

IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Septiembre de 2025 | www.iaea.org/es/bulletin

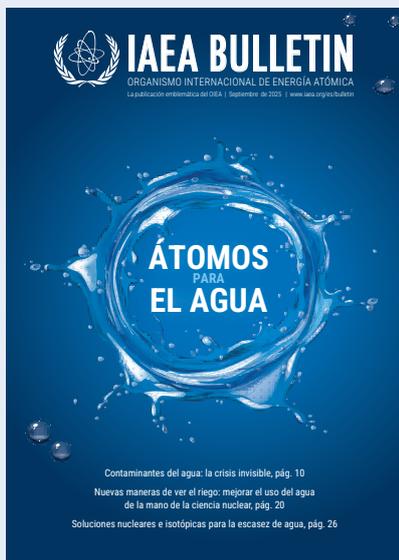


ÁTOMOS PARA EL AGUA

Contaminantes del agua: la crisis invisible, pág. 10

Nuevas maneras de ver el riego: mejorar el uso del agua
de la mano de la ciencia nuclear, pág. 20

Soluciones nucleares e isotópicas para la escasez de agua, pág. 26



BOLETÍN DEL OIEA

es una publicación de la

Oficina de Información al Público y Comunicación

Organismo Internacional de Energía Atómica

Centro Internacional de Viena

PO Box 100, 1400 Viena (Austria)

Teléfono: (43 1) 2600 0

iaeabulletin@iaea.org

Editora: Neha Sud

Editora jefa: Mary Albon

Diseño y producción: Ritu Kenn

EL BOLETÍN DEL OIEA está disponible en línea en todos los idiomas de las Naciones Unidas en www.iaea.org/es/bulletin

Podrá reproducirse libremente parte del material del OIEA contenido en el *Boletín del OIEA* siempre que se cite su fuente. En caso de que el material que quiera volverse a publicar no sea de la autoría de un miembro del personal del OIEA, deberá solicitarse permiso al autor o a la organización que lo haya redactado, salvo cuando vaya a utilizarse para una reseña.

Las opiniones expresadas en los artículos firmados que figuran en el *Boletín del OIEA* no representan necesariamente las del Organismo Internacional de Energía Atómica y este declina toda responsabilidad al respecto.

Imagen de portada:

OIEA

Síguenos en:



Átomos para la paz
y el desarrollo

La misión del **Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)** es ayudar a evitar la proliferación de las armas nucleares y ayudar a todos los países, especialmente del mundo en desarrollo, a sacar provecho de los usos de la ciencia y la tecnología nucleares con fines pacíficos y en condiciones de seguridad tecnológica y física.

El OIEA, creado en 1957 como organismo independiente de las Naciones Unidas, es la única organización del sistema de las Naciones Unidas especializada en tecnología nuclear. Por medio de sus laboratorios especializados, únicos en su clase, ayuda a transferir conocimientos y competencias técnicas a sus Estados Miembros en esferas como la salud humana, la alimentación, el agua, la industria y el medio ambiente.

Además de proporcionar una plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear, el OIEA ha creado la *Colección de Seguridad Física Nuclear*, cuyas publicaciones, que gozan del consenso internacional, ofrecen orientaciones sobre ese tema. La labor del OIEA se centra igualmente en ayudar a reducir al mínimo el riesgo de que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas y delincuentes o de que las instalaciones nucleares sean objeto de actos dolosos.

Las normas de seguridad del OIEA proporcionan los principios, requisitos y recomendaciones fundamentales para garantizar la seguridad nuclear y reflejan un consenso internacional sobre lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Esas normas han sido elaboradas pensando en que sean aplicables a cualquier tipo de instalación o actividad nuclear destinada a fines pacíficos, así como a las medidas protectoras encaminadas a reducir los riesgos radiológicos existentes.

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

La labor del OIEA es polifacética y se realiza con participación de muy diversos asociados a escala 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, en Viena (Austria), y 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, proporciona apoyo y financiación al Centro Internacional de Física Teórica Abdus Salam, en Trieste (Italia).

El poder de la ciencia y la tecnología nucleares para salvar nuestro recurso máspreciado

Rafael Mariano Grossi, Director General del OIEA

El agua es el mayor recurso compartido del mundo y ha sustentado el crecimiento y el desarrollo de los ecosistemas y las civilizaciones humanas. Pero ahora esta reserva vital está bajo presión.

El cambio climático está afectando a la disponibilidad de agua. Conforme aumentan las temperaturas mundiales, los glaciares se derriten, los lagos se evaporan y el aumento del nivel del mar saliniza las aguas subterráneas costeras. A su vez, los fenómenos meteorológicos más extremos y frecuentes hacen que el abastecimiento de agua sea más impredecible.

La población mundial sigue aumentando y, con ella, la demanda de agua para la agricultura, el uso doméstico y el saneamiento, las actividades industriales y la generación de energía. Mientras tanto, la contaminación del agua crece a un ritmo sin precedentes y un número cada vez mayor de contaminantes causa daños a lo largo del ciclo hidrológico.

Para proteger y mantener nuestros recursos hídricos —y con ello también nuestras sociedades y economías, nuestra salud y la salud de nuestro planeta—, primero tenemos que comprenderlos. Esto implica medir, monitorizar y rastrear el agua y sus contaminantes. Necesitamos datos, tecnologías de ahorro de agua —especialmente en la agricultura y la industria— y sistemas eficaces de gestión de los recursos hídricos, además de la colaboración y la coordinación entre distintos sectores y países.

El Foro Científico del OIEA de este año versará sobre el tema de átomos para el agua. La ciencia y la tecnología nucleares aportan medios valiosos para entender y proteger nuestros recursos hídricos. Por ese motivo, desde un primer momento el agua ha sido una esfera prioritaria de la labor del OIEA.

El OIEA lleva 65 años monitorizando las precipitaciones a través de la Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación, proporcionando así datos de referencia para las investigaciones hidrológicas y la gestión de los recursos hídricos. La Sección de Hidrología Isotópica del OIEA y su laboratorio se dedican a estudiar los isótopos en el agua para determinar la edad y el origen del agua, rastrear su desplazamiento y evaluar su calidad. Esto puede ayudar a determinar la cantidad de agua de la que disponemos, el tiempo que tardan en recargarse las aguas subterráneas y el grado de eficiencia con el que estamos utilizando el agua. También ayuda a detectar y rastrear contaminantes en el agua.

El OIEA tiene además una dilatada trayectoria en el desarrollo y la difusión de tecnologías y métodos para monitorizar, medir, preservar y mantener los recursos hídricos mediante

técnicas nucleares e isotópicas.

En el presente número del *Boletín del OIEA* se examina parte de nuestra labor en estas esferas, como la combinación de los datos obtenidos mediante sondas de neutrones de rayos cósmicos con la tecnología de riego por goteo para hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos agrícolas, y el tratamiento de aguas residuales con la tecnología de haces de electrones para facilitar la recolección y eliminación de microplásticos.

También se describe la manera en que los científicos del OIEA están utilizando la inteligencia artificial y otras tecnologías de vanguardia para avanzar en el análisis y la modelización en todo el ciclo hidrológico, lo que dota a los responsables de la toma de decisiones de información más adecuada para gestionar los recursos hídricos.

La contaminación, especialmente la contaminación por plásticos, asola nuestros sistemas acuáticos y nuestros océanos. En 2021, puse en marcha la iniciativa TECnología NUClear para el Control de la Contaminación por Plásticos (NUTEC Plastics) con el objetivo de aprovechar el poder de la ciencia nuclear para hacer frente a la crisis mundial generada por los plásticos mejorando el reciclaje de estos materiales y reduciendo la contaminación marina por plásticos. En 2023, puse en marcha la Red Mundial de Laboratorios de Análisis del Agua (Red GloWAL) para conferir a los países el poder de gestionar sus recursos hídricos de manera eficaz y promover la colaboración y la innovación en las investigaciones sobre el agua. A través de su programa de cooperación técnica, el OIEA proporciona a los países capacitación, conocimientos especializados y equipo para aumentar las capacidades nacionales para la investigación, la monitorización y la gestión del agua.

Compartimos un sistema hídrico mundial, en el que los acontecimientos acaecidos en una región pueden afectar a los recursos hídricos de otra. Para gestionar eficazmente los recursos hídricos del planeta, debemos comprender estas interrelaciones y cooperar. Si trabajamos conjuntamente, podemos construir una economía del agua más circular y sostenible que proteja nuestro medio ambiente y nos beneficie a todos.





1 El poder de la ciencia y la tecnología nucleares para salvar nuestro recurso más preciado



4 El agua es responsabilidad de todos

Entrevista con Retno Marsudi, Enviada Especial del Secretario General de las Naciones Unidas para el Agua



6 Asia Central toma la delantera en la conservación de los glaciares



10 Contaminantes del agua: la crisis invisible



14 Conocer el pasado de una gota de agua



16 Estrategia del Brasil de protección de sus recursos de agua dulce



18 Los científicos estudian los “ríos invisibles” para gestionar las condiciones meteorológicas extremas y la escasez de agua



20 Nuevas maneras de ver el riego



22 Descodificar el agua



24 La cooperación transfronteriza en el sector hídrico abre cauces en Europa sudoriental



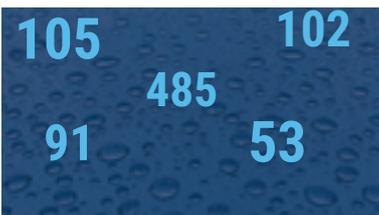
26 Soluciones nucleares e isotópicas para la escasez de agua



28 Un día en la vida de un especialista del OIEA en hidrología isotópica



30 Las redes del OIEA promueven la investigación sobre el agua



31 El OIEA en cifras

NOTICIAS DEL OIEA

32 Noticias

36 Publicaciones

El agua es responsabilidad de todos

Entrevista con Retno Marsudi, Enviada Especial del Secretario General de las Naciones Unidas para el Agua

La Enviada Especial del Secretario General de las Naciones Unidas para el Agua, Retno Marsudi, expone sus opiniones sobre lo que debe hacerse para garantizar a todos un futuro resiliente desde la óptica del agua. Como defensora mundial del papel del agua, propugna iniciativas dirigidas a movilizar medidas y recursos y fortalecer la cooperación internacional para promover la agenda mundial del agua. De 2014 a 2024 ocupó el cargo de Ministra de Relaciones Exteriores de Indonesia.



Hablar de agua no es solo hablar de infraestructura o sistemas: es hablar de supervivencia. Se refiere a proteger los fundamentos de la vida y los medios de subsistencia.

— Retno Marsudi,
Enviada Especial del
Secretario General de las
Naciones Unidas para el Agua

P: ¿Qué significa el agua personalmente para usted?

R: El agua siempre ha tenido para mí un sentido profundo.

Como mujer, comprendo cómo las mujeres y niñas se ven afectadas de forma desproporcionada por los desafíos relacionados con el agua. En muchas partes del mundo la escasez de agua y el acceso limitado al agua apta para el consumo les imponen una carga desigual y las obligan a recorrer grandes distancias en busca de agua para su familia.

Sin embargo, las mujeres también son promotoras del cambio. Tengo la convicción, corroborada sistemáticamente por datos científicos, de que el liderazgo de mujeres en la esfera del agua arroja resultados más sostenibles y equitativos, no solo en esa esfera, sino también en el resto de sectores del desarrollo.

También estoy convencida de que la responsabilidad en materia de gestión del agua va más allá de compromisos mundiales o mandatos institucionales: se dirige a nuestra existencia misma, a nuestra dignidad y a la vida de las generaciones venideras. Hablar de agua no es solo hablar de infraestructura o sistemas: es hablar de supervivencia. Se refiere a proteger los fundamentos de la vida y los medios de subsistencia.

Por eso tiene tanto peso la responsabilidad de cumplir los compromisos mundiales en el ámbito del agua. No se trata de

políticas sin más; se trata de mejorar la vida en todas partes, la de todos, especialmente en el caso de quienes se quedan atrás con más frecuencia.

P: ¿Cuáles le parecen las principales prioridades en relación con el logro de unos recursos hídricos sostenibles para nuestro planeta?

R: El agua es esencial para la vida, y nuestros sistemas hídricos mundiales sufren hoy un estrés sin precedentes. Se estima que 2400 millones de personas viven en países sometidos a estrés hídrico. En 2022 por lo menos 1700 millones de personas de todo el mundo dependían de agua de bebida procedente de fuentes contaminadas.

El cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos no hacen más que agravar esta situación; 2024 fue el año más cálido del que se tiene registro. Son precisas medidas urgentes y polifacéticas, como el fortalecimiento de la investigación, la creación de capacidad, el empoderamiento de las mujeres y los jóvenes para fomentar la innovación y muchas más iniciativas.

Subyace a todas estas iniciativas un elemento indispensable: la cooperación internacional fundada en la solidaridad mundial.

La cooperación internacional es esencial para pasar de los compromisos mundiales a las medidas concretas. Por desgracia, la financiación en el ámbito del agua sigue siendo insuficiente y tiende a la baja a escala mundial. Se estima que para atender la futura demanda de agua e infraestructura hídrica se necesitarán 6,7 billones de dólares para 2030 y más de 22 billones de dólares para 2050.

Para lograr un futuro seguro desde la óptica del agua debemos dar prioridad a una colaboración internacional audaz, en particular en las esferas de la financiación, el desarrollo tecnológico y la creación de capacidad de las personas más necesitadas.

P: ¿Cuáles son los enfoques más eficaces para acelerar la eficiencia, la resiliencia y la sostenibilidad en materia de gestión del agua?

R: En el marco de mis diálogos con países y partes interesadas en el ámbito del agua, hago sistemáticamente hincapié en que el agua es responsabilidad de todos. Ninguna persona, institución o país puede hacer frente en solitario a los desafíos mundiales que encuentra el agua. Debe darse cabida inclusiva a los gobiernos, el sector

privado, el mundo académico, las organizaciones de la sociedad civil y otras instancias en la tarea de moldear y poner en práctica las iniciativas de gestión del agua.

Un enfoque compartido por diversas partes interesadas fortalece la sensación de pertenencia velando por que todos los agentes tomen parte en la planificación, implantación y evaluación de soluciones en materia de agua. Este enfoque aprovecha los distintos conocimientos especializados y capacidades aportados por cada parte interesada.

Reviste la misma importancia un enfoque multisectorial que incorpore el agua en todas las dimensiones del desarrollo. Mediante una gestión integrada de los recursos hídricos el agua puede ofrecer una solución unificadora a diversos desafíos de ámbito mundial, entre ellos la erradicación de la pobreza, la resiliencia al clima, la seguridad alimentaria y energética, la reducción de los riesgos de desastre y el empoderamiento de las mujeres y los jóvenes.

Estos enfoques dependen de un marco operacional sólido. De ahí la importancia capital del triple principio de promoción, armonización y aceleración de las medidas: promoción para convertir el agua en una prioridad común, armonización para dotar de coherencia a todas las iniciativas relativas al agua y aceleración para intensificar la innovación y la acción.

Por último, no debemos dejar pasar la oportunidad de aprovechar el papel transformador de la tecnología en la aceleración de la eficiencia, la resiliencia y la sostenibilidad de la gestión del agua. Gracias a la tecnología podemos garantizar una gestión y un uso eficaces del agua. Podemos producir más (más alimentos, más energía y más crecimiento económico) con menos agua.

P: ¿Dónde ve el mayor potencial del OIEA en su contribución a abordar los desafíos relacionados con el agua mediante la ciencia y la tecnología nucleares?

R: Al dedicarse decididamente a la investigación, el desarrollo y la creación de capacidad, el OIEA tiene mucho que ofrecer.

La hidrología isotópica destaca como poderoso ejemplo del potencial transformador de las ciencias nucleares frente a los complejos desafíos que rodean al agua. La capacidad de la hidrología isotópica de rastrear con precisión el origen, la edad y la calidad del agua marca un antes y un después en la gestión de los recursos hídricos.

La hidrología isotópica también nos ofrece un conocimiento profundo de los sistemas hídricos mundiales al permitirnos no solo responder a los desafíos actuales, sino también adelantarnos a los futuros riesgos de desastre en el ámbito hídrico y prepararnos para hacerles frente. Fortalece la capacidad de alerta temprana y la planificación de la resiliencia a largo plazo en la esfera del agua.

Aliento al OIEA a que siga dando prioridad a la aplicación de ciencias nucleares frente a las dificultades más apremiantes en el ámbito del agua, en particular por lo que se refiere a las que afectan de forma desproporcionada a los países en desarrollo, como la sequía y la escasez de agua, los riesgos de inundación derivados de condiciones climatológicas extremas y la contaminación del agua. Creo que, gracias a la aplicación de la ciencia y la tecnología nucleares, el OIEA contribuirá al fortalecimiento de la resiliencia mundial en la esfera del agua.

P: ¿Qué esperanzas y expectativas alberga con respecto a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua de 2026?

R: Me guían las esperanzas y expectativas expresadas sistemáticamente por países y partes interesadas en el agua de todo el mundo.

Son altas las expectativas que despierta la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua de 2026. Será un hito fundamental en los avances mundiales en materia de agua y una oportunidad decisiva para acelerar la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (agua limpia y saneamiento).

También se espera que la Conferencia fundamente y moldee el futuro de la agenda mundial del agua más allá de 2030 en atención a una conciencia en aumento de que para garantizar nuestro futuro en la esfera del agua hacen falta no solo medidas inmediatas, sino también una visión clara del mañana, no solo el de la población mundial sino también el del planeta.

El éxito de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua de 2026 depende en importante medida del firme compromiso de los países y las partes interesadas en el agua de todo el mundo. Solo podrán obtenerse resultados significativos y viables mediante procesos de preparación inclusivos y transparentes. Me interesa mucho colaborar con el OIEA en pos de este objetivo.



Asia Central toma la delantera en la conservación de los glaciares

Mary Albon

En Asia Central y otras regiones montañosas del mundo los glaciares se están derritiendo más rápido que nunca. El aumento de las temperaturas está acortando los inviernos y prolongando los veranos, lo que a su vez provoca el retroceso de los glaciares.

Los glaciares almacenan cerca del 70 % del agua dulce del planeta, de la que dependen casi dos mil millones de personas para el abastecimiento de agua potable, la agricultura, la industria y la producción de energía. Los glaciares también sustentan ecosistemas y son “estabilizadores climáticos” a escala local, ya que actúan como barreras contra la absorción de calor al reflejar la radiación solar hacia el espacio.

A medida que los glaciares siguen retrocediendo e incluso desapareciendo, el ciclo del agua se está volviendo cada vez más impredecible, lo que afecta al abastecimiento de agua en todo el mundo. Esta pérdida no es solo un problema ambiental, sino también económico, ya que repercute en los medios de subsistencia de millones de personas. Según estimaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el agotamiento de las reservas de agua dulce alimentadas por glaciares podría poner en peligro 4 billones de dólares del producto interno bruto mundial como consecuencia de perturbaciones en la agricultura, el abastecimiento de agua en zonas urbanas y la producción de energía.

Yaks en un valle montañoso de Asia Central.

(Fotografía: AdobeStock)

Los efectos del cambio climático en los glaciares de Asia Central

En Asia Central, la situación es cada vez más grave. “Las consecuencias del cambio climático mundial se hacen sentir en cada uno de nuestros países —declaró el Presidente de Uzbekistán, Shavkat Mirziyoyev, en la Sexta Cumbre de Asia Central, celebrada en agosto de 2024—. El aumento de las temperaturas, el deshielo de los glaciares, las inundaciones, las sequías, las tormentas de polvo y muchos otros problemas siguen causando daños graves”.

Según un informe de 2022 del Banco Euroasiático de Desarrollo, las temperaturas de la región están aumentando a un ritmo casi dos veces superior a la media mundial, lo que incrementa la desertificación y acelera el deshielo de los glaciares.

“Hasta la fecha, de los 14 000 glaciares de Tayikistán más de 1000 se han derretido por completo —indicó el Presidente de Tayikistán, Emomali Rahmon, en la Primera Conferencia Internacional de Alto Nivel sobre la Conservación de los Glaciares, celebrada en Dushanbé en mayo de 2025—. En las últimas décadas, el volumen total de los glaciares de nuestro país, que constituyen más del 60 % de los recursos hídricos de la región de Asia Central, se ha reducido en casi un tercio”.



También se han visto afectados los glaciares de Kirguistán: la superficie cubierta por glaciares ha disminuido un 16 % en los últimos 50 a 70 años.

“Si esta tendencia continúa, una parte importante de los glaciares podría desaparecer para finales de siglo —declaró el Presidente de Kirguistán, Sadyr Japarov, en el 29º período de sesiones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP29), celebrada en 2024—. No se trata solo de estadísticas, sino de una amenaza directa para la vida y el bienestar de millones de personas, que dependen de los glaciares como fuente de agua dulce”.

Frenar la crisis

A instancias de Tayikistán, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó 2025 Año Internacional de la Conservación de los Glaciares para crear conciencia sobre el deshielo de los glaciares y abogar por políticas y medidas para preservarlos. La inauguración oficial tuvo lugar en Nueva York el 21 de marzo de 2025, con motivo del primer Día Mundial de los Glaciares.

Pocas semanas más tarde, en la Conferencia Internacional de Alto Nivel sobre la Conservación de los Glaciares se aprobó la Declaración de Dushanbé sobre los Glaciares, en la que se expresaba preocupación por el hecho de que la pérdida continua de glaciares, mantos de hielo, permafrost y mantos de nieve tuviera efectos irreversibles en algunos ecosistemas y consecuencias perjudiciales para el medio ambiente, las sociedades y las economías.

En la declaración se pedían la elaboración de un inventario mundial de glaciares y otras masas de hielo y nieve perennes; enfoques integrados de mitigación del cambio climático, adaptación y resiliencia ante este para una gestión sostenible del agua; cooperación científica en las actividades de vigilancia e investigación de la criosfera de las montañas y acceso de las partes interesadas a las conclusiones, y actividades de creación de capacidad que establezcan vínculos entre la ciencia, las políticas y los conocimientos tradicionales para capacitar a la próxima generación de científicos y profesionales especializados en glaciares.



Cooperación internacional al servicio de las actividades de vigilancia e investigación de glaciares

Este año también da comienzo al Decenio de Acción para las Ciencias Criosféricas, una iniciativa mundial para promover la investigación y la colaboración internacional y crear conciencia sobre la importancia de las regiones heladas de la Tierra, especialmente los glaciares.

La conservación de los glaciares es un componente clave de una estrategia regional integral de adaptación al cambio climático en Asia Central que han formulado conjuntamente Kazajstán, Kirguistán, Tayikistán, Turkmenistán y Uzbekistán.

“Ningún país puede afrontar por sí solo los desafíos que plantea el cambio climático —expresa el Presidente Japarov—. Necesitamos solidaridad, cooperación e intercambio de experiencias”.

En el marco de esta estrategia regional, los cinco países están reforzando sus capacidades nacionales de vigilancia de glaciares, colaborando en actividades conjuntas de vigilancia y elaborando un inventario exhaustivo de los glaciares de la región.

Preparación de muestras de agua procedente del deshielo de glaciares para analizarlas en el nuevo laboratorio de hidrología isotópica de Tayikistán. (Fotografía: Y. Vystavna/OIEA)



Los datos sobre los glaciares son de vital importancia para las evaluaciones científicas y para la toma de decisiones sobre estrategias de adaptación y mitigación. En 2025, con el apoyo del programa de cooperación técnica del OIEA, Tayikistán inauguró el primer laboratorio de hidrología isotópica de Asia Central para realizar investigaciones sobre los glaciares. El OIEA suministró al laboratorio equipos para estudiar los glaciares en condiciones sobre el terreno e impartió capacitación a los científicos para utilizarlos. Tayikistán también ha propuesto el establecimiento de una red regional en el marco de la Red Mundial de Laboratorios de Análisis del Agua (Red GloWAL) del OIEA. El OIEA trabajará con los países de Asia Central para elaborar una hoja de ruta al respecto.

“En las tierras áridas de Asia Central, la hidrología isotópica tiende un puente entre el pasado y el presente —explica Yuliya Vystavna, especialista del OIEA en hidrología isotópica—. Permite rastrear antiguas huellas del clima y el actual deshielo de los glaciares para orientar el uso sostenible del agua en una región donde cada gota cuenta”.

La labor del OIEA sobre los glaciares

El OIEA lleva más de una década colaborando con países montañosos para vigilar y medir el retroceso glaciar. Kazajstán y Uzbekistán se encuentran entre los 12 países que participan en un nuevo proyecto coordinado de investigación del OIEA en el que se utilizan instrumentos de hidrología isotópica para mejorar la evaluación de los procesos complejos relacionados con el retroceso glaciar y los efectos más amplios de este fenómeno en la disponibilidad de recursos hídricos.

A pesar de su importancia para el abastecimiento de agua, en muchas regiones heladas el deshielo de los glaciares, la fusión de la nieve, las precipitaciones y otras fuentes de agua no se miden adecuadamente. El proyecto del OIEA ayudará a los países a recopilar datos exactos y fiables para comprender mejor los glaciares y la capacidad de recarga de los sistemas locales y regionales de recursos hídricos. Esto servirá de base a estrategias de gestión sostenible del agua para las regiones montañosas y contribuirá a una mejor planificación de los recursos hídricos para las comunidades situadas aguas abajo.

Tayikistán, Uzbekistán y otros siete países están estudiando la capa de nieve y los glaciares de montaña en el marco de un nuevo proyecto regional de cooperación técnica del OIEA para apoyar una gestión de los recursos hídricos transfronterizos científicamente fundamentada. Un objetivo clave de esta labor es preservar las características isotópicas de los glaciares que están a punto de desaparecer.

Por conducto del Centro Conjunto FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura (Centro Conjunto FAO/OIEA), el OIEA está estudiando los efectos del retroceso glaciario en el suelo y los recursos hídricos mediante técnicas nucleares e isotópicas avanzadas. Algunos instrumentos como las sondas de neutrones de rayos cósmicos y los trazadores isotópicos permiten una monitorización precisa y en tiempo real de la acumulación de nieve en los glaciares y la evaluación de la redistribución de sedimentos desde las zonas deglaciadas hacia los ríos y lagos aguas abajo. A través de su programa de cooperación técnica, el OIEA imparte capacitación a científicos desde los Andes hasta el Himalaya en el uso de estas técnicas para la vigilancia de

glaciares, contribuyendo así a la formulación de estrategias de adaptación al cambio climático científicamente fundamentadas y específicas para cada lugar.

“Al combinar las ciencias nucleares con los conocimientos especializados a nivel local, facultamos a científicos y responsables de la formulación de políticas para que conviertan los datos en acciones en favor de la resiliencia ante el clima”, asegura Gerd Dercon, Jefe del Laboratorio de Gestión de Suelos y Aguas y Nutrición de los Cultivos del Centro Conjunto FAO/OIEA.

Cordillera del Pamir (Kirguistán).

(Fotografía: AdobeStock)



Contaminantes del agua: la crisis invisible

Emma Midgley

El agua es esencial para la seguridad alimentaria, la salud humana y el desarrollo económico. Pero a medida que la población crece y se intensifica el cambio climático, aumenta la contaminación a lo largo del ciclo hidrológico.

Los contaminantes del agua son muy diversos y, a menudo, invisibles. Entre los más comunes se encuentran fertilizantes, plásticos, aguas residuales, productos farmacéuticos, hormonas, sustancias químicas industriales, productos petroquímicos, metales pesados y escorrentía minera.

Los países que tratan de mejorar la calidad del agua se encuentran con un escollo fundamental: la falta de datos sobre sus recursos hídricos. Las técnicas nucleares e isotópicas pueden ayudarnos a entender dónde se origina la contaminación del agua y ofrecer soluciones con respaldo científico para mitigar este problema.

El problema del nitrógeno

El nitrógeno es una de las principales fuentes de contaminación del agua y puede llegar a tener efectos graves en la salud humana y el medio ambiente. Entre las fuentes de contaminación por nitrógeno más importantes se encuentran los fertilizantes, las aguas residuales y los vertidos industriales. Aunque el abono nitrogenado ha ayudado a aumentar la producción de alimentos en el último siglo, en torno a un 80 % se pierde en el medio ambiente.

“La contaminación por nitrógeno, especialmente por nitratos, es una grave amenaza para los ríos, los lagos, las aguas subterráneas y las aguas costeras —explica Ioannis Matiatos, especialista en hidrología isotópica del

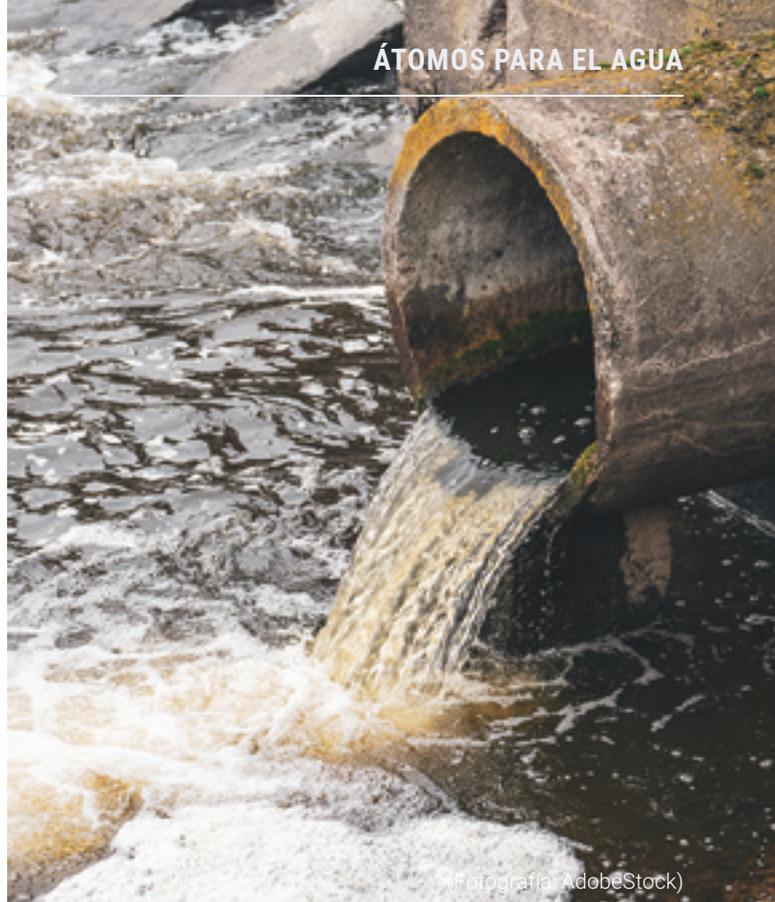
Centro Helénico de Investigación Marina de Grecia—. Es fundamental rastrear de dónde viene la contaminación por nitratos para proteger los sistemas acuáticos y orientar la labor de limpieza de las zonas contaminadas”.

Los nitratos son la forma de nitrógeno más soluble, por lo que se filtran fácilmente a las aguas subterráneas, los lagos y los ríos. Cuando en el agua potable hay niveles elevados de nitratos, estos pueden mermar la capacidad de la sangre para transportar oxígeno en el organismo. La contaminación por nitrógeno también provoca un exceso de nutrientes en el agua, que da lugar a un crecimiento nocivo de algas y plantas en lagos y ríos. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la contaminación por nitrógeno es el principal factor de pérdida de biodiversidad después de la destrucción del hábitat y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El cambio climático está agravando los efectos de la contaminación por nitrógeno. Debido al incremento de la temperatura terrestre se producen más incendios forestales y aumenta el uso de retardantes de fuego. Estos contienen grandes cantidades de compuestos nitrogenados que acaban filtrándose a las fuentes de agua. Paralelamente, la temperatura de los lagos y los ríos aumenta a medida que lo hace la del planeta, lo que favorece el crecimiento de determinados tipos de vegetación que pueden dañar los ecosistemas y el medio ambiente. Contrariamente a lo que sucede con los lagos más fríos, que retiran nitrógeno del ciclo del nitrógeno y lo almacenan durante largos períodos, los lagos más cálidos llenos de algas pueden emitir óxido nitroso, un gas de efecto invernadero.

Una bolsa de plástico de un solo uso flota junto a un arrecife de coral en Bali. (Fotografía: N Bertolt Jensen/Ocean Image Bank)





(Fotografía: AdobeStock)

Uso del análisis isotópico para comprender la contaminación por nitrógeno

El OIEA está utilizando técnicas isotópicas para ayudar a determinar las fuentes de contaminación por nitrógeno. Como parte de sus investigaciones ha colaborado con la Universidad de Massachusetts para desarrollar métodos más baratos, seguros y rápidos que permitan rastrear el origen de la contaminación por nitrógeno en ríos, lagos y mares.

“Las técnicas basadas en los isótopos del nitrato son una herramienta potente porque nos ayudan a determinar las fuentes de contaminación por nitratos y a comprender cómo se utiliza y transforma el nitrógeno en la naturaleza”, afirma el Sr. Matiatos.

A través de su programa de cooperación técnica, el OIEA está ayudando a los países a crear capacidad en el uso de técnicas isotópicas para estudiar la contaminación por nitrógeno en cualquier lugar, desde los Alpes italianos, donde el agua del deshielo de los glaciares alimenta los lagos cercanos, hasta la megápolis de Kolkata, en la India.

El OIEA también emplea técnicas isotópicas y nucleares para ayudar a los países a utilizar los fertilizantes de forma más eficiente, aumentar la captura de carbono y nitrógeno en los ecosistemas agrícolas y estudiar la forma en que las leguminosas, o los sistemas integrados de producción agropecuaria, pueden reducir la necesidad de fertilizantes químicos.

Compuestos de preocupación emergente

En los sistemas de aguas superficiales se detectan cada vez más contaminantes como productos farmacéuticos, hormonas, sustancias químicas industriales y productos de cuidado personal, generalmente procedentes de las aguas residuales de origen municipal, industrial y doméstico. Solo recientemente se ha determinado que estos contaminantes, conocidos como “compuestos de preocupación emergente”, pueden entrañar riesgos para el medio ambiente, y todavía son limitadas las leyes nacionales o internacionales que regulen su uso. Aunque no se comprenden bien sus efectos en el agua dulce, se cree que pueden provocar alteraciones hormonales y contribuir a la resistencia a los antibióticos en humanos y animales, así como afectar negativamente a los ecosistemas acuáticos.

Sin embargo, los compuestos de preocupación emergente pueden ayudarnos a entender mejor las fuentes de contaminación por nitratos debido a que esos compuestos y los nitratos coexisten en los sistemas hídricos contaminados. El OIEA está colaborando con científicos de todo el mundo para rastrear el origen y las trayectorias de la contaminación por nitratos en aguas superficiales y subterráneas mediante el uso conjunto de isótopos del nitrato y estos compuestos.

“Los compuestos de preocupación emergente son trazadores ideales de la contaminación fecal, ya que suelen estar vinculados a una fuente específica y son detectables en muestras ambientales contaminadas”, explica Yuliya Vystavna, especialista del OIEA en hidrólogo isotópica.

Tecnología de la radiación para el tratamiento de aguas residuales

Eliminar de las aguas residuales microcontaminantes como los microplásticos, los contaminantes orgánicos persistentes y los productos farmacéuticos es fundamental para garantizar la disponibilidad de agua limpia y su preservación. La tecnología de la radiación, como los haces de electrones (haces electrónicos) y la irradiación gamma, desempeña un papel importante en el tratamiento de una gran variedad de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales y los lodos de depuración, pues permite descomponer estas moléculas complejas en formas menos nocivas o más fáciles de eliminar.

Los microplásticos plantean un desafío especialmente difícil porque son resistentes a la biodegradación y tienden a fragmentarse en partículas aún más pequeñas.

Se han detectado microplásticos en el agua del grifo y el agua embotellada, en el aire que respiramos, en los sedimentos de los ríos y en el suelo. Los microplásticos contaminan las aguas subterráneas y superficiales y acaban en el océano.

A través de la labor de monitorización llevada a cabo en el marco de la iniciativa Tecnología Nuclear para el Control de la Contaminación por Plásticos (NUTEC Plastics) del OIEA se han encontrado microplásticos incluso en las zonas más prístinas y protegidas del planeta, como las Islas Galápagos y la Antártida.

El tratamiento de las aguas residuales con la tecnología de haces electrónicos ofrece una solución prometedora. Esta técnica consiste en juntar microplásticos en grupos más grandes que pueden eliminarse fácilmente de las aguas residuales. Experimentos llevados a cabo recientemente en el Instituto de Química y Tecnología Nuclear de Polonia, centro colaborador del OIEA en materia de tecnología de la radiación, demuestran que, una vez realizado el tratamiento con tecnología de haces electrónicos, es posible separar entre el 85 % y el 95 % de los microplásticos de las aguas residuales.

“Es difícil eliminar los microplásticos con los métodos convencionales de tratamiento de aguas y aguas residuales —dice Bumsoo Han, experto en radiación y asesor principal en Bright Future Technologies (República de Corea)—. Aunque la investigación todavía está en sus primeras fases, se espera que los estudios que se están llevando a cabo harán una gran contribución a la lucha contra la contaminación por microplásticos en nuestro medio ambiente”.

NUTEC Plastics: lucha contra la contaminación por plásticos

La iniciativa emblemática del OIEA NUTEC Plastics reúne a países y asociados de todo el mundo con el objetivo de combatir la contaminación por plásticos aprovechando

las tecnologías nucleares para mejorar la detección y la identificación de microplásticos y nanoplásticos en el medio marino y para desarrollar técnicas eficaces de reciclado de plásticos que reduzcan la dependencia de plásticos basados en los combustibles fósiles. La radiación puede utilizarse para fabricar plásticos de origen biológico, que constituyen una alternativa más sostenible a los plásticos convencionales porque son biodegradables o fácilmente reciclables gracias a su diseño.

Muchos países quieren avanzar hacia una economía del plástico más sostenible. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Océano, celebrada en 2025, los participantes se centraron en las negociaciones en curso para alcanzar un acuerdo internacional jurídicamente vinculante en relación con la contaminación por plásticos y el OIEA destacó el papel de la ciencia nuclear en la lucha contra este fenómeno.

“La ciencia nuclear ayuda a proteger nuestros océanos y apoya la vida submarina —declaró el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, en la Conferencia—. A través de nuestros laboratorios marinos en Mónaco y de NUTEC Plastics estamos ayudando a los países a combatir la contaminación marina dotando a más de 100 laboratorios en todo el mundo de lo necesario para que puedan monitorizar los microplásticos”.

Alrededor del 80 % de la contaminación marina por plásticos se origina en tierra. Por este motivo, intensificar la labor de reciclado y tratamiento de residuos plásticos antes de que estos lleguen a los vertederos y los sistemas hídricos ayudaría a afrontar este creciente desafío mundial.



Humedales artificiales para la remediación de las aguas residuales de la minería

Los humedales naturales, que filtran el agua dulce a consecuencia de procesos físicos, geoquímicos y biológicos en el suelo, los sedimentos y las plantas, han resultado eficaces para secuestrar los contaminantes de las aguas contaminadas. En todo el mundo ya se están utilizando humedales artificiales, es decir, sistemas diseñados que utilizan estos mismos procesos naturales, para tratar las aguas residuales. Por regla general, estos sistemas son menos costosos que los sistemas convencionales de tratamiento de residuos y se necesita menos energía para su funcionamiento y mantenimiento. Los humedales artificiales se utilizan cada vez más para remediar las aguas contaminadas por subproductos de la minería, como metales pesados y otros elementos tóxicos, que pueden persistir durante décadas tras el cese de la actividad minera y tener consecuencias potencialmente graves para la salud humana y los ecosistemas circundantes.

En los lugares donde se extrae uranio, las aguas residuales suelen contener contaminantes radiactivos naturales como el radón y el radio. Según Hannah Affum, tecnóloga industrial del OIEA, “hay un vacío en la investigación en lo que se refiere a la eficacia de las plantas y los sedimentos para eliminar los contaminantes radiactivos en los humedales artificiales”.

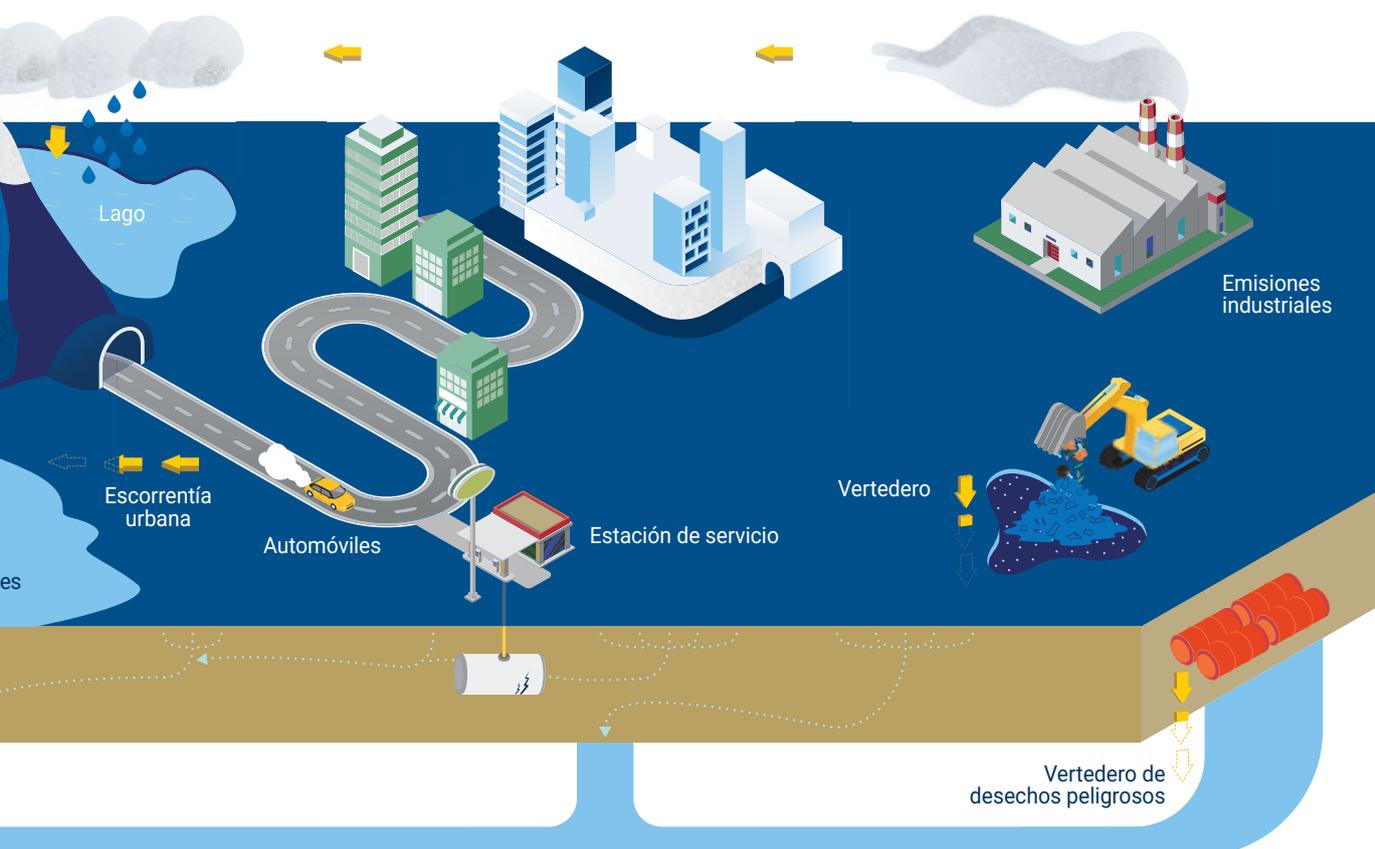
Para ayudar a subsanar esta falta de estudios, el OIEA acaba de poner en marcha un proyecto coordinado de investigación en el que se utilizan radiotrazadores para investigar cómo el suelo, la grava y las plantas de los humedales artificiales eliminan y transforman los contaminantes de las aguas



residuales generadas por la extracción de uranio, cobre y oro. Puesto que esta capacidad de los humedales artificiales puede disminuir con el tiempo, el proyecto también investigará la hidrodinámica del flujo y recopilará datos para optimizar los futuros diseños de humedales.

“La investigación enfocada puede aportarnos conocimientos fundamentales que nos permitan orientar el diseño sostenible de estos sistemas y mejorar el secuestro de contaminantes a largo plazo”, afirma la Sra. Affum.

Los sistemas hídricos del mundo están sometidos a una presión cada vez mayor debido a contaminantes que abarcan desde el nitrógeno hasta los compuestos de preocupación emergente, los microplásticos y los metales pesados. La ciencia nuclear está ofreciendo soluciones para afrontar este desafío.



Infografía: G. Appolinario / OIEA

Conocer el pasado de una gota de agua

¿Por qué es importante?

El agua potable que utilizas, ¿tiene su origen en precipitaciones recientes que caen cerca de la ciudad donde vives o en una antigua reserva de aguas subterráneas ubicada en un país vecino que está a punto de agotarse?

Conocer la fuente y la sostenibilidad del agua que utilizamos es crucial para prevenir episodios de escasez repentina y garantizar el acceso a largo plazo.

Disponiendo de datos adecuados, las comunidades y los responsables de la adopción de decisiones pueden tomar medidas fundamentadas. La hidrología isotópica desempeña una función clave en este proceso al permitir a los científicos rastrear el origen del agua y determinar el tiempo que lleva circulando desde que cayó por primera vez en forma de lluvia, lo cual nos ayuda a cartografiar el recorrido del agua por el medio ambiente y evaluar la rapidez con la que se vacían las reservas esenciales de agua subterránea.

Este conocimiento es vital para gestionar los recursos hídricos de manera sostenible y protegerlos por el bien de las generaciones venideras.

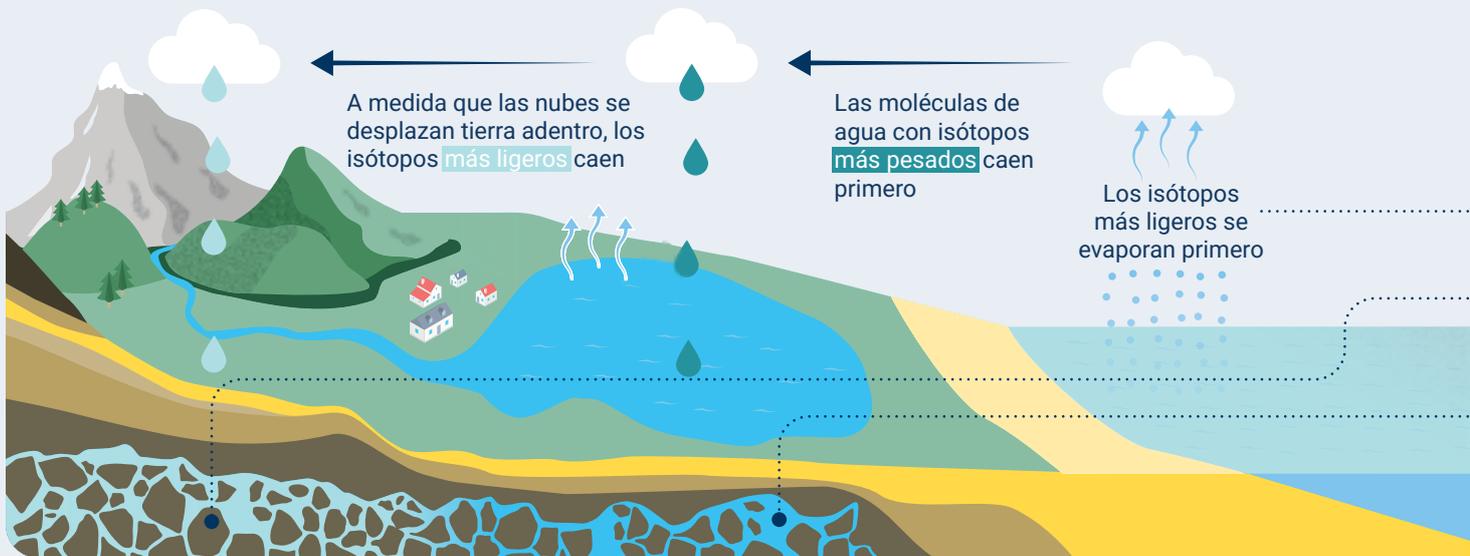


Análisis de muestras de agua

Cada fuente de agua tiene una marca isotópica única que revela su origen, su edad, su calidad y su tasa de renovación.

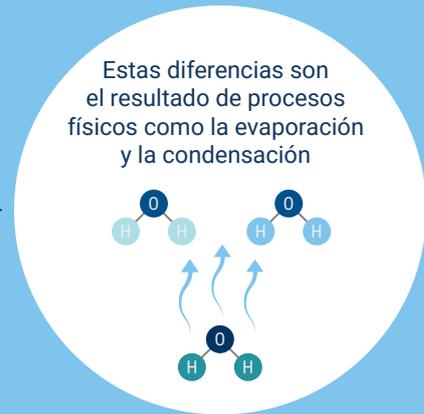
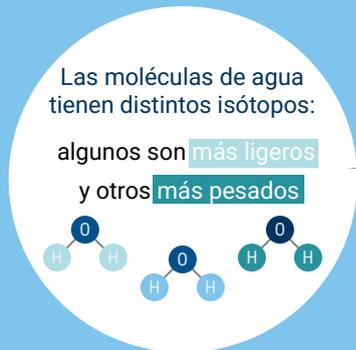
El OIEA y sus asociados llevan más de 60 años tomando muestras de agua de lluvia y de lagos, ríos, acuíferos y otras fuentes de todo el mundo.

Se utilizan equipos de alta precisión para analizar estas muestras de agua, gracias a lo cual se obtiene su composición isotópica.



Infografía: G. Appolinario /OIEA

¿Qué es una molécula de agua? H_2O



¿Qué es un isótopo?

Los átomos con igual número de protones (p^+) pero distinto número de neutrones (n) se denominan isótopos.

Son ejemplo de ello los isótopos de hidrógeno:



Existen dos tipos de isótopos: estables e inestables.

Los isótopos estables, como el protio y el deuterio, tienen pesos distintos y permanecen constantes en el tiempo.



Los isótopos inestables, como el tritio, se denominan radioisótopos. Cambian con el tiempo, tienen en su núcleo un exceso de neutrones y emiten radiación, gracias a lo cual pueden utilizarse con fines de **datación del agua.**

Origen del agua

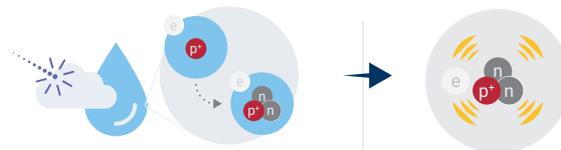
Al medir las relaciones entre los isótopos pesados y ligeros que están presentes en el agua y proceden de distintas fuentes, los científicos pueden determinar el origen y el movimiento del agua.

Recarga directa: el agua subterránea y la lluvia tienen la misma marca isotópica.

Mezcla: el lago es una combinación de los isótopos presentes en la lluvia y los que proceden del río.

Interacción: el agua subterránea tiene la misma marca isotópica que el lago.

Datación del agua



Se produce tritio cuando rayos cósmicos ricos en neutrones chocan en la atmósfera con las nubes. El tritio tiene exceso de neutrones, por lo que es inestable.

A medida que el tritio trata de estabilizarse, emite radiación de nivel bajo.



La desintegración radiactiva de cada elemento obedece a un patrón predecible.

Mediante el análisis de la radiactividad del tritio podemos determinar su antigüedad.

Esa información nos permite saber cuándo cayó el agua al suelo por última vez en forma de lluvia.

Estrategia del Brasil de protección de sus recursos de agua dulce

Emma Atuhaire

El Brasil acoge el 12 % del agua dulce mundial, con ríos y humedales que se extienden por toda la cuenca amazónica. Pese a tal abundancia, el agua no es algo que venga dado a todos. El cambio climático y las actividades humanas están socavando este recurso natural. En vista de que a escala interna el consumo, la agricultura y la producción de energía de casi la mitad de la población del Brasil depende de estos recursos de agua dulce, su protección es prioridad nacional.

Inversión en innovación científica

Aunque muchos países siguen dependiendo de herramientas hidrológicas convencionales, como la medición de la pluviosidad o los caudales fluviales, para vigilar el estado de sus recursos hídricos, el Servicio Geológico del Brasil (SGB), centro colaborador del OIEA desde 2015, utiliza métodos hidrológicos y geoquímicos avanzados para comprender mejor los sistemas de agua dulce del país. Con ello se persigue el objetivo último de mejorar la calidad del agua, el acceso justo a esta, su uso sostenible y su conservación a largo plazo.

El programa de recursos hídricos del OIEA ayudó al SGB a determinar enfoques esenciales basados en la hidrología isotópica que añadieran valor a las estrategias de ordenación de los recursos hídricos. En el marco de esta labor, el SGB estableció un laboratorio de hidrología isotópica que recibió equipo especializado, capacitación y apoyo técnico por conducto del programa de cooperación técnica del OIEA. Hasta fechas recientes los científicos del SGB tenían que enviar muestras de agua al Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA, ubicado en Viena, para que las analizara. Gracias al espectrómetro de masas de gases portátil donado por Suiza y a la capacitación impartida por el OIEA, los investigadores del SGB podrán analizar datos isotópicos in situ cuando el nuevo instrumento esté instalado. El instrumento les permitirá

estudiar los gases nobles disueltos en las aguas subterráneas, cruciales para calcular la edad, el origen y el caudal de las fuentes de agua y determinar si son renovables.

“La labor pionera en varios ámbitos de las aplicaciones isotópicas y el aumento de la capacidad técnica y analítica han tenido gran repercusión en la comprensión de la dinámica del agua y, en consecuencia, en la ordenación de los recursos”, afirma Roberto Kirchheim, investigador en el Centro de Geociencia Aplicada del SGB.

El Brasil también transmite sus conocimientos generales y especializados para ayudar a otros países latinoamericanos a fortalecer sus sistemas de ordenación de las aguas. El SGB está dispuesto a tomar parte activa en la creación de una red regional de laboratorios dedicados al agua por conducto de la Red Mundial de Laboratorios de Análisis del Agua del OIEA.

Respuesta al cambio climático

El cambio climático supone una grave amenaza para los recursos hídricos del Brasil. Según un informe de 2024 del Organismo Nacional del Brasil para el Agua y el Saneamiento, en algunas partes del país los recursos hídricos podrían disminuir más del 40 % para 2040.

Varios científicos brasileños toman parte en proyectos coordinados de investigación del OIEA para determinar mediante hidrología isotópica los efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua. En uno de estos proyectos se determinó el papel del Amazonas como fuente esencial de la pluviosidad del Brasil y la Argentina, a raíz de lo cual ambos países reforzaron sus iniciativas de conservación de la pluviselva.

Dos pescadores navegan en canoa por un río en el Brasil.

(Fotografía: AdobeStock)



A través de otro proyecto coordinado de investigación del OIEA, el Brasil estudia la respuesta de los sistemas de agua dulce a las presiones del cambio climático y la actividad humana para ayudar al país a prepararse para ulteriores efectos climáticos. Los datos servirán de base a debates sobre ordenación de las aguas subterráneas mantenidos a nivel federal y provincial, lo cual permitirá a las autoridades adoptar decisiones fundamentadas.

Estrategias agrícolas climáticamente inteligentes en aras de la resiliencia en la esfera del agua

La agricultura, sector vital del Brasil, también pasa factura a los recursos hídricos del país. A menudo se extraen aguas subterráneas con fines de riego a un ritmo que supera su capacidad natural de recarga, lo cual amenaza la gestión de los recursos hídricos a largo plazo.

Frente a ello, el Brasil tomó parte en un proyecto coordinado de investigación del OIEA que aplicaba técnicas isotópicas para evaluar las fuentes de agua de los sistemas de riego. Bajo la orientación científica y la coordinación del OIEA, el Brasil logró determinar las fuentes del agua utilizada con fines de riego, calcular el ritmo de recarga natural de esas fuentes y pronosticar su disponibilidad futura.

Este conocimiento ha ayudado al Brasil a reducir la extracción excesiva, optimizar la asignación de recursos hídricos y promover prácticas agrícolas climáticamente inteligentes.

Protección del Acuífero Guaraní

El Acuífero Guaraní, que se extiende por más de 1,2 millones de kilómetros cuadrados del Brasil, la Argentina, el Paraguay y el Uruguay, es el segundo mayor sistema acuífero transfronterizo del mundo y almacena más de 37 000 kilómetros cúbicos de agua dulce. Reviste especial importancia para el Brasil, donde abastece de agua a más de 14 millones de personas.

El aumento de la demanda de agua, un uso regulado del agua y la contaminación han suscitado graves preocupaciones en torno al futuro del acuífero. Hasta fechas recientes, los cuatro países que lo comparten carecían de datos para evaluar los efectos de la actividad humana en el acuífero y la manera de gestionarlo de forma sostenible. Con apoyo del programa de recursos hídricos del OIEA y gracias a la transferencia de tecnología a través de su programa de cooperación técnica, los científicos recurrieron a la hidrología isotópica para estudiar la tasa de recarga, la calidad y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero. Partiendo de este conocimiento,



Un investigador en hidrogeología del SGB realiza un muestreo isotópico en parte del sistema Acuífero Guaraní, en el sur del Brasil. (Fotografía: R. Kirchheim/SGB)

los cuatro países elaboraron estrategias conjuntas de gestión y protección del Acuífero Guaraní en beneficio de las generaciones venideras.

“El apoyo continuado del OIEA ha permitido al Brasil generar conjuntos de datos isotópicos sin precedentes sobre la pluviosidad, los ríos, los humedales y los acuíferos profundos, muchos de ellos ubicados en regiones donde escasean los datos”, informa Isadora Aumond Kuhn, Coordinadora del Programa Nacional de Aplicaciones de la Hidrología Isotópica del SGB. “Con ello no solo se han colmado lagunas científicas críticas, sino que también se ha fomentado una colaboración regional más estrecha en América del Sur”.

Rumbo a la COP30

En el contexto de los preparativos del Brasil para acoger la 30ª Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP30) en noviembre de 2025, el país ocupa un lugar privilegiado para dirigir la conversación centrada en la urgente necesidad de gobernanza en el ámbito del agua frente al cambio climático y dar a conocer su experiencia en materia de ciencias nucleares y cooperación internacional para impulsar la adopción de decisiones basadas en datos. El OIEA, que ayudó a incorporar las soluciones nucleares en la agenda de la Conferencia de las Partes, mostrará en la COP30 la manera en que estas pueden contribuir a las estrategias de mitigación y adaptación. Un ejemplo de ello es el uso de la ciencia y la tecnología nucleares para aumentar la resiliencia de los sistemas hídricos.

Los científicos estudian los “ríos invisibles” para gestionar las condiciones meteorológicas extremas y la escasez de agua

Katrina Vargas

A sí como los ríos fluyen por la tierra, sustentando comunidades, medios de subsistencia y biodiversidad, hay “ríos invisibles” que fluyen por encima de nosotros, transportando más vapor de agua que todos los ríos del planeta juntos. Estas corrientes de humedad, denominadas ríos atmosféricos, tienen un enorme impacto en el clima y en la distribución de las precipitaciones a nivel mundial.

El cambio climático y las actividades humanas están afectando al comportamiento de los ríos atmosféricos, ya que modifican sus trayectorias y causan fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones, tormentas y sequías. El estudio de los isótopos en los ríos atmosféricos puede ayudarnos a comprender estos ríos y a vigilarlos para mejorar así el pronóstico del tiempo y la predicción de fenómenos meteorológicos extremos.

¿Qué son los ríos atmosféricos?

Los ríos atmosféricos son bandas naturales de vapor de agua concentrado de miles de kilómetros de longitud que atraviesan la atmósfera terrestre. Se forman cuando el calor intenso del sol evapora el agua del océano a lo largo del ecuador. Los vientos transportan el vapor de agua hacia los polos y crean “ríos en el cielo”, que suelen fluir a no más de 3000 metros

de la superficie, aproximadamente un tercio de la altura del Everest. Al llegar a las costas, los ríos atmosféricos ascienden y, cuando se acercan a las montañas, liberan humedad en forma de lluvia y nieve.

Los ríos atmosféricos proporcionan agua dulce vital a muchas partes del mundo, especialmente en las regiones costeras. En California, en la costa occidental de los Estados Unidos de América, los ríos atmosféricos son responsables de cerca de la mitad de las precipitaciones anuales, llenan embalses y sirven de sustento a los agricultores. También generan entre el 30 % y el 60 % de las precipitaciones anuales en las costas del este de China, la península de Corea y el oeste del Japón.

Presiones del cambio climático

Conforme aumentan las temperaturas mundiales, se acumula más humedad en la atmósfera, lo que da lugar precipitaciones más intensas y frecuentes procedentes de los ríos atmosféricos. Este fenómeno está detrás de más del 80 % de las lluvias intensas en muchas regiones costeras de Asia Oriental.

“A medida que el clima se hace más cálido, los fenómenos meteorológicos extremos se vuelven cada vez más intensos, y muchos de ellos son causados por los ríos atmosféricos”,



Infografía: G. Appolinario / OIEA

3 Cuando el vapor de agua choca con las costas, se eleva sobre las montañas y se enfría

afirma Julie Kalansky, Directora Adjunta del Centro de Meteorología Occidental y Extremos Hidrológicos del Instituto Scripps de Oceanografía.

Al mismo tiempo, los ríos atmosféricos están alejándose del ecuador y acercándose a los polos, y cada vez son menos frecuentes en las regiones subtropicales, que ahora se enfrentan a una reducción del suministro de agua y a la sequía, mientras que en lugares como el Pacífico Noroeste, Europa y el Ártico se registran precipitaciones más abundantes e inundaciones.

El papel de los isótopos

“Los ríos atmosféricos varían mucho de un año a otro, por lo que resulta difícil predecir el volumen de precipitaciones que tendremos cada año —señala la Sra. Kalansky—. Esta imprevisibilidad de las precipitaciones estacionales plantea grandes desafíos para la gestión de los suministros de agua”.

Los científicos están utilizando isótopos estables, formas no radiactivas de los átomos, para estudiar los efectos del cambio climático en los ríos atmosféricos. Las técnicas permiten rastrear el origen del vapor de agua, la distancia que este ha recorrido a través de la atmósfera, los lugares donde el vapor cae en forma de precipitaciones y su interacción con el ciclo del agua. Esta información puede utilizarse para anticipar fenómenos meteorológicos extremos y reducir sus efectos, detectar riesgos de inundación y gestionar los recursos hídricos, especialmente en tiempos de sequía.

En un nuevo proyecto coordinado de investigación del OIEA se están incorporando trazadores isotópicos en modelos hidrológicos y climáticos para rastrear y simular

el desplazamiento y los cambios de las diferentes formas de agua a lo largo del ciclo hidrológico.

“Los datos que recopilaremos a través del proyecto de investigación pueden ayudar a evaluar los riesgos cada vez mayores de inundaciones, sequías y escasez de agua —indica Jodie Miller, Jefa de la Sección de Hidrología Isotópica del OIEA—. También pueden ayudar a los países a formular estrategias para mitigar los riesgos, mejorar la gestión del agua y aumentar la resiliencia al clima”.

“Estamos utilizando datos sobre los isótopos del vapor de agua para mejorar la precisión del pronóstico del tiempo — explica Kei Yoshimura, Profesor del Instituto de Ciencias Industriales de la Universidad de Tokio y participante del proyecto—. Los datos isotópicos, especialmente útiles en latitudes medias, ayudarán a predecir mejor el transporte de humedad y la distribución de las precipitaciones ligados a los ríos atmosféricos”.

El proyecto se sirve de datos recopilados durante 65 años por la Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación (RMIP), que realiza un seguimiento de las precipitaciones en más de 1000 estaciones de monitorización de todo el mundo. Los datos de la RMIP pueden utilizarse para analizar el origen, las trayectorias y la distribución de las precipitaciones de los ríos atmosféricos, lo que permite comprender mejor su comportamiento cambiante en un clima cada vez más cálido.



4 El vapor de agua enfriado desciende al suelo en forma de lluvia o nieve

5 Las lluvias y nevadas fuertes aumentan el riesgo de inundación

Nuevas maneras de ver el riego

Mejorar el uso del agua de la mano de la ciencia nuclear

Monika Shifotoka



Un agricultor monitoriza los niveles de agua del suelo con una sonda de neutrones de rayos cósmicos que recopila datos sobre la humedad del suelo en tiempo real y los envía al teléfono inteligente, en primer plano. (Fotografía: M. Casling/OIEA)

La agricultura es la actividad con el mayor consumo de agua a nivel mundial, que alcanza un promedio del 70 % del agua dulce que se extrae de lagos, ríos y acuíferos de todo el mundo. El sector agrícola ejerce una inmensa presión sobre los recursos hídricos, lo que pone en riesgo la gestión de los recursos hídricos a largo plazo, fundamental para la salud de las comunidades, el medio ambiente y las economías de todo el mundo.

“Dada la creciente presión sobre los recursos hídricos, mejorar la eficiencia del uso que la agricultura hace del agua ya no es opcional, sino esencial —afirma Mohammad Zaman, Jefe de la Sección de Gestión de Suelos y Aguas y Nutrición de los Cultivos del OIEA—. Las soluciones científicas ayudan a los agricultores a utilizar con prudencia cada gota, manteniendo al mismo tiempo la productividad y la sostenibilidad”.

Gracias a las innovaciones en la ciencia nuclear y las tecnologías conexas los agricultores pueden adoptar prácticas agrícolas climáticamente inteligentes que permiten ahorrar agua, aumentar el rendimiento de los cultivos y reforzar la resistencia al cambio climático.

El OIEA, a través del Centro Conjunto FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura (Centro Conjunto FAO/OIEA), ofrece a agricultores de zonas con escasez de agua instrumentos y orientación para

prácticas de riego más inteligentes. Ello les permite evaluar el aprovisionamiento de agua, así como el movimiento de esta en el suelo y su absorción por los cultivos, para que puedan utilizar este recurso de manera más eficiente.

Apoio a prácticas de riego eficientes

El agua, que está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, contiene isótopos naturales (es decir, átomos del mismo elemento con un número distinto de neutrones), que pueden rastrearse con facilidad. Las técnicas basadas en los isótopos de oxígeno ayudan a los científicos a comprender la manera en que las plantas utilizan el agua. Mediante el análisis de los isótopos del agua presente en el suelo y dentro de las plantas, los investigadores pueden determinar de qué fuentes de agua dependen las plantas, cuánta agua utilizan estas, cuánta se pierde por evaporación y cuánta percola a través del suelo. Al comprender estos procesos, los expertos pueden recomendar mejores calendarios de riego, tipos de cultivo adecuados y prácticas agrícolas mejoradas con miras a conservar los recursos hídricos y aumentar el rendimiento de los cultivos. Este tipo de información es especialmente útil en zonas que enfrentan sequías o escasez de agua.

Las técnicas agrícolas climáticamente inteligentes sirven para que los agricultores optimicen el uso del agua y mejoren las condiciones del suelo, lo que garantiza una producción agrícola sostenible. Mediante su programa de cooperación técnica el OIEA ha prestado apoyo para la adopción de dichas técnicas en países de África y Asia con estrés hídrico, como el Sudán y Namibia.

Riego por goteo para la conservación del agua en el Sudán

A causa del cambio climático, las características meteorológicas en el Sudán se están volviendo irregulares: las estaciones secas y las precipitaciones impredecibles provocan escasez de agua, malas cosechas e inseguridad alimentaria.

Mediante una iniciativa piloto en el marco de su programa de cooperación técnica, el OIEA ha ayudado a cientos de agricultoras de la región sudanesa de Kassala a cultivar más alimentos con menos agua utilizando sistemas mejorados de riego por goteo. Son sistemas de bajo costo, fáciles de

instalar, sencillos de manejar y, además, suministran el agua directamente a las raíces de las plantas, lo que reduce al mínimo el desperdicio. Como resultado de su uso, agricultores del Sudán han podido reducir el consumo de agua hasta en un 70 % y a la vez aumentar el rendimiento de los cultivos en más de un 40 %. “Gracias a este proyecto, hemos observado mejoras cuantificables en la eficiencia en el uso del agua —señala Ahmed Babiker Khalifa, especialista en gestión del agua de la Corporación de Investigación Agrícola del Sudán—. Integrar el riego por goteo con datos procedentes de las técnicas nucleares nos ayuda a suministrar la cantidad justa de agua, una solución práctica para la agricultura en regiones donde hay poca agua”.

Los resultados favorables han inspirado una adopción más amplia de la tecnología en el Sudán y otros lugares, han empoderado a mujeres y han ayudado a las comunidades a adaptarse a los desafíos climáticos, aumentando al mismo tiempo la seguridad alimentaria.

Mejora de las cosechas en Namibia con sondas de neutrones de rayos cósmicos

Namibia es uno de los países más secos de África, ya que el 92 % de su territorio se clasifica como árido o semiárido. En los últimos años, Namibia ha tenido precipitaciones irregulares, inundaciones y graves sequías debido al cambio climático, lo que ha llevado a una importante escasez de alimentos.

Desde 2020, el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), por medio del Centro Conjunto FAO/OIEA, capacitan a agricultores del norte de Namibia para que rieguen sus campos de forma más eficiente. Los agricultores utilizan información procedente de una combinación de técnicas nucleares, como las sondas de neutrones de rayos cósmicos y las tecnologías de riego que permiten ahorrar agua, como el riego por goteo y la captación del agua de lluvia.

Con los datos en tiempo real sobre la humedad del suelo que recopilan las sondas de neutrones de rayos cósmicos y técnicas conexas, los agricultores pueden evaluar el aprovisionamiento de agua en el suelo. Por su parte, el sistema de riego por goteo les ayuda a suministrar la cantidad exacta de agua en función de las necesidades de la planta.

Gracias a un proyecto de cooperación técnica del OIEA, los agricultores han podido aprovechar estas tecnologías para reducir el consumo de agua en un 80 %. Además, el rendimiento de cultivos como el maíz, el tomate y el pimiento ha aumentado hasta un 70 %.

“Integrar técnicas nucleares con prácticas de riego inteligente podría revolucionar el apoyo que se presta a los agricultores —indica Maliata Athon Wanga, funcionario científico en agricultura del Ministerio de Agricultura, Agua y Reforma Agraria de Namibia—. Las sondas de neutrones de rayos cósmicos posibilitan la toma de decisiones basadas en datos que mejoran directamente la eficiencia en el uso del agua, lo que aumenta la seguridad alimentaria y la resiliencia al clima en nuestras comunidades”.

Los sistemas avanzados de riego por goteo permiten a los agricultores optimizar el uso del agua, reducir al mínimo el desperdicio y mejorar el rendimiento de los cultivos.

(Fotografía: N.Jawerth/OIEA)



Descodificar el agua

Herramientas avanzadas para comprender los recursos hídricos

Thomas Perrouy

Desde el deshielo de los glaciares hasta las pautas de las precipitaciones y las tasas de evaporación, los especialistas del OIEA en hidrología isotópica recopilan, analizan y comparten datos para comprender mejor las fuentes, la historia y el movimiento de las aguas. Nuevas herramientas y métodos permiten a los investigadores analizar los datos sobre el agua con mayor precisión que nunca, lo cual genera información crítica para la gestión eficaz de los recursos hídricos, la elaboración de modelos climáticos y la formulación de políticas ambientales.

“Los datos sobre el agua conforman la espina dorsal de las políticas acertadas y las inversiones fundamentadas”, sostiene Celeste Saulo, Secretaria General de la Organización Meteorológica Mundial. “Sin datos, estamos ciegos. Los sistemas de alerta temprana de inundación y sequía, así como el diseño de infraestructuras hídricas como embalses, planes de riego y sistemas de drenaje, dependen de los datos. La hidrología isotópica añade una perspectiva singular en la medida en que rastrea las fuentes de agua y las rutas de flujo para ayudarnos a gestionar de forma sostenible los recursos hídricos compartidos”.

Inteligencia artificial

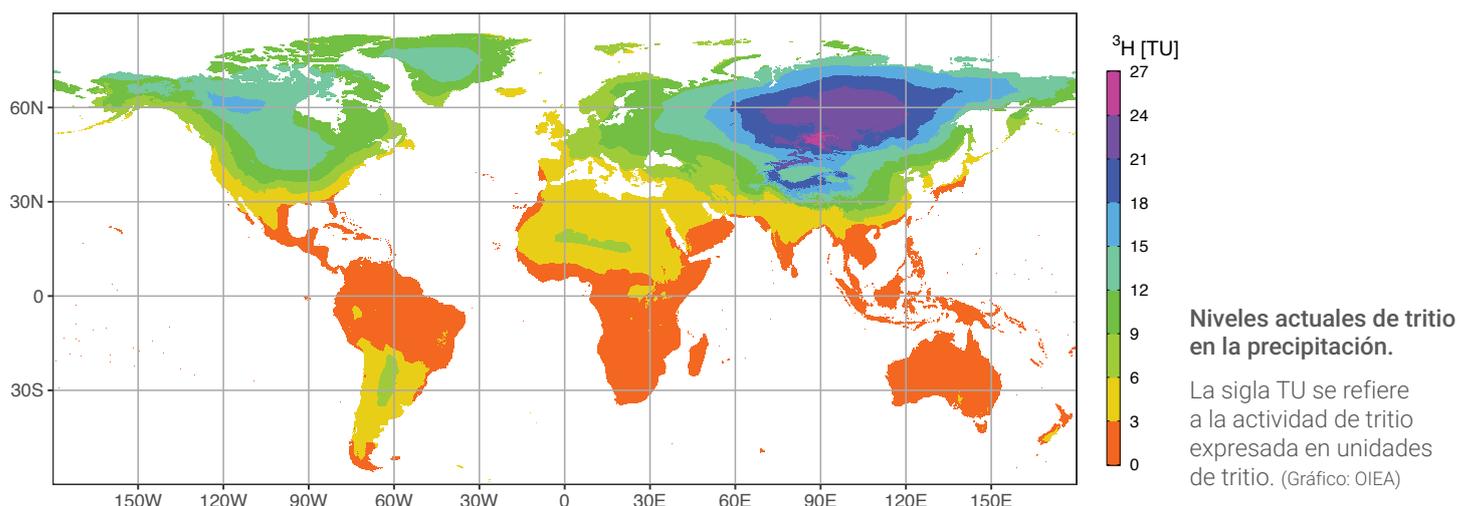
A medida que se amplían las redes mundiales de datos sobre el agua, la hidrología isotópica se adentra con rapidez en el terreno de los macrodatos. Los modelos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático revelan nuevas dimensiones de la investigación sobre el agua que mejoran las previsiones y colman lagunas de datos.

En un estudio del OIEA que se servía de la IA para analizar datos isotópicos de 1257 lagos de 91 países se demostró que la evaporación consume cerca del 20 % del agua que entra en ellos y que en cerca del 10 % de los casos los lagos presentan un grado extremo de pérdida por evaporación que supera el 40 % de la entrada total. Ello supone que muchos lagos no pueden contrarrestar la evaporación, con lo cual están en peligro de desaparecer con el paso del tiempo. “Nos servimos de la inteligencia artificial para determinar los principales factores causantes de evaporación”, afirma Yuliya Vystavna, especialista del OIEA en hidrología isotópica y primera autora del estudio. “Dependiendo del tipo de clima (tropical, árido, templado, continental o frío), la evaporación se debe a distintos factores”. El estudio se sirvió de modelos de IA para determinar qué lagos corrían mayor peligro de desaparecer.

En otro estudio del OIEA se emplearon modelos de aprendizaje automático para identificar los factores que determinan la dinámica del agua y calcular la “fracción de agua joven” (agua que tiene menos de tres meses de edad) en 45 cuencas fluviales de todo el mundo. La fracción de agua joven indica la manera en la que el agua se almacena y se libera en el medio ambiente, lo cual revela las pautas de retención y flujo. De ese modo puede comprenderse mejor la reacción de los ríos a las variaciones meteorológicas y de las tierras, lo cual permite a las comunidades prepararse mejor para las inundaciones y las sequías y gestionar sus recursos hídricos con mayor eficacia. “Comprendiendo esta dinámica podemos adaptarnos mejor a los desafíos derivados de las variaciones climáticas y la evolución de las pautas de uso de las tierras velando por que los ríos no dejen de

En un análisis reciente del OIEA se demostró que muchos lagos de todo el mundo no pueden contrarrestar la evaporación y corren peligro de desaparecer con el paso del tiempo. (Fotografía: Y. Vystavna/OIEA)





prestar servicios esenciales a los ecosistemas y las sociedades humanas”, sostiene Tzanka Kokalova-Wheldon, Directora de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA.

Los expertos creen que el uso de IA y del aprendizaje automático para analizar datos sobre el agua puede contribuir a mejorar considerablemente los procesos de adopción de decisiones y gestión sostenible de los recursos hídricos. Para promover esta iniciativa, el OIEA, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y el Centro Internacional de Física Teórica elaboraron recientemente un marco para la integración de la IA con los datos hidrológicos e isotópicos.

Cartografía de alta resolución de la presencia de tritio

El tritio, isótopo radiactivo natural del hidrógeno que está presente en el agua y tiene un período de semidesintegración de unos 12,3 años, es valioso para detectar las aguas subterráneas repuestas recientemente y determinar su vulnerabilidad a la contaminación. Cartografiando la aparición de esta forma de hidrógeno rastreable en la lluvia y la nieve, los investigadores pueden obtener información sobre los movimientos y fuentes de agua recientes. Partiendo de datos recopilados durante el último decenio, el OIEA ha elaborado mapas de la distribución de tritio en la precipitación para optimizar el muestreo, determinar los déficits de datos atmosféricos y facilitar la investigación sobre la vulnerabilidad de los acuíferos.

Los científicos utilizan los mapas para comparar los niveles de tritio en la precipitación y las aguas subterráneas a fin de determinar la velocidad a la que la precipitación llega a los acuíferos e interactúa con ellos. La coincidencia de la cantidad de tritio presente en las aguas subterráneas con la presente en las precipitaciones puede ser señal de una recarga rápida, lo cual supone que el abastecimiento del acuífero es bueno, aunque también vulnerable a la contaminación, pues es fácil que los contaminantes sigan el mismo camino. El hecho de que

la cantidad de tritio presente en las aguas subterráneas sea muy inferior a la presente en la precipitación local puede ser indicio de que el agua ha permanecido almacenada de forma segura bajo tierra y protegida de la contaminación durante decenios o períodos más extensos.

Espectrometría láser con óxido nítrico

La espectrometría láser con óxido nítrico es una nueva técnica que permite medir con gran precisión isótopos relacionados con los ciclos del nitrógeno (el paso del nitrógeno por el aire, el suelo, el agua y los organismos), gracias a lo cual pueden rastrearse las fuentes de contaminación. En vista de que distintas fuentes de nitrógeno (como la quema de combustibles fósiles, las emisiones agrícolas y los procesos naturales) tienen firmas isotópicas diversas, los científicos pueden detectar las fuentes de contaminación antropogénicas y naturales y distinguir entre ellas. En la India, por ejemplo, donde el uso de fertilizantes se ha triplicado en los últimos 30 años, científicos del OIEA utilizaron la técnica para estudiar los efectos de la agricultura en los sistemas hídricos. Según sus constataciones, la contaminación por nitrato se dispara en la temporada de monzones, cuando las lluvias intensas arrastran fertilizantes hasta los ríos y lagos, con lo cual empeora la calidad del agua. Rastreando los isótopos, los científicos pueden detectar las fuentes de esta contaminación, lo cual puede alentar a los agricultores y los gobiernos a adoptar prácticas más limpias para mejorar la calidad del agua y del aire.

A medida que prosigue el avance de las capacidades tecnológicas y los métodos de recopilación de datos, el OIEA se afana por explorar nuevas herramientas y enfoques en materia de análisis de los datos sobre el agua con fines de elaboración de estrategias de gestión sostenible de los recursos hídricos. “Combinando la tecnología puntera con decenios de recopilación de datos sobre el agua en todo el mundo, no estudiamos el agua sin más, sino que habilitamos a los países para que adopten decisiones fundamentadas sobre su recurso más precioso”, afirma Stefan Terzer-Wasmuth, experto del OIEA en datos geoespaciales.

La cooperación transfronteriza en el sector hídrico abre cauces en Europa sudoriental

Mary Albon

Bosnia y Herzegovina y Montenegro forman parte del karst dinárico, una región de impresionantes montañas calizas e innumerables cuevas, sumideros, manantiales y corrientes subterráneas que se extiende a lo largo de la costa del Adriático.

El karst es un entorno geológico complejo modelado por el agua, que corroe y disuelve la piedra blanda. Como la caliza es porosa, el agua superficial no se acumula en los paisajes kársticos, sino que se filtra a través de la roca para formar acuíferos.

Bosnia y Herzegovina y Montenegro comparten el acuífero kárstico de Oko-Bijela Gora, que se encuentra en la frontera entre ambos países y abarca una superficie de unos 1800 kilómetros cuadrados. Los acuíferos kársticos son fundamentales para preservar el entorno natural y constituyen una importante fuente de agua potable y agua para la agricultura, la industria y la generación de electricidad. Más de una cuarta parte de la población mundial depende del agua de estos acuíferos. Sin embargo, su porosidad los hace vulnerables a la contaminación y a los efectos del cambio climático.

Uso de isótopos para comprender los acuíferos kársticos

Hasta hace poco, ninguno de los dos países conocía bien las condiciones hidrológicas de sus acuíferos. En 2020, ambos se sumaron a otros 25 países de Europa y Asia Central para participar en un proyecto regional de cooperación técnica del OIEA con el fin de estudiar los efectos del cambio climático en los recursos de aguas subterráneas. El proyecto tenía como objetivo impartir capacitación a especialistas en hidrología sobre las técnicas más recientes de muestreo y análisis del agua, cálculo de las tasas de recarga y elaboración de modelos de los ciclos hidrológicos regionales. A través de becas, visitas científicas y una reunión regional, los participantes profundizaron sus conocimientos sobre los escenarios del cambio climático y formaron una red regional de expertos con las competencias y el equipo necesarios para vigilar y evaluar los recursos hídricos mediante la hidrología isotópica.

Hidrólogos de Bosnia y Herzegovina y Montenegro trabajaron conjuntamente para elaborar el primer modelo conceptual del acuífero kárstico de Oko-Bijela Gora. El OIEA proporcionó equipos y suministros para el trabajo de campo, los análisis de laboratorio y las actividades de capacitación en análisis isotópico. Los científicos

tomaron muestras de precipitaciones, aguas subterráneas y aguas superficiales y aplicaron las competencias de análisis isotópico que habían adquirido recientemente para estudiar los factores que afectan a la sostenibilidad del acuífero, en particular su utilización como fuente de agua potable y para la generación de energía hidroeléctrica.

A partir de estos hallazgos y otros datos hidrológicos y meteorológicos históricos, los investigadores determinaron las condiciones de recarga del acuífero. Aprovechando estos nuevos conocimientos, elaboraron modelos y mapas para delimitar las zonas de recarga de agua subterránea y estudiaron los efectos de las aguas superficiales en el ciclo hidrogeológico del acuífero. Esta información ofrece un marco referencial para una política de gestión de los recursos hídricos que podría ayudar a ambos países a proteger el acuífero que tienen en común.

“La ejecución de este proyecto ha trazado una dirección clara para orientar el diseño de futuras investigaciones en la esfera de la gestión de la investigación del agua y el cambio climático”, expresa Uroš Jurošević, Jefe del Departamento de Sistemas de Información Geográfica del Servicio Geológico de la República Srpska de Bosnia y Herzegovina.

Este proyecto fue el primero en que se recurrió a técnicas isotópicas para investigar la gestión transfronteriza de las aguas subterráneas y superficiales de la región. Además, demostró que la hidrología isotópica es un instrumento importante para el estudio de los acuíferos kársticos.

“Trabajar con colegas de la región refuerza el entendimiento mutuo y contribuye a la gestión sostenible de este sistema kárstico vulnerable”, señala Dragan Radojević, Jefe del Departamento de Hidrogeología e Investigaciones Geotécnicas del Servicio Geológico de Montenegro.

Cooperación transfronteriza

Más de 150 países comparten recursos hídricos transfronterizos, que representan el 60 % de los flujos de agua dulce a nivel mundial.

La experiencia de Bosnia y Herzegovina y Montenegro, al igual que la de otros participantes en el proyecto del OIEA, demostró que la cooperación regional es fundamental para la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas hídricos transfronterizos en un clima cambiante.



Recogida de muestras de agua en un manantial temporal alimentado por el acuífero kárstico de Oko-Bijela. (Fotografía: B. Jolović)

“La cooperación al servicio de los recursos hídricos compartidos puede mejorar la gestión del agua. También puede allanar el camino para la cooperación en otros sectores”, señala Najat Mokhtar, Directora General Adjunta del OIEA y Jefa del Departamento de Ciencias y Aplicaciones Nucleares.

Bosnia y Herzegovina y Montenegro proseguirán su labor conjunta en torno al acuífero kárstico de Oko-Bijela Gora a través de un nuevo proyecto regional de cooperación técnica del OIEA que tiene como objetivo mejorar las capacidades nacionales en materia de hidrología isotópica y contribuir a una gestión del agua científicamente fundamentada.

“El objetivo es traducir los conocimientos científicos en políticas prácticas que refuercen la gestión del agua, algo especialmente importante para los recursos hídricos compartidos y a la luz del cambio climático —explica Sibel Unlu, Oficial de Administración del programa de cooperación técnica del OIEA—. La mejora de la gestión transfronteriza del agua potencia a su vez la gestión de los recursos hídricos”.

Soluciones nucleares e isotópicas para la escasez de agua

Análisis sobre África y Asia Occidental

Joelle Matta



El Instituto de Investigación Científica de Kuwait (KISR) recoge muestras de agua dulce subterránea procedente del acuífero del norte de Kuwait para someterlas al análisis isotópico.

(Fotografía: KISR)

En el árido norte de Kuwait, científicos hacen descender una sonda de muestreo hacia la profundidad de un pozo seco para llegar al depósito poco profundo de aguas subterráneas que se encuentra en el fondo. El agua, que lleva miles de años oculta en el subsuelo, se está analizando en el marco de un proyecto de investigación del OIEA sobre los limitados recursos naturales de agua dulce del país. El grupo se está valiendo del análisis isotópico para estudiar el modo en que los niveles de dióxido de carbono afectan a las aguas pluviales y las aguas subterráneas, y para entender mejor los cambios en la calidad del agua.

Las aguas subterráneas son un recurso escaso en numerosas zonas de África y de Asia Occidental. La disminución de las lluvias, el aumento de las temperaturas y la creciente demanda ejercen una presión cada vez mayor sobre los acuíferos de estas regiones. Con el apoyo del OIEA, los países están aplicando la hidrología isotópica —una técnica nuclear que rastrea la fuente, la edad y el desplazamiento de las aguas— para gestionar las existencias de aguas subterráneas de una manera más sostenible.

La hidrología isotópica “nos proporciona una huella de la molécula de agua, —afirma Jodie Miller, Jefa de la Sección de Hidrología Isotópica del OIEA—. Esa huella nos permite evaluar el tiempo que transcurrió desde que esa agua del subsuelo cayó en forma de precipitación”.

Uso de la tecnología nuclear para evaluar la contaminación de las aguas subterráneas

Como parte de un reciente proyecto coordinado de investigación del OIEA, Kuwait, junto con Argelia, Marruecos y Túnez, utilizó isótopos de gases nobles como el helio 4 y el criptón 81 para datar agua fósil —aguas subterráneas antiguas que han permanecido en el subsuelo durante miles de años con poca o nula recarga actual— y evaluar la posible contaminación derivada de la actividad petrolífera cercana. La investigación ayudó a determinar si las aguas subterráneas eran inocuas para un uso sostenido, una medida esencial en la planificación hídrica a largo plazo.

“Mediante estudios realizados con gases nobles y radiocarbono se han detectado aguas subterráneas en Kuwait que datan de hace unos 36 000 años, —señala Chidambaram Sabarathinam, científico investigador del Instituto de Investigación Científica de Kuwait (KISR)—. Esta información nos ayuda a determinar períodos de intensa recarga y respalda la planificación a largo plazo, a fin de gestionar de forma sostenible estas fuentes hídricas no renovables”.

En el sistema acuífero del Noroeste del Sahara —que abarca más de un millón de kilómetros cuadrados y que comparten Argelia, Libia y Túnez—, el uso de gases nobles como el criptón 81 ha revelado que gran parte de las aguas subterráneas tienen más de 150 000 de antigüedad. Los países están tomando medidas coordinadas para proteger uno de los recursos hídricos compartidos más importantes de la región y garantizar que el agua se utilice prudentemente y se conserve para las generaciones venideras.

En Kuwait, donde casi la totalidad del agua potable se produce mediante técnicas de desalación, las aguas subterráneas naturales siguen siendo una reserva vital, especialmente en situaciones de emergencia o de interrupción del suministro. Para analizar las aguas subterráneas en busca de contaminación por escapes de gases procedentes de los yacimientos petrolíferos del país se han utilizado gases nobles e isótopos estables. Desde el año 2000, el OIEA ha ayudado a crear capacidad en materia de hidrología isotópica y gestión de

los recursos hídricos a través de su programa de cooperación técnica, con actividades que comprenden la ayuda prestada al KISR para establecer un laboratorio para analizar isótopos y estudiar las aguas subterráneas.

Gestión de recursos hídricos limitados

En Túnez, las aguas subterráneas sustentan gran parte de la agricultura del país. La disminución de las precipitaciones y el aumento de la demanda están agotando las reservas de aguas subterráneas. Túnez está respondiendo mediante la gestión de la recarga de los acuíferos, proceso que consiste en almacenar en el subsuelo el superávit de aguas superficiales para utilizarlas durante períodos secos. El OIEA está trabajando con científicos tunecinos en el uso de isótopos para rastrear el tiempo que permanecen en el subsuelo las aguas recargadas y la distancia que recorren desde el punto de recarga.

“Los isótopos ambientales desempeñan una función decisiva en la gestión de los recursos hídricos subterráneos de Túnez, —señala Kamel Zouari, Profesor y Jefe de Laboratorio en la Escuela Nacional de Ingeniería de Sfax (Túnez)—. Estas técnicas isotópicas son particularmente eficaces para evaluar sistemas de acuíferos multicapa complejos, especialmente en zonas extremadamente áridas”.

Creación de capacidad a escala local

Integrar las aguas subterráneas en las estrategias de gestión hídrica es fundamental en Djibouti, un país con pocas aguas superficiales y sujeto a frecuentes sequías. En 2023, gracias al apoyo del programa de cooperación técnica del OIEA, Djibouti inauguró su primer laboratorio nacional de hidrología isotópica. Con esta instalación se ha modernizado el análisis de las muestras de agua, mejorando con ello la capacidad del país para proteger las existencias hídricas y gestionar la sequía. El éxito del laboratorio sirve de modelo para otras actividades de creación de capacidad en la región.

Monitorización de la calidad del agua

La hidrología isotópica también está ayudando a los países a evaluar la calidad de sus aguas subterráneas. En Marruecos y Túnez se utilizan técnicas isotópicas para rastrear las fuentes y las vías de contaminación por nitratos en las aguas subterráneas, particularmente las procedentes de vertidos agrícolas y aguas residuales urbanas. En Jordania, los isótopos se utilizan para determinar la radiactividad natural en las aguas subterráneas profundas y fundamentar la toma de decisiones sobre la inocuidad del agua de bebida.

Cubrir una necesidad fundamental

A medida que la escasez de agua se intensifica en África y Asia Occidental se hace cada vez más urgente el llamado a una gestión hídrica basada en la ciencia. Con el apoyo del OIEA, países de toda la región están estableciendo programas de capacitación y laboratorios y haciendo acopio de los instrumentos y los conocimientos especializados necesarios para tomar decisiones bien fundamentadas sobre cómo y cuándo utilizar sus aguas. Estas actividades forman parte de proyectos regionales de cooperación técnica del OIEA encaminados a apoyar el uso sostenible del agua en las regiones áridas.

“El uso de técnicas nucleares en la gestión de los recursos hídricos ayuda a las comunidades a trabajar, gota a gota, por unos recursos hídricos más sostenibles que, a su vez, puedan ayudar a impulsar el desarrollo económico”, manifiesta Hua Liu, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Cooperación Técnica.

Toma de muestras de agua de lluvia en Djibouti para su análisis isotópico con un nuevo equipo proporcionado por el OIEA. (Fotografía: Y. Vystavna/OIEA)



Un día en la vida de un especialista del OIEA en hidrología isotópica

Wolfgang Picot



Lo que hacemos logra beneficios en ámbitos muy diversos, como la agricultura, el cambio climático, la salud pública y muchos otros. Me siento orgulloso de formar parte de este proyecto.

— Stephen Wangari,
Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA

Una mañana soleada de primavera, Stephen Wangari se une a otros jóvenes científicos del Laboratorio de Hidrología Isotópica del OIEA que llevan bombas, frascos, recipientes de plástico y tubos a un remanso tranquilo del río Danubio cercano a la Sede del OIEA en Viena. En la orilla cubierta de hierba conectan el equipo, sumergen un tubo en el agua y encienden una bomba. El agua empieza a circular por el dispositivo y los científicos observan con atención.

“Esta prueba se hace para mejorar el muestreo de agua, — explica Astrid Harjung, investigadora del laboratorio—. No se ve muy sofisticada, ¿verdad? —añade riendo al señalar los objetos desplegados sobre la hierba—. Sin embargo, los ensayos de campo como este nos dan la oportunidad de probar el equipo y ajustarlo en condiciones reales para poder hacer un muestreo lo más eficazmente posible”.

Rastrear la migración de las aguas superficiales con azufre 35

Astrid y su grupo están probando un nuevo método que utiliza azufre 35 para trazar la migración de las aguas superficiales, y los contaminantes que estas puedan transportar, hasta las aguas subterráneas.

“El azufre 35 tiene un período de semidesintegración breve de 87 días y se encuentra de forma natural en las precipitaciones —explica Astrid—. Su rastreo nos ayuda a evaluar con rapidez si las aguas subterráneas de un lugar específico son vulnerables a la contaminación. Esto podría ser especialmente útil, por ejemplo, en los campos de refugiados que carecen de las condiciones sanitarias adecuadas o en las zonas afectadas por catástrofes naturales”.

Durante su pasantía en el laboratorio, Stephen colaboró en el proyecto inicial del análisis del azufre 35. Tras trabajar temporalmente en un laboratorio en Kenya, su país natal, ha vuelto al OIEA como técnico del Laboratorio de Hidrología Isotópica, donde ahora su trabajo se centra en el tritio y no en el azufre 35.

Comprender el ciclo del agua

El tritio es un isótopo del hidrógeno con un período de semidesintegración de 12,3 años, que proporciona información sobre el ciclo del agua durante unos 50 años. Esta información permite a los hidrólogos y los encargados de la gestión del agua comprender los cambios a largo plazo que tienen lugar en las recargas de aguas subterráneas, las conexiones que existen entre los acuíferos y los sistemas de aguas superficiales y lo que esto significa para la sostenibilidad del agua subterránea.



Desde hace más de 60 años, una de las funciones principales del Laboratorio de Hidrología Isotópica ha sido prestar apoyo a los Estados Miembros con el análisis del tritio.

Mientras los colegas de Stephen prosiguen su trabajo en la orilla del río, él se despide de prisa y se dirige al laboratorio para procesar muestras de agua para la Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación.

Revisa las nuevas muestras de agua que se reciben de los Estados Miembros y ve que han llegado varias, por lo que pasará el día purificándolas, enriqueciéndolas y midiéndolas.

Cómo funciona el análisis del tritio

Stephen coloca cada muestra en un sistema de purificación de agua. Conecta los tubos que harán pasar el agua a través de diminutas columnas llenas de resinas de intercambio iónico, es decir, materiales especiales que actúan como imanes sobre las sales y otras partículas cargadas, y las extraen del agua. El proceso dura una hora aproximadamente y Stephen aprovecha ese tiempo para actualizar la base de datos de muestras del laboratorio.

Una vez que termina la purificación del agua, las muestras están listas para el siguiente paso: el enriquecimiento. Stephen las inserta en el sistema de enriquecimiento electrolítico (un aparato de dos metros de largo con estructura de acero, revestido de cables, pantallas digitales e hileras de tubos), y la electricidad empieza a fluir a través del sistema.

A diferencia del azufre 35, que flota libremente en el agua, el tritio forma parte de la propia molécula de agua, por lo que no se puede filtrar con facilidad para medirlo. La electrólisis divide gradualmente las moléculas de agua en gases de hidrógeno y oxígeno, lo que reduce el volumen del agua y, por lo tanto, concentra el tritio.

Stephen revisa periódicamente los aparatos y les da mantenimiento. También supervisa el proceso de enriquecimiento, que puede durar hasta dos semanas, y se asegura de que la electricidad que circula a través de las muestras aumente poco a poco según sea necesario.

“Siempre estamos procurando mejorar el proceso de enriquecimiento —explica—. La concentración de tritio es muy baja y difícil de medir. Un buen enriquecimiento es esencial para obtener información fiable de las muestras”.

El tritio, si bien está sumamente concentrado después del proceso de enriquecimiento, sigue siendo casi indetectable en las muestras de agua. Incluso la contaminación más leve debida a la radiación atmosférica podría distorsionar las mediciones de las muestras. Por eso Stephen lleva las muestras enriquecidas a una sala situada varios pisos bajo tierra y revestida de hormigón de gran espesor, lo que las protege de la radiación del medio ambiente. Ahí, mezcla con cuidado cada muestra con una solución química y las coloca en los aparatos que medirán su firma radiactiva durante las 24 horas siguientes.

Mientras tanto arriba, la jornada está por terminar. Astrid ya regresó del terreno, y ella y Stephen se ponen al tanto de sus actividades del día. Están satisfechos con los avances logrados y repasan las tareas que tienen para el día siguiente.

“Nuestro trabajo aquí nos conecta con muchas regiones del mundo —comenta Stephen, mientras cuelga su bata de laboratorio y se prepara para volver a casa—. Lo que hacemos logra beneficios en ámbitos muy diversos, como la agricultura, el cambio climático, la salud pública y muchos otros. Me siento orgulloso de formar parte de este proyecto”.



(Fotografías: A. Barber Huescar/OIEA)

Las redes del OIEA promueven la investigación sobre el agua

El agua dulce limpia y accesible representa apenas el 0,5 % de los recursos hídricos del planeta y este escaso volumen se ve sometido a estrés a causa de la contaminación, el cambio climático y las crecientes demandas de una población mundial que va en aumento. A pesar de ello, muchos países no disponen de datos cruciales sobre sus recursos de agua dulce, lo que afecta a su capacidad para gestionarlos.

Durante más de sesenta años el OIEA ha ayudado a los países a rastrear y gestionar sus recursos hídricos mediante la recopilación de datos y la creación de redes mundiales que mejoren la forma en que se ponen en común y se utilizan los datos sobre el agua. Estas redes fomentan la colaboración y la innovación en la investigación sobre el agua y la gestión de los recursos hídricos.

Se puede acceder a los datos de la RMIP y la RMIR a través del Portal WISER (Sistema de Análisis, Visualización y Recuperación Electrónica de Datos sobre Isótopos presentes en el Agua).



Escanee aquí para acceder al Portal WISER

La **Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación (RMIP)**, creada en 1960 por el OIEA y la Organización Meteorológica Mundial, ofrece información que permite a los países comprender y hacer un seguimiento de los cambios en la distribución de la precipitación y determinar qué eventos de precipitación —tormentas de lluvia, huracanes, nevadas— revisten una importancia capital para la recarga de agua subterránea. Tras 65 años de existencia, la RMIP ha recopilado más de 150 000 registros mensuales de 1200 lugares de más de 100 países. “Gracias a nuestra colaboración con el OIEA —indica Celeste Saulo, Secretaria General de la OMM— estamos profundizando las bases científicas de los conocimientos sobre el ciclo del agua, ampliando los datos abiertos y propiciando innovaciones que impulsan mejores

decisiones en tiempos de cambio climático y creciente estrés hídrico. No es posible gestionar lo que no se mide. Por tanto, el intercambio de datos es fundamental y ello depende de la confianza y la colaboración”.

Por su parte, la **Red Mundial de Isótopos en Ríos (RMIR)**, establecida en 2002 por el OIEA, brinda datos sobre el agua fluvial para evaluar los caudales afluentes y los efluentes de agua dulce, así como el impacto de la actividad humana en los ríos, cuantificar las interacciones entre el agua subterránea y el agua superficial, y determinar las repercusiones de los cambios de uso del suelo en ríos y arroyos. Esa información es útil para conocer la manera en que los ríos están respondiendo al cambio climático y garantizar su resistencia en el futuro.

El OIEA en cifras

Más de 2000 millones de personas viven en países sometidos a estrés hídrico. De los 120 países que disponen de datos sobre la calidad del agua, solo 71 tienen información sobre las aguas subterráneas. Para 2030 podrían peligrar la salud y los medios de vida de 4800 millones de personas si no mejora la monitorización de la calidad del agua.

105 Estados Miembros colaboran con el OIEA en el ámbito de la **hidrología isotópica** para mejorar la gestión de los **recursos hídricos**
(desde 2020)

91 proyectos de investigación en 54 países reciben apoyo del OIEA a través de su **programa coordinado de investigación**
(en julio de 2025)

485 científicos de **118 países** han recibido capacitación en **hidrología isotópica**
(desde 2020)

53 Estados Miembros utilizan la **hidrología isotópica** para evaluar los **recursos hídricos transfronterizos**

102 Estados Miembros aportan datos a la **Red Mundial sobre Isótopos en la Precipitación**

El OIEA también está creando una **red mundial de isótopos en lagos (RMIL)** con miras a monitorizar la manera en que los lagos responden al cambio climático, en particular a la pérdida por evaporación.

El OIEA está trabajando para acrecentar la colaboración en el sector hídrico a través de su Red Mundial de Laboratorios de Análisis del Agua (Red GloWAL). La red, puesta en marcha en 2023, tiene por objetivo dotar a los países de instrumentos y conocimientos especializados para medir, monitorizar y gestionar eficazmente sus recursos hídricos.

“La **Red GloWAL** es un ejemplo del empeño del OIEA por dotar de medios a los países, fomentar la colaboración, generar datos para la formulación de políticas y promover el papel esencial del agua para la paz y la prosperidad”, afirma el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi.

En sus primeros cinco años, la Red GloWAL tiene previsto crear siete redes regionales de laboratorios, dotar de equipo a 100 laboratorios, capacitar a 1000 especialistas en hidrología y generar al menos medio millón de puntos de datos que se incorporarán a una base de datos mundial, accesible a científicos y responsables de la formulación de políticas de todo el mundo.

Escanee aquí para obtener más información sobre la **Red GloWAL**



(Fotografía: AdobeStock)

El OIEA y el Banco Mundial aúnan esfuerzos para fortalecer la seguridad del abastecimiento de agua en el Níger



El Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, y el Ministro de Hidráulica, Saneamiento y Medio Ambiente del Níger, Maizama Abdoulaye, firman un acuerdo respaldado por fondos del Banco Mundial para mejorar la seguridad del abastecimiento de agua en ese país. (Fotografía: D. Candano Laris/OIEA)

El OIEA y el Níger han firmado un acuerdo, respaldado por fondos del Banco Mundial, para mejorar la seguridad del abastecimiento de agua en ese país. Esta colaboración histórica reforzará la gestión de los recursos hídricos mediante la construcción de un laboratorio nacional de calidad del agua y la modernización de los laboratorios regionales de agua del país.

“La escasez de agua afecta a vidas y medios de subsistencia, por lo que es fundamental fortalecer la gestión del agua en el Níger —declara el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi—. Con este acuerdo estamos dotando al país de la infraestructura, las herramientas y los conocimientos especializados necesarios para gestionar mejor este preciado recurso”.

“El Níger puede contar con el OIEA para fortalecer sus capacidades de gestión del agua y crear resiliencia a largo plazo en este ámbito”, declara el Sr. Grossi.

El acuerdo fue firmado el 13 de marzo de 2025 en Niamey por el Director General del OIEA y el Ministro de Hidráulica, Saneamiento y Medio Ambiente del Níger, Maizama Abdoulaye, en presencia de Han Fraeters, Director de País del Banco Mundial para el Níger.

El Níger se enfrenta a una grave escasez de agua debido a su clima árido, el rápido crecimiento demográfico y las limitadas infraestructuras hídricas, y la preocupación por la calidad del agua aumenta en ese país.

Según el Ministro Abdoulaye, la modernización de los laboratorios regionales de agua del Níger “es más vital que nunca”, y añade “hay que acelerar las medidas que han de adoptarse para advertir a la población de los riesgos de contaminación y protegerla contra estas amenazas químicas. Me complace firmar este acuerdo con el OIEA, que permitirá establecer un laboratorio de referencia y modernizar los ya existentes”.

La seguridad del abastecimiento de agua —la disponibilidad, la calidad, la gestión y la protección del agua— es esencial para el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental y económica. El OIEA ayuda a los países a gestionar sus recursos de agua dulce sirviéndose de la hidrología isotópica,

una técnica nuclear que proporciona información sobre las reservas de aguas superficiales y subterráneas — entre otras cosas sobre el origen, el movimiento y la calidad del agua— y las interacciones entre ellas. El OIEA presta un apoyo fundamental a los países que procuran determinar la antigüedad de sus reservas de aguas subterráneas para garantizar que estas puedan gestionarse de forma sostenible.

Una vez en funcionamiento, el nuevo laboratorio nacional de calidad del agua del Níger ayudará al país a evaluar la distribución, la reposición y la calidad de sus recursos hídricos para

apoyar el desarrollo económico que el país necesita para su población en crecimiento. El laboratorio se enmarca en un proyecto más amplio encaminado a desarrollar una plataforma integrada de recursos hídricos para reforzar la planificación, las políticas y las inversiones relacionadas con el agua.

La nueva alianza se basa en los compromisos contraídos durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua 2023, celebrada en Nueva York. En un evento paralelo a la puesta en marcha de la Red Mundial de Laboratorios de Análisis del Agua (GloWAL), el OIEA y el Níger se

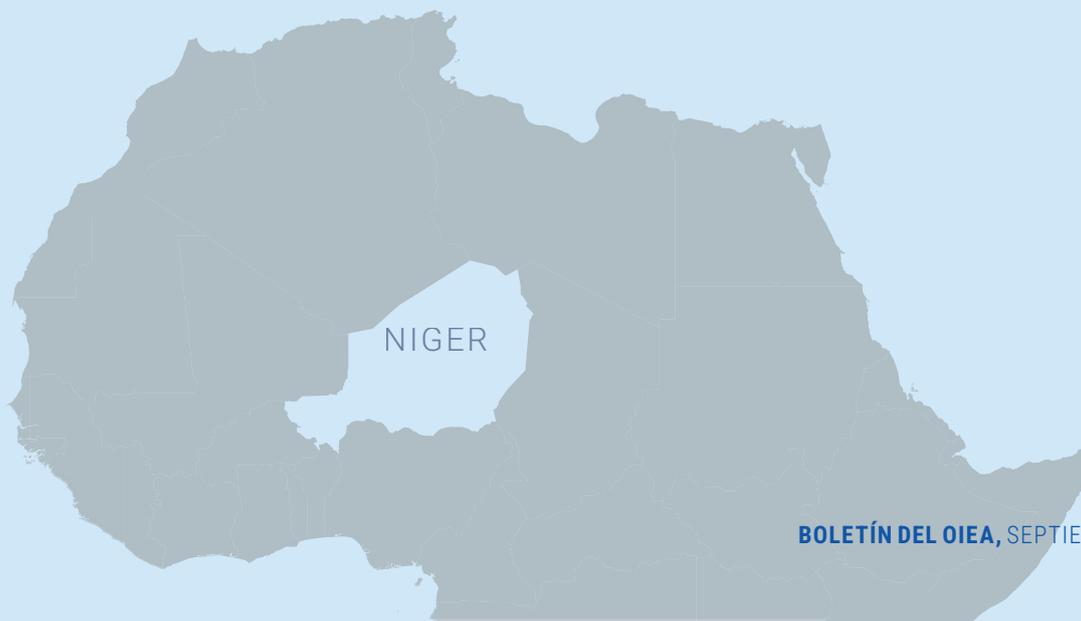
comprometieron a colaborar en el marco de la Red GloWAL, con el apoyo del Banco Mundial.

El acuerdo tiene como principal objetivo garantizar que el nuevo laboratorio nacional de calidad del agua del Níger sea plenamente operativo, esté debidamente equipado y cuente con técnicos analistas cualificados. El OIEA colaborará estrechamente con el Níger en el desarrollo del laboratorio, centrándose especialmente en la sostenibilidad a largo plazo.

— *Thomas Perrouy*



Esta nueva colaboración reforzará la gestión de los recursos hídricos mediante la construcción de un laboratorio nacional de calidad del agua y la modernización de los laboratorios regionales de agua en el Níger. (Fotografía: D. Candano Laris/OIEA)



Desalación nuclear: una solución sostenible para la seguridad del abastecimiento de agua en la región árabe



(Fotografía: AdobeStock)

La desalación nuclear ofrece a los países árabes y de otras regiones una alternativa limpia a los métodos de desalación tradicionales, que consumen mucha energía.

La escasez de agua dulce es un problema persistente en la región árabe, donde los limitados recursos hídricos naturales y el rápido crecimiento de la población ejercen una presión cada vez mayor sobre el suministro. Durante décadas, los países de la región han recurrido a métodos de desalación tradicionales, que dependen en gran medida de los combustibles fósiles. Ante la creciente demanda de energía y la preocupación por el cambio climático, muchos países están estudiando esta alternativa más limpia.

Al utilizar la energía nuclear para alimentar el proceso de desalación, los

países pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y generar al mismo tiempo un suministro constante de agua dulce.

Con el apoyo del OIEA, varios países árabes están evaluando la viabilidad de la desalación nuclear mediante estudios técnicos, programas de capacitación y actividades de cooperación regional. Esta tecnología suscita cada vez más interés y, conforme esto sucede, se considera progresivamente una solución práctica, pero también un componente de una estrategia más amplia para mejorar la seguridad del abastecimiento de agua en medio de complejos desafíos ambientales y de desarrollo.

Cómo apoya el OIEA la desalación nuclear

El OIEA lleva casi 30 años colaborando con los países árabes para prestar

apoyo a iniciativas de desalación nuclear. Mediante estudios de viabilidad, programas de capacitación y actividades de investigación, el OIEA ayuda a los países a analizar la manera en que la energía nuclear puede contribuir a la producción de agua dulce. Gracias a instrumentos especializados como el Programa de Evaluación Económica de la Desalación (DEEP) los responsables de la toma de decisiones pueden comparar los costos y la eficiencia de las distintas tecnologías.

A diferencia de los métodos de desalación convencionales, en la desalación nuclear se utiliza el calor y la electricidad generados por reactores para separar la sal del agua de mar, lo que reduce las emisiones de carbono al tiempo que proporciona una fuente de agua estable a largo plazo.

JORDANIA

Avances en la desalación mediante SMR

Jordania, un país en el que el 75 % del territorio está clasificado como desierto árido, está avanzando considerablemente hacia la desalación nuclear. El Gobierno está estudiando el uso de reactores modulares pequeños (SMR) para alimentar las plantas de desalación.

“En Jordania la desalación se considera la principal fuente de agua dulce para satisfacer la demanda prevista y reducir el déficit entre la oferta y la demanda”, expresa Khalid Khasawneh, Comisionado de Reactores Nucleares de la Comisión de Energía Atómica de Jordania (JAEC). Añade que este método “ofrece a los consumidores finales precios del agua dulce que son competitivos en comparación con las fuentes de energía importadas”.

ARABIA SAUDITA

Líder en desalación, estudia la energía nuclear

La Arabia Saudita, que ya es el mayor productor mundial de agua desalada, empezó a estudiar el uso de la energía nuclear para la desalación en la década de 1970. Como parte de su estrategia para pasar de una economía basada en el petróleo a una producción de energía diversificada, el país está estudiando la posibilidad de utilizar centrales nucleares para alcanzar su objetivo de emisiones netas cero y satisfacer sus necesidades de agua a largo plazo.

Según la Ciudad Rey Abdullah para las Energías Atómica y Renovables, “el Reino está planificando una matriz energética sostenible que incluye la energía atómica para satisfacer las necesidades energéticas del Reino para producir electricidad, agua desalada y energía térmica”, con el objetivo de reducir la dependencia de los hidrocarburos y promover el crecimiento económico.

EGIPTO

Energía nucleoelectrónica y estrategia hídrica

Egipto también está integrando la tecnología nuclear en su estrategia hídrica. Está en construcción la primera central nuclear del país, El-Dabaa, y con ello se está debatiendo la posibilidad de vincular la energía nuclear a la desalación en las regiones costeras. Según el Servicio de Información Estatal de Egipto, “las instalaciones nucleares pueden suministrar la energía necesaria para que las plantas de desalación produzcan agua potable.”

KUWAIT

Estudia la desalación nuclear como solución sostenible para el agua

Kuwait, que depende en gran medida de la desalación del agua de mar para satisfacer sus necesidades de agua dulce, recurre cada vez más a las tecnologías nucleares para encontrar soluciones más sostenibles. “Kuwait se enfrenta a los efectos del cambio climático, la acidificación de los océanos y la contaminación procedente de la industria petrolera y naviera y de las actividades de energía y desalación”, declara Nader Al-Awadi, Comisionado Ejecutivo para la Cooperación Internacional del Instituto de Investigación Científica de Kuwait. En consonancia con su labor encaminada a hacer frente a estos desafíos ambientales, Kuwait ha creado una instalación a gran escala para realizar investigaciones sobre la acidificación de los océanos con el fin de comprender mejor los efectos del cambio de las condiciones oceánicas en los ecosistemas marinos, que están directamente vinculados a la eficacia de las tecnologías de desalación.

Perspectivas de futuro

La desalación nuclear requiere inversiones, marcos reguladores y la participación de las partes interesadas. El OIEA colabora estrechamente con los gobiernos interesados para avanzar en la implantación de esta tecnología de forma segura, eficiente y eficaz en función del costo.

Para que esto se logre con éxito será fundamental la inversión continua, el intercambio de conocimientos y las alianzas regionales entre países árabes que estudian la desalación nuclear. Si se adopta de forma generalizada, la desalación nuclear podría aumentar la seguridad del abastecimiento de agua en la región por varias generaciones. El Sr. Khasawneh, de la JAEC, puso de relieve este creciente compromiso: “El apoyo del OIEA al programa nuclear de Jordania, en particular al proyecto de SMR, es muy valorado y desempeña un papel fundamental en la mejora de nuestras capacidades y el fomento de nuestras iniciativas”.

“Las aplicaciones no eléctricas alimentadas con energía nuclear, como la desalación, ofrecen soluciones sostenibles para una serie de tareas que requieren mucha agua, desde las necesidades de consumo de millones de hogares y las aplicaciones industriales del agua dulce hasta la agricultura y la ganadería”, afirma Francesco Ganda, Jefe Técnico de Aplicaciones Nucleares No Eléctricas en el OIEA.

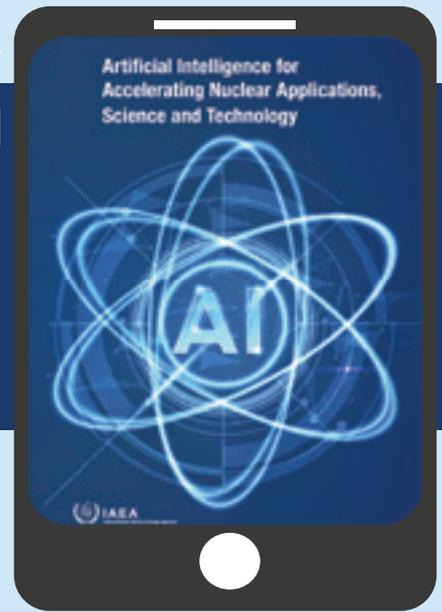
— Joelle Matta

¿Sabía

usted que se está aprovechando la IA para mejorar la gestión de los recursos hídricos?

Escanee aquí para saber acerca de

la manera en que la IA está promoviendo los usos pacíficos de las ciencias nucleares en el sector hídrico.



Descubra todas las publicaciones del OIEA

consulta gratuita en línea



www.iaea.org/es/publications

Si desea encargar una publicación, escriba a:

sales.publications@iaea.org

Publicaciones del OIEA

Únanse a nosotros

para un futuro mejor

Desde el OIEA invitamos a los Estados Miembros, la industria, las instituciones financieras y otras partes interesadas a que se unan a nuestras iniciativas emblemáticas y aporten sus conocimientos especializados, sus herramientas de modelización, sus conocimientos industriales, y sus recursos financieros y de promoción.

SALUD



MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR



ENERGÍA



MEDIO AMBIENTE



ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA



Obtenga más información sobre las **iniciativas emblemáticas del OIEA**



IAEA

Átomos para la paz
y el desarrollo

Foro Internacional de Alto Nivel sobre

NUTEC PLASTICS

25 y 26 de noviembre de 2025

MANILA (FILIPINAS)

Una solución nuclear a la contaminación por plásticos

Organizado por el



Acogido por la
República de Filipinas

#NUTECplastics

