos dañinos en la atención sanitaria y la industria alimentaria, y las técnicas de radiación utilizadas son una manera ambientalmente inocua de medir y eliminar los contaminantes en los ríos y de probar y modificar las propiedades de los materiales a fin de mejorar su estructura y resiliencia.

En el Foro también se estudiarán usos innovadores de la tecnología de la radiación, por ejemplo, en la preservación del patrimonio cultural y el procesamiento de materiales nuevos inocuos para el medio ambiente, y la manera en que estas técnicas pueden contribuir al fomento de la productividad.

“Queremos examinar con más detenimiento el papel que las técnicas nucleares pueden desempeñar en la industria de los países en desarrollo, y en cooperación con los Estados Miembros y otros asociados, determinar las formas de prestar nuestra asistencia en esferas prioritarias en que las técnicas nucleares pueden aportar valor añadido”, afirma el Sr. Amano.

Puede obtenerse más información en la dirección [www-pub.iaea.org/iaemeetings/46532/Scientific-Forum-Atoms-in-Industry-Radiation-Technology-for-Development](http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/46532/Scientific-Forum-Atoms-in-Industry-Radiation-Technology-for-Development).

*Luciana Viegas*





International Atomic Energy Agency Scientific Forum

# ATOMS IN INDUSTRY

## Radiation Technology for Development

15–16 September 2015, Vienna, Austria  
Boardroom D, C Building, 4th Floor



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

*Atoms for Peace*



CN-230