

# Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes  
Año 2, enero-julio, 2017

º 5

**Donación de tejidos,  
cuestión de amor**  
Banco de Tejidos Radioesterilizados

**Los infiltrados**  
Técnica del insecto estéril

**La mejor alternativa energética**  
Generación continua de electricidad

**La edad del tiempo**  
Técnicas de datación



instituto nacional de  
investigaciones nucleares

## EDITORIAL

- 1 Lydia Paredes Gutiérrez

## AGRICULTURA

- 2 **Los infiltrados**  
Técnica del insecto estéril  
Víctor Manuel Salceda Sacanelles
- 5 **Visión al fondo de la tierra**  
Aplicación de fertilizantes  
José Alanis Morales

## SALUD

- 8 **Donación de tejidos, cuestión de amor**  
Banco de Tejidos Radioesterilizados  
María Esther Martínez Pardo
- 11 **Vistazo cromosómico**  
Dosimetría biológica  
Yolanda Citlali Guerrero Carbajal

## ARTE

- 14 **La edad del tiempo**  
Técnicas de datación  
Eduardo Ordóñez Regil

## AMBIENTE

- 17 **Hacer visible lo invisible**  
Red de monitoreo radiológico ambiental  
José Manuel García Hernández
- 20 **¡Aguas con el agua!**  
Exceso de flúor en el agua  
Marcos José Solache Ríos

## ENERGÍA

- 23 **Salvaguardar la infraestructura**  
Instrumentación nuclear  
Tonatiuh Rivero Gutiérrez
  - 26 **La mejor alternativa energética**  
Generación continua de electricidad  
Arturo Delfín Loya
- Quién es quién generando electricidad**  
Vicente Xolocostli Munguía  
Armando Miguel Gómez Torres

## DIRECTORIO

**Dra. Lydia Paredes Gutiérrez**  
Directora General

**Dr. Federico Puente Espel**  
Director de Investigación Científica

**Dr. Pedro Ávila Pérez**  
Director de Investigación Tecnológica

**Ing. José Walter Rangel Urrea**  
Director de Servicios Tecnológicos

**M.A. Hernán Rico Núñez**  
Director de Administración

**Mtra. María de los Ángeles Medina**  
Titular del Órgano Interno de Control

**Dr. Julián Sánchez Gutiérrez**  
Secretario Técnico

### Concepción creativa y coordinación editorial

Lic. Elizabeth López Barragán  
Coordinadora de Promoción y Divulgación Científica

### Asistencia de redacción

Lic. Víctor Octavio Hernández Ávila

### Fotografía

Pável Azpeitia de la Torre  
Armando Iturbe German  
123RF

### Ilustraciones

Angélica Balderrama

### Formación

Grupo Comersia, por Karen Hernández

### Año 2, número 5, enero-julio, 2017

**APPS Nucleares** es una publicación semestral de divulgación científica para jóvenes, editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Centro Nuclear "Dr. Nabor Carrillo Flores", Carr. México-Toluca, La Marquesa, s/n, Ocoyoacac, Estado de México, 52750. Tel. 5329 7219

Editora responsable Elizabeth López Barragán. La reserva de derechos al uso exclusivo y el ISSN se encuentran en trámite.

Los artículos presentados son responsabilidad de los autores. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de la editora. Se autoriza la reproducción parcial de la publicación siempre que se cite la fuente.

El tiraje consta de 2 mil ejemplares distribuidos gratuitamente.

Hecha e impresa en México por Comersia Impresiones, SA de CV.

## EDITORIAL



Años, meses, semanas, días, horas, minutos, segundos... no hay duda de que los seres humanos desde siempre nos hemos ocupado de construir herramientas que nos permitan cuantificar el tiempo y representar su transcurrir.

Hoy en día, gracias a técnicas cada vez más avanzadas podemos saber cuál es la edad de cualquier cosa. De tal modo que podemos comprobar o descifrar con creciente exactitud el momento en que un objeto fue creado o cuándo dejó de existir un ser vivo, a este proceso se le conoce como "datación".

La datación, mediante el uso de técnicas nucleares, nos permite ubicar un resto material en el tiempo, el medio que lo rodeó y, así, reconstruir su historia. ¡Asombroso!, ¿no te parece?

"El tiempo presente y el tiempo pasado acaso estén presentes en el tiempo futuro y, tal vez, al futuro lo contenga el pasado..." son las líneas con que inicia el poeta T.S. Eliot sus célebres *Cuatro cuartetos* y nos dan muestra de cómo la datación es una de las ideas más científicamente poéticas que se hayan cultivado, al igual que saber que todos estamos hechos de materia estelar o de polvo de estrellas como lo distinguimos en nuestra edición pasada de *Apps Nucleares*.

Para la ciencia, la imaginación es la llave que abre las puertas a mundos infinitos, muchas veces imperceptibles a simple vista. Los temas contenidos en este número te confirmarán que la investigación científica se nutre de la imaginación.

Como alguna vez escribió Blaise Pascal, "nuestra imaginación nos agranda tanto el tiempo presente, que hacemos de la eternidad un instante, casi nada, y del instante, o de la nada, una eternidad".

LYDIA PAREDES  
GUTIÉRREZ

Es doctora y maestra en Ciencias en Física Médica por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Realizó los estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Ingeniería en Energía en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Galardonada con la preseña "Ignacio Manuel Altamirano" al mejor promedio de posgrado de la UAEM y el artículo científico del año 2010 por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society, también ha sido nombrada egresada distinguida de la UAM y reconocida por su trayectoria profesional por la Fraternidad Institutense de la UAEM.

Es directora general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) desde 2013, y vicepresidenta del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y El Caribe (ARCAL) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Admira a Hipatia, filósofa y maestra neoplatónica griega. Su utopía es que la ciencia contribuya a alcanzar un mundo sostenible.



www.gob.mx/inin

elizabeth.lopezbarragan@inin.gob.mx

ININmx

ININmx

@inin\_mx

ININmx

Apps  
nucleares



# Los infiltrados

## | Técnica del insecto estéril



**VÍCTOR MANUEL SALCEDA SACANELLES**

*La aparición de plagas causa graves pérdidas cada año. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), los insectos consumen al menos el 10% de las cosechas almacenadas. Una forma de combatir las plagas es mediante plaguicidas, sin embargo, no es la más conveniente para la salud humana y el medio ambiente. Por suerte, la ciencia nuclear ofrece una mejor opción.*

La aparición del sedentarismo propició el surgimiento de la agricultura y la ganadería, sin embargo, ambas actividades se ven afectadas por plagas cuyo control se ha vuelto una necesidad permanente.

Podemos definir plaga como la aparición súbita de insectos, animales u otros organismos de una misma especie que provoque diversos daños al ambiente. Las plagas ocasionadas por insectos son las más frecuentes.

Para combatir este fenómeno se han utilizado técnicas de carácter químico como el dicloro-difenil-tricloroetano (mejor conocido como DDT), además de una infinidad de insecticidas, cuya aplicación no sólo afecta al insecto plaga sino también al ambiente, porque al aplicarse en el suelo se desprende e ingresa a la atmósfera en forma de vapor y se propaga en todas partes afectando a los seres vivos.

Con el propósito de encontrar alternativas al uso del DDT, Hermann Joseph Muller estudió el efecto de la esterilidad causada por las radiaciones al aplicarse en *Drosophila melanogaster*, que seguramente conoces pues es la mosca de la fruta. Tiempo después, los entomólogos Edward Knippling y Raymond Bushland retomaron las investigaciones e idearon un método apropiado para el control de plagas, a través de la llamada “técnica del macho estéril por radiación”.

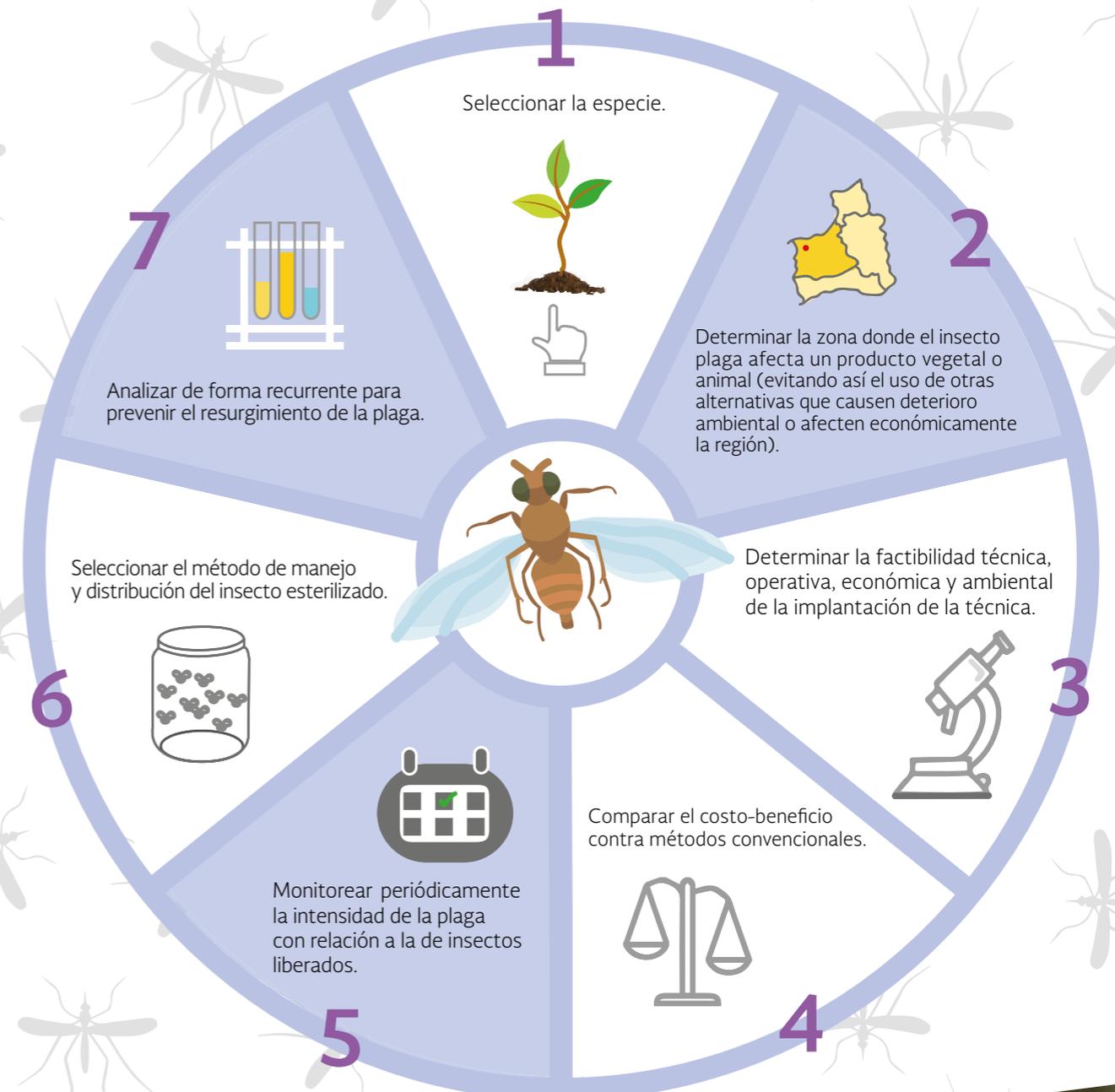
Esta técnica consiste básicamente en esterilizar mediante radiación (lo más recomendable y de mayor uso, en contraste con los métodos químicos en el laboratorio), enormes cantidades de la especie plaga, para posteriormente liberar los insectos estériles (machos y hembras) en la región infestada para que compitan en su apareamiento con los insectos de la zona, de tal manera que no dejen descendencia y así la población del insecto plaga tienda a disminuir.

Si la cantidad de individuos esterilizados y puestos en libertad supera a la plaga, la tendencia será más efectiva, por lo que es recomendable hacerlo en proporción de 10:1 y realizarlo semanalmente.

En el proceso de irradiación de las moscas se emplea radiación gamma provenientes de fuentes de cobalto-60 (debido a que son más económicas).

Existen dos formas de implementar la técnica: la primera consiste en iniciar el estudio de la plaga en un laboratorio de investigación y la segunda es proceder al establecimiento de una planta.

En ambos casos se requieren varias condiciones:





# Visión al fondo de la tierra

## | Aplicación de fertilizantes



**JOSÉ ALANIS MORALES**

*La agricultura ha sido punto clave en la historia del hombre, gracias a ella los egipcios, mesopotámicos y babilónicos se convirtieron en grandes civilizaciones. Esta importante actividad sigue siendo una prioridad para todas las naciones, por ello en el ININ trabajamos en técnicas nucleares para potenciar la agricultura, la salud alimentaria y el cuidado al medio ambiente.*

Las primeras civilizaciones que surgieron tuvieron una característica en común: se encontraban en las cuencas de grandes ríos. En las zonas del Creciente Fértil (región histórica que corresponde a los territorios del Levante mediterráneo, Mesopotamia y Persia) fue donde se comenzó a desarrollar la agricultura, actividad clave para el progreso de la humanidad.

La agricultura se define como el arte de cultivar la tierra, proviene del latín *agri* (campo) y *cultura* (cultivo). Es el recurso básico con el que cuenta el ser humano para subsistir. Con el paso del tiempo han aparecido nuevas técnicas de cultivo y componentes para mejorar la producción agrícola. Uno de ellos es el uso de fertilizantes.

La aplicación de fertilizantes para fortalecer la agricultura tiene múltiples ventajas, sin embargo el abuso de su aplicación conlleva consecuencias adversas. Por ejemplo, si un fertilizante se aplica de forma incorrecta genera el crecimiento de malas hierbas, el ataque de plagas y daño al ambiente. La consecuencia más grave es que puede empobrecer el suelo y disminuir su fertilidad.

Por otro lado, la aplicación adecuada de fertilizantes acelera y mejora la producción de alimentos. Un ejemplo es la absorción de fósforo (P), que es un nutriente fundamental para las plantas.

¿Y cómo podríamos optimizar la aplicación de fertilizantes?, si pudiéramos observar bajo la tierra o dentro de las plantas, como en una especie de radiografía, tendríamos la posibilidad de determinar en qué lugares beneficiaría más aplicar fertilizantes, además de evitar su abuso. Pues déjame decirte que existe una técnica para hacer esto.

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) desarrollamos una técnica nuclear mediante la selección de un elemento que facilita el estudio del fertilizante absorbido por la planta. El elemento utilizado es el fósforo-32.



Cuando el fertilizante se mezcla con el fósforo-32 se le llama radiotrazador, porque nos permite verlo, mediante el empleo de detectores de radiación, durante el recorrido que hace en la tierra o en la planta.



La técnica ha mostrado su eficiencia al aplicarse contra plagas como el gusano barrenador (causada por la mosca *Cochliomyia hominivorax*) en la región fronteriza de México y Estados Unidos, la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* y la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* en el estado de Chiapas.

Estas especies, entre otras similares, se han combatido en regiones de Argentina, Perú, Panamá, Costa Rica, Venezuela, Chile, Croacia, Australia, Filipinas y África.

La aplicación de la técnica del macho estéril por irradiación ha sido apoyada por gobiernos locales, además de la colaboración de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

El Departamento de Biología del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) tiene la posibilidad de identificar insectos plaga y determinar las dosis adecuadas para lograr su esterilización y, así, mantener el equilibrio de la naturaleza.

Los insectos estériles (machos y hembras) son liberados en la región infestada para que compitan en su apareamiento con los insectos de la zona, de tal manera que no dejen descendencia y así la población del insecto plaga tiende a disminuir.

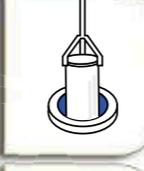


**VÍCTOR MANUEL SALCEDA SACANELLES**

Estudió la Licenciatura, Maestría y el Doctorado en Biología en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Está orgulloso de su trabajo y de los avances que ha traído consigo su investigación.

Una de sus películas favoritas es *Ahí está el detalle*, donde destaca la actuación de Cantinflas. Algunos de los personajes a quienes admira son Nezahualcóyotl, don Quijote de la Mancha y, su tutor, el genetista Theodosius Dobzhansky. Su personaje animado favorito es Popeye. Disfruta de practicar caminata, aunque le gustaría continuar con el béisbol y el yoga. Su platillo favorito es el frijol con puerco y le encantan los chocolates y los merengues.



- 1 El proceso comienza con la purificación y acondicionamiento del azufre. 
- 2 La cantidad a irradiar se coloca en una cápsula de aluminio cerrada herméticamente. 
- 3 La muestra es irradiada dentro del reactor nuclear. 
- 4 Durante el proceso de irradiación los neutrones generados por fisión nuclear convierten el azufre en fósforo-32. Como no todo el azufre irradiado se transforma, la muestra se somete a un proceso radioquímico de separación y purificación. 
- 5 El fósforo-32 producido se presenta en forma de solución como ácido ortofosfórico ( $H_3^{32}PO_4$ ). 
- 6 Finalmente, el fósforo está listo para ser empleado, ya sea en la agricultura o industria. 

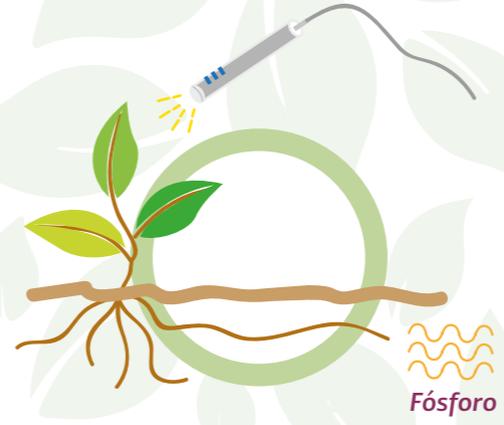
Cuando el fertilizante se mezcla con el fósforo-32 se le llama radiotrazador, porque nos permite verlo, mediante el empleo de detectores de radiación, durante el recorrido que hace en la tierra o en la planta, debido a que el fertilizante está marcado con el fósforo-32.

Gracias a la aplicación del fósforo-32 se favorece la óptima distribución de vegetales de distintas especies en un mismo plantío, según el tipo de terreno y de clima. Con esta técnica es posible cuidar la tierra y mejorar la producción agrícola, además de favorecer la salud alimentaria.



El fósforo-32 se aplica en el subsuelo, alrededor del tallo de la planta a una distancia de 30 a 40 cm.

Para saber el destino del fertilizante utilizamos un detector de radiación para distinguir su recorrido en cualquier medio que se encuentre. Si detectamos radiaciones en las diferentes partes de la planta, ya sea en el tallo, en la parte intermedia, en las hojas o retoños, quiere decir que el fertilizante fue utilizado correctamente.



Al marcarse fertilizante con fósforo-32 y aplicarse en el suelo, una fracción de este elemento es absorbido a través de las raíces y después es detectado en el cuerpo de la planta en un tiempo relativamente corto (10 a 20 horas). De esta forma se establece su distribución y progreso a lo largo de los días. Con esta técnica es posible conocer detalladamente la acumulación del material radiactivo.

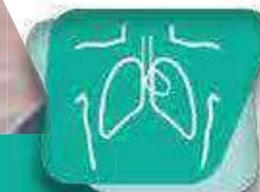


## JOSÉ ALANIS MORALES

Estudió Ingeniería Química en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Hizo la Maestría en Ciencias Nucleares y el Doctorado en Ciencias en el área de Química Nuclear, ambos en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Fue galardonado con la presea "Carlos Graef" en 1990 por su labor en la difusión de la cultura nuclear. Está orgulloso de ser amigo del astronauta mexicano José Hernández, quien lo invitó a ver su lanzamiento al espacio exterior. Algunas de sus películas favoritas son *Gladiator* y *Gravedad*. Ha practicado por muchos años atletismo y danza folclórica. Su comida favorita es el robalo al mojo de ajo y de postre los duraznos en almíbar. Admira a Stephen Hawking.





# Donación de tejidos, cuestión de amor

## | Banco de Tejidos Radioesterilizados



**MARÍA ESTHER MARTÍNEZ PARDO**

*Cuando alguien sufre quemaduras su vida cambia drásticamente, ya que los daños físicos y psicológicos requieren de un tratamiento adecuado para ser sanados. Gracias al desarrollo de la medicina y al uso de la tecnología de irradiación existe una valiosa alternativa capaz de curar las heridas de los lesionados y mejorar sus vidas de forma definitiva.*

Los incendios son más comunes de lo que pensamos. Tan solo en 2010 se registraron más de 700 mil muertes causadas por lesiones de quemadura, de acuerdo con el estudio de la carga mundial de morbilidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Otro dato significativo es que la mayor parte de los afectados por quemaduras son personas de escasos recursos.

Existen diversos tratamientos para combatir las lesiones causadas por quemaduras. Uno de estos procedimientos es la aplicación de tejidos biológicos en intervenciones quirúrgicas. Para ello, los bancos de tejidos son fundamentales, pues ahí se recolectan, procesan, almacenan y distribuyen tejidos biológicos estériles para su uso clínico.

Una de las ventajas de los bancos de tejidos es que se disminuye el riesgo de transmisión de enfermedades, ya sea del donador hacia el receptor o bien en la manipulación del tejido durante su procesamiento. En los bancos de tejidos especializados también se realizan actividades de investigación, desarrollo, difusión, capacitación y docencia.

Debido a la necesidad de encontrar fuentes alternativas para proveer tejidos biológicos y así ayudar a los pacientes que sufren de alguna lesión en la piel u otros padecimientos, entre 1997 y 1998 el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), con apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), creó el Banco de Tejidos Radioesterilizados (BTR).

Tratamiento con amnios en paciente pediátrico con quemaduras de 1º y 2º grado ocasionadas por agua caliente



### Proceso de irradiación



El BTR del ININ es pionero en México en la aplicación de radiación gamma del cobalto-60 para la esterilización de tejidos, tales como amnios, piel de cerdo, piel humana y tejido músculo esquelético.

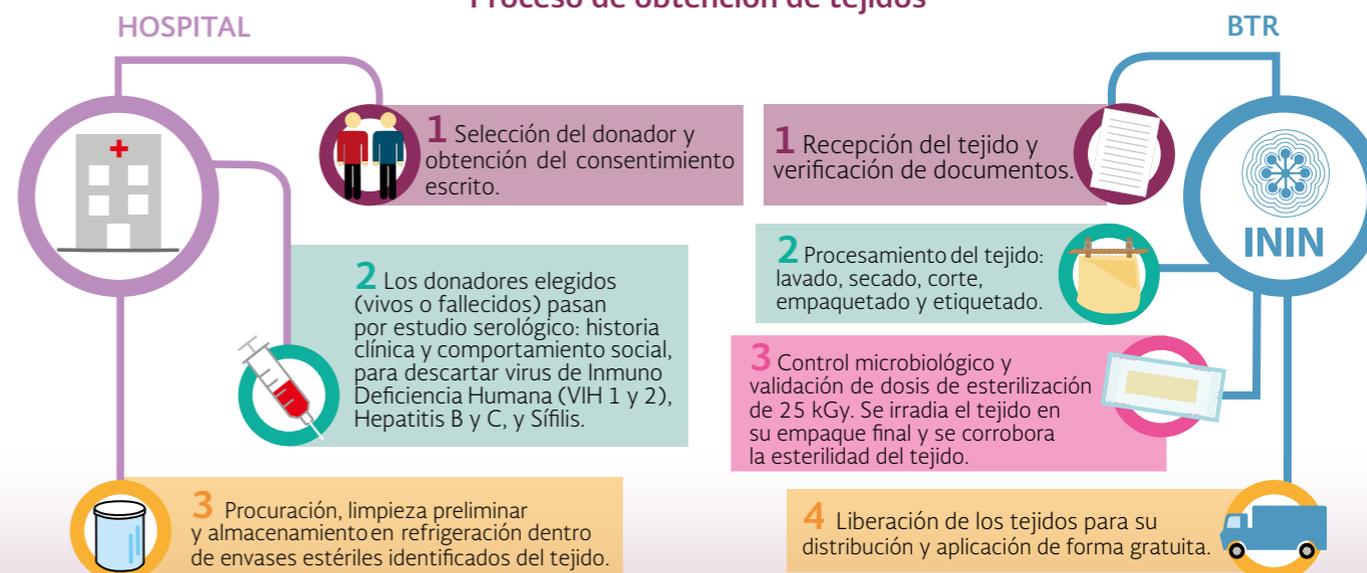
La Secretaría de Salud otorgó en 1999 al BTR del ININ su licencia sanitaria. Es el único banco de tejidos público del país que también cuenta desde el año 2003 con la certificación ISO 9001:2008 del Sistema de Gestión de la Calidad. El BTR del ININ no tiene fines de lucro, los tejidos procesados son donados de forma altruista, y da prioridad a pacientes de escasos recursos.

Algunos de los tejidos que se encuentran disponibles en el BTR son apósitos (cubiertas temporales de amnios, piel porcina) y aloinjertos (tejido para

trasplante entre individuos de la misma especie) de piel, ambos funcionan como una barrera entre la herida y el entorno que reduce la sensación de dolor, la pérdida de calor, electrolitos y proteínas (evitando la deshidratación), impiden que la herida se contamine con microorganismos y ayudan a una rápida epitelización (regeneración de la piel en zonas del cuerpo donde hubo pérdida cutánea).

Otras de las ventajas de los apósitos y aloinjertos es que disminuyen el uso de medicamentos y aceleran la recuperación del paciente. Los tejidos laminares (amnios, piel humana y de cerdo), se aplican principalmente en el tratamiento de pacientes con heridas difíciles de sanar y con un alto porcentaje de superficie corporal quemada.

### Proceso de obtención de tejidos





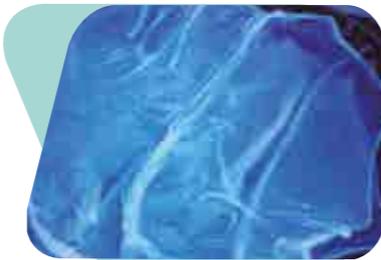
Los amnios –capa más interna de la placenta– se han usado en pacientes con epidermólisis bullosa distrófica dominante (formación de ampollas generalizadas y de quistes) para ayudarles a mejorar su calidad de vida. También son ocupados en servicios de oftalmología de varios hospitales para el tratamiento de diversas patologías de la superficie ocular.

Por otro lado, los aloinjertos son una de las mejores coberturas con las que pueden disponer las unidades de quemados que cuentan con la colaboración de un banco de piel humana. Del tejido músculo esquelético se utilizan el fémur, la tibia, el peroné (huesos de las piernas), el húmero, el radio, el cúbito (huesos de los brazos), entre otros.

En el proceso de procuración de tejidos se mantiene un protocolo respetuoso para el donante, sin embargo existe dificultad para obtener estos materiales, ya que en México no tenemos prácticamente una cultura de donación.

Los bancos de tejidos son de suma importancia en el cuidado de la salud, ayudan al paciente a acelerar su proceso de curación y son más económicos que la importación de materiales sintéticos o tejidos que resultan sumamente costosos. La presencia del BTR del ININ ha propiciado el establecimiento de otros bancos de tejidos especializados que también usan la tecnología de esterilización con radiación, fundamentales para salvar y mejorar la calidad de vida de cientos de pacientes en situaciones difíciles.

Tratamiento con amnios en paciente de 72 años con simbléfaron



**MARÍA ESTHER MARTÍNEZ PARDO**

Estudió Ingeniería Industrial en Química en el Instituto Tecnológico Regional de Veracruz (ITV), destacándose como la mejor estudiante de su generación. Posteriormente, estudió la Maestría en Física de Radiaciones y Seguridad Radiológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Doctorado en Ciencias por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

Le enorgullece ser pionera en México del establecimiento del primer banco de tejidos que usa la tecnología de irradiación y además dirigirlo. Sus películas favoritas son la trilogía *El código Da Vinci*, *Ángeles y demonios* e *Inferno*. La científica que más admira es Marie Curie. Su pasatiempo favorito es bailar, especialmente hawaiano y tahitiano. Su utopía es que la paz y tranquilidad vuelvan a México.



## Vistazo cromosómico

| Dosimetría biológica



**YOLANDA CITLALI GUERRERO CARBAJAL**

*Diariamente estamos expuestos a radiación natural y artificial, pero debido a su naturaleza es imperceptible a nuestros sentidos. Sin embargo existe una forma en la que el cuerpo humano registra los cambios que causa la radiación y ello nos facilita el acceso a esa información.*

Seguramente recuerdas que la Tierra es un planeta naturalmente radiactivo, expuesto a la radiación cósmica y a la generada por minerales de la corteza terrestre. Esa es la radiación natural.

Otra importante fuente de exposición de los seres vivos a radiaciones es la que se genera de manera artificial, es decir, aquella producida en sectores como la industria, la energía y la salud, entre otros.

En los seres humanos las células registran el efecto de la radiación en forma de cambios en la estructura y tamaño de los cromosomas. Estas modificaciones se conocen como “aberraciones cromosómicas”.

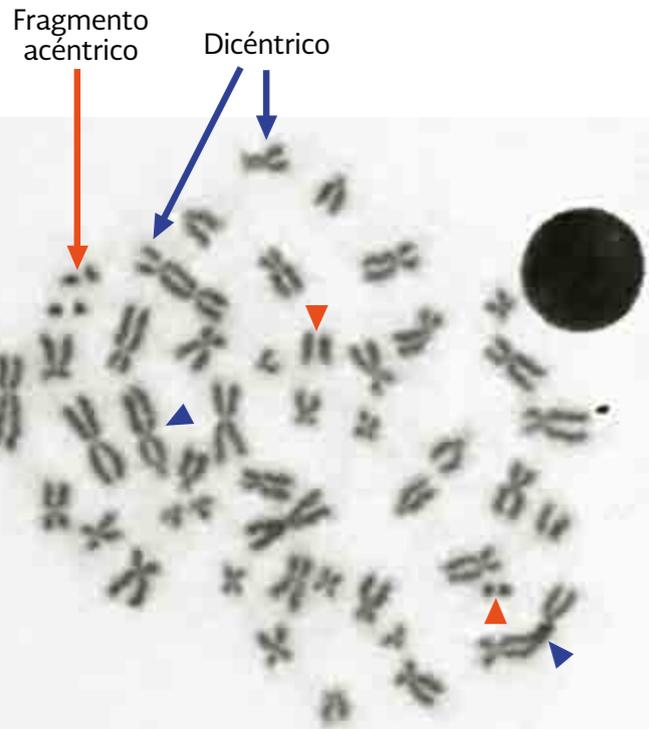
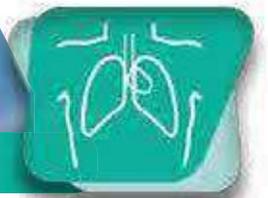
Los cromosomas están formados por dos brazos llamados “cromátidas hermanas”, además de su parte central (que entre otras funciones impide que se separen) cuya estructura se denomina “centrómero”. Cada uno de los brazos cuenta con la misma información genética codificada.

La radiación de fondo y las modificaciones en la información genética de los seres vivos pasa casi siempre inadvertida, los organismos se acostumbran a vivir expuestos a esa energía. Sin embargo, el hecho de que sea imperceptible al individuo no quiere decir que no se note, tal vez te sorprendas pero ¡es posible observar estos cambios!

Cuando una traza de radiación interactúa con los brazos de dos o varios cromosomas, éstos literalmente van a ser cortados. En el mejor de los casos pueden reunirse en el mismo sitio donde se cortó, con la pérdida de algunas bases o genes, en otros casos se pueden llegar a unir con los brazos de otro cromosoma, lo que dará origen a los cromosomas dicéntricos.



*La radiación de fondo y las modificaciones en la información genética de los seres vivos pasa casi siempre inadvertida, los organismos se acostumbran a vivir expuestos a esa energía. Sin embargo, el hecho de que sea imperceptible al individuo no quiere decir que no se note.*



Los cromosomas dicéntricos, como su nombre lo indica (dos centrómeros) son dos cromosomas unidos en los extremos, que conservan la estructura que une a las cromátidas hermanas, el centrómero. Pueden llegar a formarse estructuras con tres, cuatro, cinco o incluso más centrómeros. El dicéntrico va a ir acompañado del pedazo de cromosoma que quedó y que ya no tiene centrómero, por lo que se le denomina acéntrico.

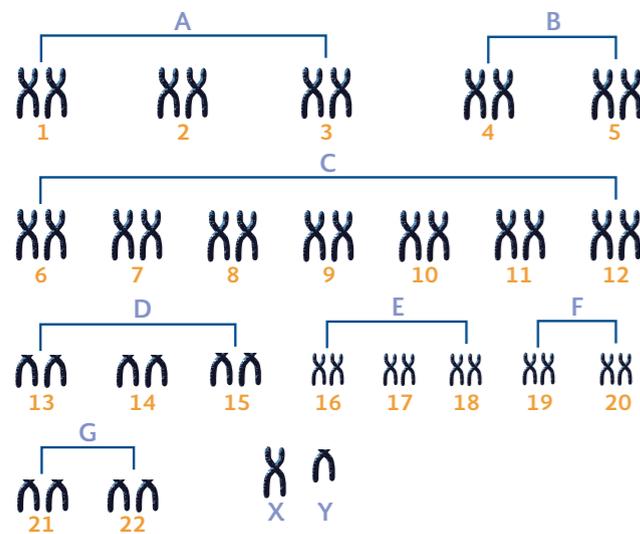
Aunque te parezca difícil de creer, normalmente cualquier persona tiene en sus células alteraciones genéticas. Al observar en un microscopio las células de todos los individuos, se considera que por cada mil células sin daño en una de ellas se presenta un dicéntrico.

Cualquier cantidad de dicéntricos por arriba de uno en mil es indicativo de que la persona se expuso a algún tipo de radiación ionizante (radiaciones con energía suficiente para extraer electrones del átomo) fuera de lo normal. El dicéntrico se comporta de acuerdo con la dosis o cantidad de radiación y gracias a esta relación puede expresarse con una ecuación matemática. La cantidad de dicéntricos corresponde a una dosis específica, esta medida lo convierte en el mejor dosímetro (aparato para medir la dosis de radiación absorbida) biológico que se conoce a la fecha.

La utilidad del dosímetro biológico es notoria cuando cualquier persona se ve expuesta a valores de dosis de radiación por arriba del valor de fondo y de quien está en tratamiento médico. Para determinar la dosis a la que se expuso el individuo lo más adecuado y sencillo es tomar una muestra de sangre, analizar los cromosomas e identificar la presencia de dicéntricos.

Aunque los avances en protocolos y medidas de protección radiológica son muy avanzados, existe la posibilidad de exponerse a material radiactivo. El laboratorio de Dosimetría Biológica, único en el país, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), trabaja constantemente para innovar en tecnologías y estrategias en protección radiológica, sin escatimar recursos en el cuidado del personal expuesto y de la población en general.

### Cariotipo humano



El número normal de los cromosomas en el hombre es de 46, que corresponden a 22 pares de autosomas (cromosomas iguales entre sí) y el par restante llamado cromosoma sexual, en el caso del género masculino se denomina "XY", mientras que en el femenino "XX".

- 1**

En el cuerpo humano los linfocitos pueden servir como un dosímetro.
- 2**

Los linfocitos son células que se encuentran en la sangre que circula por todo el cuerpo.
- 3**

Al tomar una muestra de linfocitos (al igual que en cualquier análisis clínico) es posible observar su desarrollo.
- 4**

Los cromosomas no siempre son visibles en el núcleo de la célula, para ello se adecúan las condiciones en las que se encuentran el cuerpo para inducirlos a que el material genético sea visible.
- 5**

El momento de la división celular en el que el ADN es visible en forma de cromosoma se denomina "metafase".
- 6**

Es entonces cuando se pueden realizar las observaciones y cuantificar las aberraciones cromosómicas.

### YOLANDA CITLALI GUERRERO CARBAJAL

Estudió la Licenciatura en Biología y la Maestría en Ciencias en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se enorgullece de trabajar diariamente con convicción y así colaborar en el mejoramiento del país.

Cuando estudiaba, la materia que menos le gustaba era Matemáticas. Su película favorita es Avatar, ya que considera que define a la humanidad en sus dos aspectos más contradictorios: la bondad y la maldad. Le encanta practicar yoga, bicicleta fija y bucear. Algunas de sus científicas favoritas son Marie Curie y Rosalind Franklin. Su postre favorito es el chocolate en cualquier presentación, además disfruta del mole. La vida en paz y tranquilidad en sociedad que proporcione al individuo la posibilidad de desarrollar plenamente sus aptitudes es su utopía.





# La edad del tiempo

## | Técnicas nucleares de datación



**EDUARDO ORDÓÑEZ REGIL**

*Existen diversas huellas del pasado en nuestro planeta, que la ciencia y los avances tecnológicos nos ayudan a desentrañar. Y seguro te preguntarás mediante qué técnicas podemos comprobar, incluso con exactitud, la antigüedad de una cosa que fue creada hace más de mil años. En este artículo podrás enterarte y conocerlas.*

La curiosidad por saber sobre nuestro pasado es lancesante. El poeta Robert Burns, de origen escocés, dijo: “si no tuviéramos pasado estaríamos desprovistos de la impresión que define nuestro ser”. Los seres humanos buscamos constantemente el entendimiento y el conocimiento, por ello es usual que personas de todas las edades se pregunten el origen de los objetos y de los acontecimientos.

Una pregunta muy común respecto de los seres u objetos que habitaron la Tierra hace miles o incluso millones de años es ¿cómo es posible conocer su edad? Para responderla es conveniente explicar el concepto de “datación”.

La datación es un conjunto de técnicas que nos proporcionan información sobre la antigüedad de alguna cosa o muestra de interés de diversos materiales, como árboles, granos, restos humanos antiguos o incluso la edad de algunos vinos exóticos. El objetivo de este procedimiento es determinar la edad de algún objeto o suceso de interés, mediante la comparación con objetos de referencia o con el uso de sofisticadas técnicas radioquímicas.

Existen dos tipos de datación. El primero pertenece al grupo denominado métodos relativos, que se basan en el análisis del entorno en que se encuentra el objeto de estudio y los clasifica como

antiguos o modernos (sin precisar el número de años). El segundo grupo corresponde a los métodos absolutos o numéricos, los cuales asignan una edad específica al objeto de estudio después de un análisis exhaustivo sin importar su relación con el sitio donde fue encontrado.

Algunos de los métodos absolutos hacen uso de la medición de elementos radiactivos y el cálculo de los elementos que se desintegran formando otros, que pueden ser radiactivos o estables. Estos métodos denominados “radiométricos” son usados para datar o conocer la edad de rocas, minerales o materia orgánica. Los elementos radiactivos utilizados en el proceso deben estar presentes en el objeto de estudio, además su elección va a depender del rango de edad que se desea determinar.

El elemento fundamental para llevar a cabo estos procedimientos es el carbono-14 (<sup>14</sup>C). Este es un elemento químico radiactivo natural y una de sus características es que la duración de su emisión radiactiva es de 5 mil años. Al emplear carbono-14 en la técnica se extiende hasta los 70 mil años, sorprendente ¿verdad? El uso del <sup>14</sup>C nos permite determinar edades en antropología, material biológico, telas, madera, entre otros.

Para determinar edades menores en otros materiales existe otra técnica, que consiste en la aplicación de tritio (<sup>3</sup>H), que es un isótopo (átomo que pertenece al mismo elemento químico que otro, tiene su mismo número atómico, pero distinta masa atómica) del hidrógeno, cuenta con una vida media (promedio de vida de un núcleo atómico de una muestra radiactiva) de 12.43 años y su rango de acción es de 87 años, por lo que resulta muy útil en el fechado de vinos, mantos de agua y formaciones de hielo.

En el Laboratorio de Radioquímica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) es aplicada la técnica del uranio-torio. Uno de los usos de este procedimiento es fechar restos fósiles de interés paleontológico. La datación se realiza al aplicar uno de los radioelementos de vida media más larga como es el caso del uranio-238 (<sup>238</sup>U) y sus productos de desintegración, como el <sup>234</sup>U y el <sup>234</sup>Th, que tienen un rango de fechado de 500 mil años. Por esta razón, este procedimiento es efectivo para determinar la edad de las muestras de sedimentos marinos y de los restos de algunos mamíferos pertenecientes al pleistoceno (época geológica que comenzó hace más de 2 millones de años), por ejemplo, los huesos de mamuts, bisontes o caballos encontrados en diferentes excavaciones hechas en algunas partes del territorio mexicano.

La técnica del uranio-torio utiliza la medición de la cantidad de uranio existente en todos los compuestos de la naturaleza. No debe extrañarte que las rocas, animales, vegetales, incluso el agua, contengan pequeñas cantidades de uranio, ya que son imperceptibles. Se les denomina “concentraciones traza” y no representan ningún riesgo para la salud humana, animal o vegetal.

El uranio es un elemento radiactivo que se desintegra emitiendo partículas alfa (partículas atómicas compuestas de dos protones y dos neutrones), lo que constituye un átomo de helio doblemente ionizado o un núcleo sin electrones. El resultado es una partícula positiva y muy reactiva con su alrededor.

Un ejemplo de esta técnica es el siguiente: imagina que un animal pastaba tranquilamente por unas verdes praderas, al mismo tiempo incorporaba uranio-238 libre de sus descendientes radiactivos.



*Esqueleto de Eohippus “Caballo del Amanecer”, género extinto de mamífero ungulado pequeño de la familia de los équidos.*

### Cadena de desintegración URANIO (U-238)

Núcleo	Período de semidesintegración
Uranio-238	4,47 miles de m.a.
Torio-234	24,1 días
Protactinio-234	1,17 días
Uranio-234	245.000 años
Torio-230	77.000 años
Radio-226	1.600 años
Radón-222	3.823 días
Polonio-218	3,05 minutos
Plomo-214	26,8 minutos
Bismuto-214	19,7 min
Polonio-214	0,000164 seg
Plomo-210	23,3 años
Bismuto-210	5,01 días
Polonio-210	138,4 días
Plomo-206	Estable





A partir de ese hecho comienza el proceso de desintegración radiactiva y da inicio la acumulación de uranio-234 y el torio-230, además del resto de radionúclidos (elementos químicos con configuración inestable que experimentan una desintegración radiactiva manifiesta en la emisión de radiación en forma de partículas alfa o beta y rayos X o gamma) que también se acumularon en la muestra.

En el proceso, el uranio-238 es fijado principalmente en los huesos de los mamíferos, los cuales representan uno de los vestigios más preciados de la fauna del pleistoceno que se han preservado durante miles de años.

Las muestras de hueso son tratadas cuidadosamente para extraer y fijar los isótopos del uranio y el torio en discos de acero, que posteriormente se analizan en un espectrómetro alfa. Los resultados son analizados después en una gráfica especial llamada nomograma (representación gráfica que permite realizar con rapidez cálculos numéricos aproximados, donde se asocian las edades correspondientes). Finalmente, las edades obtenidas se cotejan con las estimadas por los paleontólogos que suministraron las muestras y los resultados suelen ser bastante precisos.

La datación mediante elementos radiactivos es un procedimiento eficaz para determinar la edad de las muestras y restos que se encuentran en nuestro planeta. Todos los datos recopilados nos ayudan a tener mejor comprensión sobre los acontecimientos pasados, además de proporcionarnos información de gran valor para el futuro.



La datación es un conjunto de técnicas que nos proporcionan información sobre la antigüedad de alguna cosa o muestra de interés de diversos materiales, como árboles, granos, restos humanos antiguos o incluso la edad de algunos vinos exóticos.

**EDUARDO  
ORDÓÑEZ REGIL**

Estudió la Licenciatura en Química en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Realizó un Doctorado en Química Nuclear en la Universidad Luis Pasteur de Estrasburgo, Francia. Posteriormente hizo un post-Doctorado en la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica y un año sabático en la Universidad de París Sur.

Está orgulloso de su país y de su familia, principalmente de su padre cuyo ejemplo lo inspiró para seguirse preparando. *El señor de los anillos* es de las películas que más disfruta ver. Su deporte favorito, que ha sido su pasión durante toda la vida, es el tiro con arco. Su escritor favorito es Herman Hesse, autor del libro *El lobo estepario*.



## Hacer visible lo invisible

| Red de monitoreo radiológico ambiental



**JOSÉ MANUEL GARCÍA HERNÁNDEZ**

Conocer nuestro entorno es de mucha ayuda para adaptarnos y modificar las circunstancias desfavorables, por ejemplo, al analizar condiciones climáticas podemos prevenir posibles dificultades. ¿Sabías que la radiación ambiental puede ser monitoreada? Pues así es y gracias a diversas técnicas nos protegemos de sus posibles riesgos.

Es probable que en alguna ocasión hayas escuchado la expresión “lo esencial es invisible para los ojos”, que aparece en el libro *El Principito* de Antoine Saint-Exupéry. La frase tiene mucho de cierto, ya que existen múltiples elementos en el ambiente que son imperceptibles para nosotros. Uno de ellos es la radiación.

La radiación puede proceder de fuentes naturales y artificiales. Algunos ejemplos de radiación natural son los rayos cósmicos y los minerales que conforman la Tierra, la artificial proviene de aplicaciones como medicina nuclear, producción de radioisótopos y la generación de electricidad, entre otros usos.

Una de las características principales de la radiación es que es invisible, inolora, insabora y además no se puede sentir, en otras palabras somos incapaces de percibirla mediante nuestros sentidos, como normalmente pasa con el frío, la lluvia o el calor. La incapacidad para percibir la radiación nos hace vulnerables a sus efectos, que como seguramente sabes, dependen de la intensidad y de la fuente de emisión. La radiación en altas dosis puede resultar perjudicial para nuestra salud.

La exposición a la radiación de forma natural o por la proximidad de alguna instalación que utilice materiales nucleares es una posibilidad constante. En términos generales, la dosis de radiación ambiental natural que reciben los seres humanos es baja, sin embargo es de gran importancia cuantificar dicha dosis para tomar acciones preventivas o correctivas en caso de una súbita elevación.

México es un país con una extensión territorial de 1,973 millones de km<sup>2</sup>, como te imaginarás, medir los niveles de radiación no es una tarea sencilla, además de que existen diversos factores que modifican estos niveles. La entidad encargada de realizar la medición de los niveles de radiación en México es la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), un órgano descentralizado de la Secretaría de Energía (Sener).



La dosis de radiación ambiental natural que reciben los seres humanos es baja, sin embargo es de gran importancia cuantificar dicha dosis para tomar acciones preventivas o correctivas en caso de una súbita elevación.



Exterior de la Sonda Monitor de Radiación Gamma (SMRG) instalada en Ciudad Juárez

Para determinar los niveles de radiación ambiental a los que está expuesta la población en nuestro país, la CNSNS implementó el Sistema Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental. Una de las principales herramientas de este sistema de vigilancia la constituye la Red Nacional Automatizada de Monitoreo Radiológico Ambiental (**Renamora**).

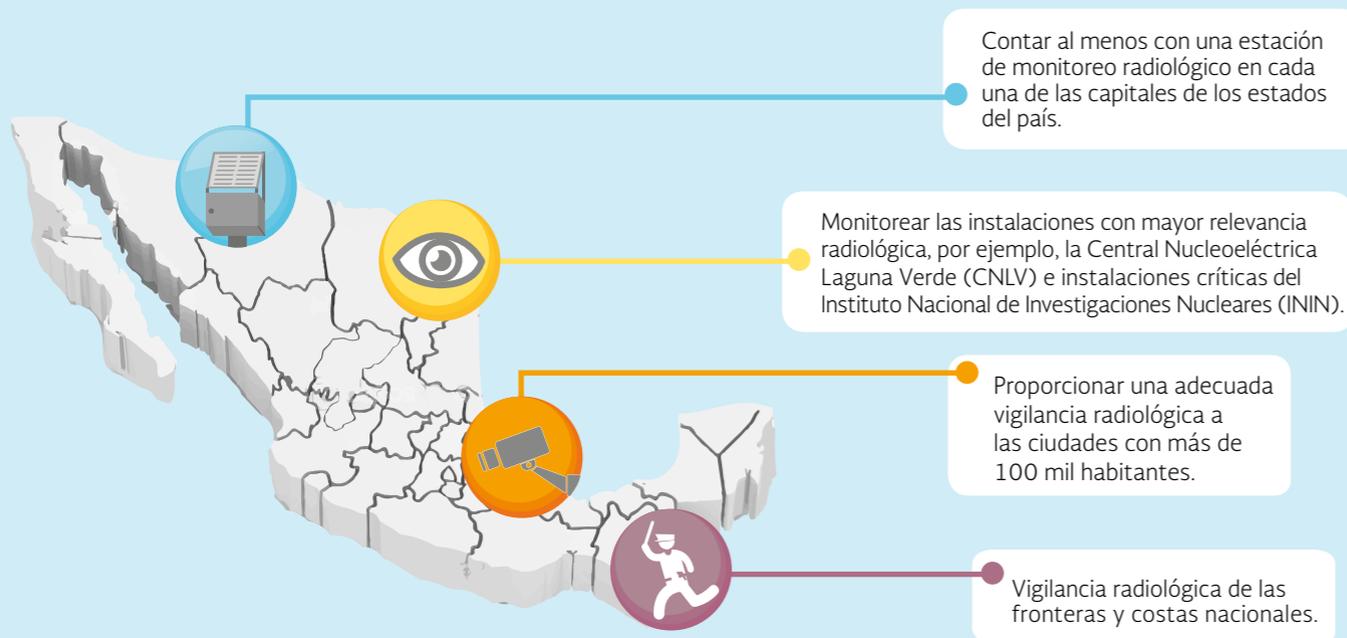
Actualmente, la **Renamora** cuenta con 91 estaciones de monitoreo radiológico, instaladas por todo México. La consulta en tiempo real de la información radiológica de cada estación se realiza de forma remota desde las instalaciones de la CNSNS en la Ciudad de México.

De acuerdo con la Ley Reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Mexicana en Materia de Energía Nuclear, el ININ tiene como objetivos:

“Planear y realizar la investigación y desarrollo en el campo de las ciencias y tecnología nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país”.

Por ello, el Departamento de Sistemas Electrónicos del ININ desarrolla tecnología de instrumentación nuclear para la detección de radiación, entre otras actividades de investigación.

### Objetivos de la Red Nacional Automatizada de Monitoreo Radiológico Ambiental (**Renamora**)



Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, (2016). La Red Nacional de Monitoreo Radiológico Ambiental (RENAMORA). [http://www.cnsns.gob.mx/seguridad\\_radiologica/monitor\\_ambiental/renamora.php](http://www.cnsns.gob.mx/seguridad_radiologica/monitor_ambiental/renamora.php)

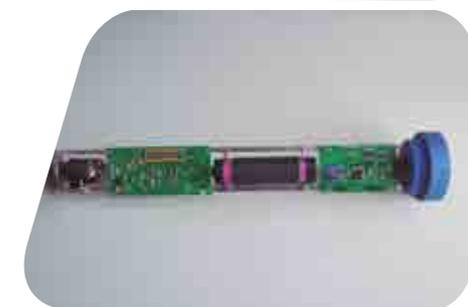
Para cumplir con las necesidades tecnológicas de la **Renamora**, en coordinación con la CNSNS, el ININ desarrolló la Sonda Monitor de Radiación Gamma, un instrumento capaz de detectar la radiación presente en el ambiente y reportar los niveles correspondientes, vía red de telefonía celular, al servidor de consulta remota.

El desarrollo tecnológico de la SMRG fue un proyecto integral que comprendió aspectos de hardware (desarrollo de tarjetas electrónicas), el software (desarrollo de programas), integración de dispositivos de enlace y consulta vía celular con el servidor en las instalaciones de la CNSNS, así como la instalación física de 50 estaciones de monitoreo radiológico basadas en la SMRG en diferentes ciudades a lo largo y ancho del país.

El hardware y software desarrollado para las estaciones de monitoreo basadas en la SMRG de la **Renamora** nos permiten conocer los niveles de radiación de cada sitio. La consulta se realiza de manera sencilla mediante un programa específicamente desarrollado para tal fin, posteriormente la información se muestra de manera gráfica y numérica.

Adicionalmente, la SMRG proporciona la información de temperatura y humedad relativa de cada sitio de instalación, con esta información es posible la planeación de algunos aspectos de mantenimiento preventivo y/o correctivo para la sonda. Además, el software almacena la información obtenida en bases de datos que pueden consultarse por fecha específica cuando el usuario lo requiera.

Gracias al desarrollo de las estaciones de monitoreo radiológico ambiental basadas en la SMRG para la **Renamora**, el ININ cumple con una de sus prioridades principales de proteger y cuidar a la población. Además, el ININ colabora a disminuir la dependencia tecnológica de nuestro país en los aspectos de vigilancia radiológica ambiental, al contar la **Renamora** con el 55% de sus estaciones de monitoreo basadas en tecnología nacional.

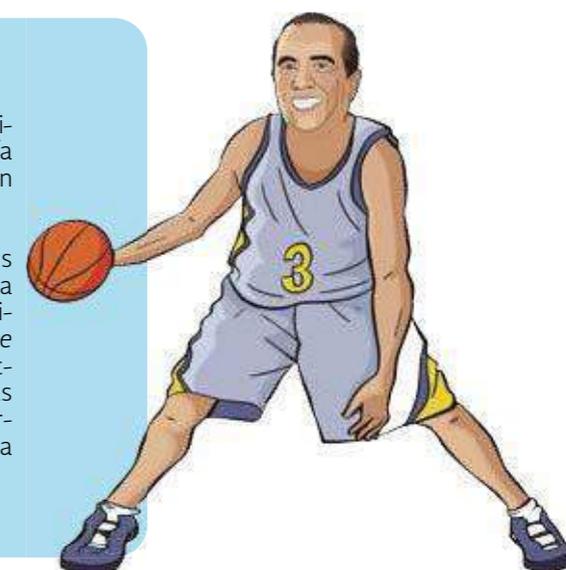


Interior de la Sonda Monitor de Radiación Gamma

### JOSÉ MANUEL GARCÍA HERNÁNDEZ

Estudió Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT), posteriormente realizó la Maestría y el Doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el ITT.

Se enorgullece de su familia y del impacto de los proyectos que ha realizado en el ININ. La materia que no le agradaba tanto cuando estudiaba era Filosofía. Su película favorita es *Lo que el viento se llevó*. Disfruta de caminar a campo traviesa y practicar basquetbol. Uno de los personajes que más admira es Nikola Tesla. Su utopía es que los gobernantes en México asuman su tarea para servir a la comunidad sin caer en la corrupción.





# ¡Aguas con el agua!

## | Exceso de flúor en el agua



**MARCOS JOSÉ SOLACHE RÍOS**

*¿Has notado que algunas personas presentan una coloración amarilla en los dientes? Bueno, seguro el primer pensamiento que pasa por tu cabeza es que no se limpian bien los dientes, sin embargo las causas de este problema pueden no ser su responsabilidad directa.*

La pasta dental es un producto utilizado en la mayoría de los hogares debido a que las sustancias que la componen son benéficas para los dientes. Entre los componentes que se encuentran en los dentífricos está el flúor, cuya característica es ayudar a restablecer el esmalte de los dientes.

La aplicación de flúor para la prevención de caries surgió por estudios que revelaron que las personas que crecían bebiendo agua con una concentración más alta en fluoruros tenían una incidencia menor de caries. Los resultados de esas investigaciones sostenían que si el flúor está presente durante las etapas iniciales de la formación dental, esos dientes brotarían con un esmalte más fuerte.

Incluso llegó a creerse que la aplicación directa de flúor sobre la dentadura proporcionaba mayores beneficios, pero en realidad sólo lo hacía en un grado menor. Sin embargo, se volvió común recomendar que bebés y niños pequeños recibieran complementación de flúor.

Evidencia posterior ha cambiado la postura de los primeros investigadores. El flúor actúa solamente en dientes que ya han brotado, al entrar en contacto con el esmalte dental forma una superficie más resistente a las caries. Por lo tanto, el único valor dental del agua fluorada se da durante el proceso de beberla, cuando el flúor en el agua baña la superficie del diente. Sin embargo, el flúor en exceso puede ser perjudicial para la salud. Lo más preocupante es que además de las pastas dentales también el agua potable puede contener altas concentraciones de flúor.

Las altas concentraciones de iones de fluoruro en el agua subterránea son un problema grave en el mundo. Este tipo de contaminación se origina de dos formas, resultado de actividades humanas (industrias mineras de carbón, berilio, hierro o aluminio) y la contaminación natural causada por minerales relacionados con el flúor (fluorita, criolita y fluorapatita).

Las aguas subterráneas con altas concentraciones de iones fluoruro se pueden encontrar en diversas partes del mundo como en India, China, África central, Sudamérica y México

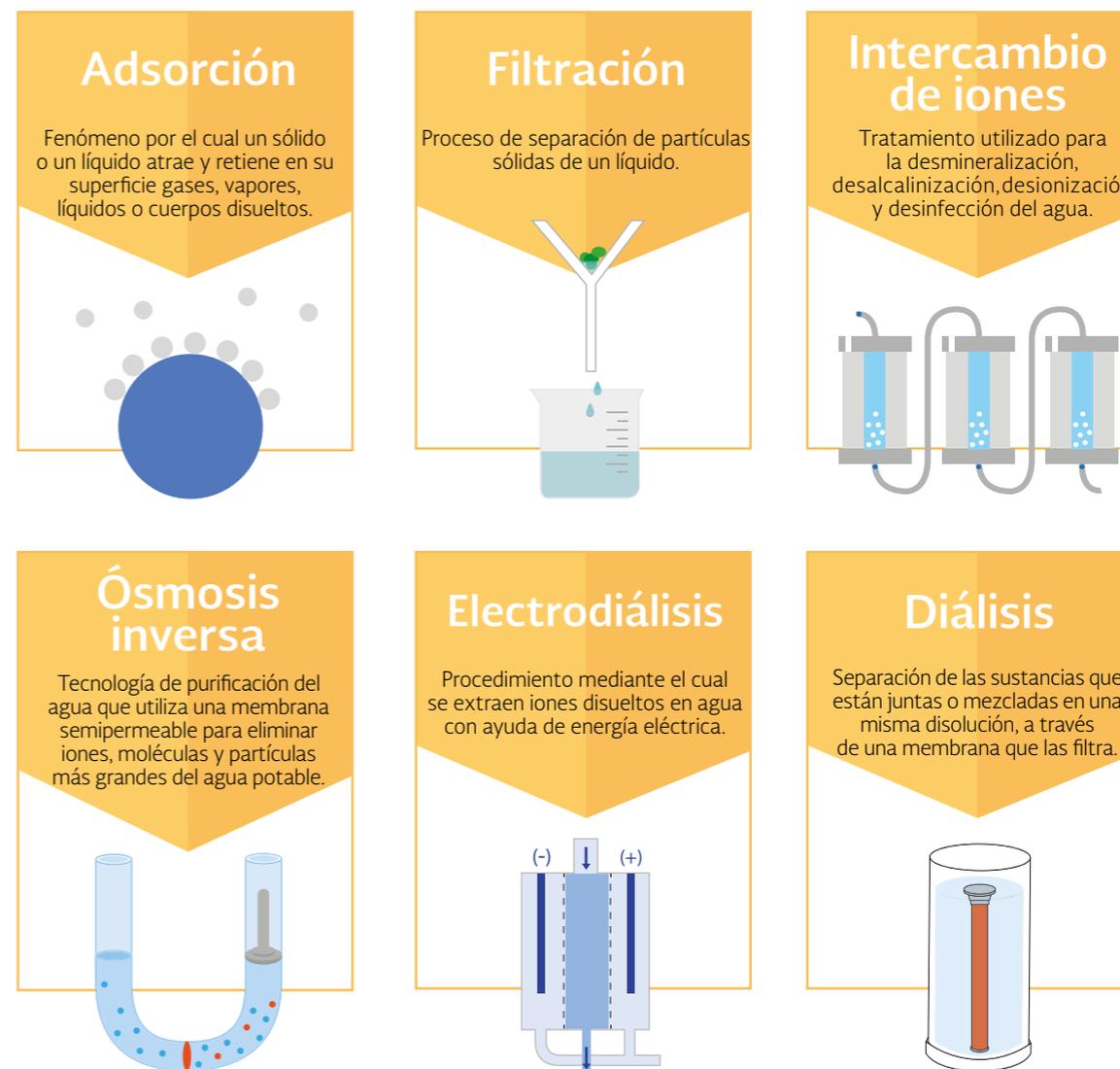
Algunos pozos de agua subterránea en la zona del norte y centro de México contienen fluoruro en concentraciones superiores a lo establecido por las normas nacionales e internacionales, cuya intensidad depende de la situación geográfica y económica. El mayor problema de las concentraciones de fluoruro es que son persistentes y no degradables, se acumulan en el suelo, plantas, vida silvestre y en los seres humanos, incluso se enriquece en aguas naturales por procesos geológicos.



La ingesta de flúor en exceso tiene diversos efectos perjudiciales en la salud humana. Evidencias epidemiológicas muestran que la ingestión a largo plazo de agua potable o alimentos con exceso de fluoruro provoca problemas como fluorosis dental (anomalía que produce desde un esmalte dental más poroso y suave hasta manchas oscuras), fluorosis ósea (condición que daña el sistema óseo sin tratamiento actualmente) y lesiones del hígado o riñón.

El calcio atrae fuertemente al fluoruro debido a su fuerte electronegatividad, es por ello que los dientes y huesos son las partes que se ven más perjudicadas por las altas concentraciones de fluoruro. La mejor forma de prevenir los efectos del flúor en exceso es mantener la ingesta de iones fluoruro por debajo de los límites de seguridad. Para combatir el exceso de flúor en el agua es necesario realizar un tratamiento al agua.

Algunos métodos para el tratamiento y eliminación de iones de fluoruro del agua potable son:



*El calcio atrae fuertemente al fluoruro debido a su fuerte electronegatividad, es por ello que los dientes y huesos son las partes que se ven más perjudicadas por las altas concentraciones de fluoruro.*



La adsorción es uno de los métodos de separación y purificación más estudiados debido a su alta selectividad, fácil manejo, menor costo de operación, alta eficiencia, menor cantidad de lodos producidos (lodo con impacto negativo en el ambiente producido en el tratamiento de agua potable) durante el proceso y regeneración de los adsorbentes. Por estas razones se han empleado adsorbentes naturales modificados y sintéticos para la eliminación de iones fluoruro del agua.

Es importante señalar que la eficiencia de separación de iones fluoruro no sólo depende del tipo de adsorbente sino también de la composición del agua que se quiere tratar. Los criterios para seleccionar un adsorbente adecuado son su capacidad de adsorción, costo, facilidad de operación, potencial para reutilización y su posibilidad de regeneración.

Entre los ejemplos de adsorbentes encontramos: hidroxapatita, compuestos tipo hidrotalcita de magnesio, cobalto, níquel, hematita, materiales zeolíticos modificados con lantano y aluminio, resinas de intercambio iónico, celulosa de algodón, alúmina activada, calcita y quitosano. El empleo de materiales adsorbentes implica un elevado costo, por ello es importante generar adsorbentes económicos para emplearse en la remoción de iones fluoruro.

En el Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se han estudiado diferentes adsorbentes naturales para la remoción de iones fluoruro de agua.

Estos adsorbentes naturales son modificados con elementos como aluminio, hierro, calcio o lantano, entre otros.

Al adecuar el entorno podemos asegurar mejores condiciones de vida para sus habitantes. Gracias a las investigaciones enfocadas a eliminar altas concentraciones de flúor en el agua, prevenimos enfermedades y fortalecemos la salud pública.



**!** El flúor en exceso puede ser perjudicial para la salud. Lo más preocupante es que además de las pastas dentales también el agua potable puede contener altas concentraciones de flúor.

**MARCOS JOSÉ  
SOLACHE RÍOS**

Estudió la Licenciatura en Química en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y el Doctorado en la Universidad de Cambridge, Inglaterra. Realizó un Posdoctorado en la Universidad del Estado de Florida, Estados Unidos.

Recibió el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2015, otorgado por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (Comecyt). Está orgulloso de la vida y de ser parte de este maravilloso universo. Su película favorita es *La teoría del todo*. Disfruta mucho de la caminata al igual que de correr. Sus escritores favoritos son Ernest Hemingway, Umberto Eco y Kate Morton. Además, le encantan los chocolates.



## Salvaguardar la infraestructura | Instrumentación nuclear



**TONATIUH RIVERO GUTIÉRREZ**

*Al conjunto de herramientas y conocimientos aplicados se denomina tecnología y es la que nos permite modificar nuestro entorno para beneficiarnos. Todo lo que es considerado tecnología no se crea por generación espontánea sino que va evolucionando continuamente, lo que permite fabricar nuevos productos o los mismos de forma distinta. La instrumentación electrónica es la que ha tenido cambios más rápidamente. ¿Has imaginado los cambios que ha tenido la instrumentación en los reactores nucleares?*

Los reactores nucleares de potencia son instalaciones complejas que integran distintos tipos de sistemas para cumplir con la función de producir energía eléctrica de forma eficiente y segura, considerando la protección de la población y el ambiente.

Actualmente, existen más de 450 reactores nucleares en operación en el mundo, que generan cerca del 11% de la electricidad global, sin producir gases de efecto invernadero y trabajando hasta por 18 meses seguidos sin interrupción.

Para que un reactor nuclear pueda trabajar óptimamente y con todas las medidas de protección es necesario que su instrumentación esté actualizada y con el mantenimiento adecuado.

Anteriormente, los reactores nucleares se diseñaban para tener una vida útil de 40 años, pero con nuevos estudios sobre el comportamiento de los materiales y la experiencia ganada durante su operación, la vida útil se ha ido extendiendo hasta los 60 años o más. No pasa lo mismo con la instrumentación que difícilmente llega a los 15 años, esto se debe al vertiginoso avance de la electrónica donde constantemente surgen dispositivos y componentes nuevos, con mejores funciones o características. Los fabricantes de los nuevos dispositivos los discontinúan en poco tiempo, lo que encarece el soporte, el servicio y las refacciones.

Un reactor nuclear puede requerir de actualizar su instrumentación varias veces durante todo su tiempo de vida. La actualización de la instrumentación es una tarea costosa y compleja debido al tipo de instalación, al cambio tecnológico de la instrumentación analógica a instrumentación digital y a la reglamentación a la que están sujetas este tipo de instalaciones.

El Institute of Nuclear Power Operations (INPO), en octubre de 2010, estableció una serie de atributos para afrontar un proyecto de actualización de la instrumentación considerando el cambio tecnológico



*Para que un reactor nuclear pueda trabajar óptimamente y con todas las medidas de protección es necesario que su instrumentación esté actualizada y con el mantenimiento adecuado.*



## CICLO DE VIDA DE UN REACTOR NUCLEAR



Mantener las condiciones adecuadas para la operación de un reactor nuclear requiere, entre otras muchas cosas, actualizar periódicamente la instrumentación, con ello podemos seguir disfrutando de los beneficios que generan las aplicaciones de la ciencia y tecnología nuclear.

a instrumentación digital. En estos atributos se introducen nuevos conceptos antes inexistentes, como son los relacionados con el aspecto de la ciberseguridad, el ciclo de vida de los sistemas digitales y la gestión de la calidad del software y del firmware (software incrustado en componentes programables, como en los FPGA). Una vez que el proyecto de actualización está definido se requiere tomar en cuenta también al proceso de aceptación por parte del órgano regulador.

En México se cuenta actualmente con dos reactores nucleares de potencia del tipo agua en ebullición Boiling Water Reactor (BWR). El primero (Unidad I) entró en operación el 13 de febrero de 1989 y el segundo (Unidad II) el 11 de noviembre de 1994. La instrumentación que no está relacionada con la seguridad del reactor ha sido más “fácilmente” actualizada, pero a la que se relaciona con la seguridad, debido a los controles y reglamentaciones a que está sujeta, ha sido más difícil de actualizar.

Cada vez que se actualiza la instrumentación de un reactor se añaden nuevas funcionalidades y conceptos, que son analizados para evitar y determinar nuevos modos de falla que pudiera presentar y que no estuvieran establecidos en el informe de seguridad de la instalación.

Todas las actividades de la instrumentación se realizan bajo un riguroso plan, aplicando programas de aseguramiento de calidad con recomendaciones del órgano regulador en materia de seguridad nuclear. En México esta función la realiza la Comisión Nacional de Seguridad y Salvaguardias (CNSNS) y con las guías de organizaciones internacionales como la Comisión Reguladora en Materia Nuclear de los Estados Unidos de América (NRC por sus siglas en inglés) y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

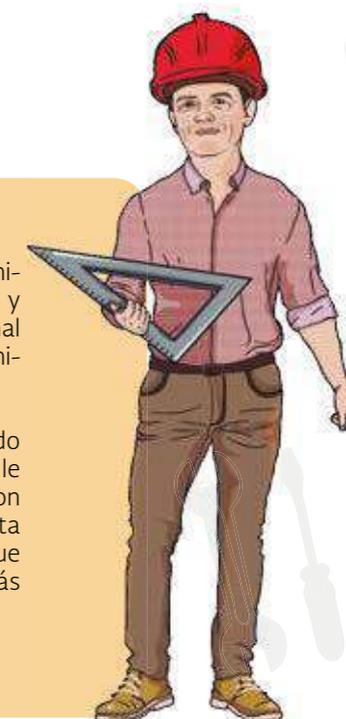
Finalmente, mantener las condiciones adecuadas para la operación de un reactor nuclear requiere, entre otras muchas cosas, actualizar periódicamente la instrumentación, con ello podemos seguir disfrutando de los beneficios que generan las aplicaciones de la ciencia y la tecnología nuclear.

Contar con instalaciones actualizadas que propicien seguridad y confianza para la población y el cuidado al ambiente es una prioridad del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), por ello a través de su Departamento de Automatización e Instrumentación se promueven prácticas seguras en todas las instalaciones nucleares y radiactivas en el país.

### TONATIUH RIVERO GUTIÉRREZ

Estudió la Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y realizó el Doctorado en Ciencias en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT).

Se siente orgulloso de colaborar en el ININ. Cuando estudiaba la preparatoria la materia que menos le gustaba era Español. La serie de películas *Alien* son sus favoritas. Le encanta practicar caminata. Disfruta de comer pozole y fresas con crema. Su utopía es que México sea un país exportador de tecnología, además de vivir en una ciudad ordenada y bien planificada.





# La mejor alternativa energética

## | Generación continua de electricidad



**ARTURO DELFÍN LOYA**

*La electricidad cambió al mundo por completo. Prácticamente todos los aparatos que utilizamos funcionan con energía eléctrica. Pero te has imaginado ¿qué pasaría si no pudiéramos generar la electricidad suficiente? Las alternativas son más amplias de lo que parece.*

La energía eléctrica es utilizada diariamente en prácticamente todos los hogares e industrias del mundo, y como comprenderás la producción de electricidad necesaria para satisfacer la demanda energética es muy alta, sobre todo si se carece de alternativas para producirla. Incluso es posible llegar a una crisis si los peores escenarios se combinan.

Por ejemplo, la central hidroeléctrica “Simón Bolívar”, la segunda más grande del continente, ubicada en Venezuela, ha sufrido dos años de extrema sequía y calores intensos asociados a los cambios climatológicos, lo que se tradujo en una crisis energética que afectó gravemente a la población de ese país.

Esta problemática, como parece obvio, repercute en el resto de la economía, además de afectar la vida diaria de los habitantes, desde no poder prender su horno de microondas hasta carecer de la energía para mantener prendidos y en funcionamiento aparatos eléctricos en hospitales que mantienen con vida a miles de pacientes.

El consumo de electricidad en el mundo depende de la localización geográfica de cada región. Por ejemplo, una zona urbana ocupa una densidad de carga (electricidad) más elevada comparada con una zona rural. En las ciudades, las zonas industriales tienen una carga sumamente alta. También los hospitales, comercios y oficinas requieren de dosis constantes de energía y en menor medida las zonas habitacionales.

La distribución de electricidad en cada instalación se provee de acuerdo con su potencia (valor me-

dio de consumo) y el periodo (durante el cual se toma el valor medio conocido como intervalo de demanda), depende básicamente de los aparatos eléctricos que se encuentren conectados a la red de distribución eléctrica.

Imaginemos nuestro hogar, donde contamos con diferentes dispositivos eléctricos que convierten energía eléctrica en otras formas de energía (mecánica, lumínica, térmica u otras). Durante el día estos dispositivos se mantienen conectados de forma permanente. Por ejemplo, el refrigerador para conservar nuestros alimentos, entre otros aparatos eléctricos, y esto ocurre en millones de hogares del mundo.

En el sector industrial, hay equipos que deben operar 24 horas al día los 365 días del año. Por ejemplo, las máquinas que generan productos, las oficinas que operan con equipos de cómputo e impresión, además de la iluminación utilizada en todo tipo de instalaciones.

Los hospitales también requieren mantener el flujo de electricidad, ya que muchos equipos, como monitores de signos vitales, lámparas quirúrgicas, electrocardiógrafos o desfibriladores, son fundamentales.

Satisfacer el requerimiento de electricidad para el hogar y los sectores industriales y de salud es altamente demandante. Cuando se suman todas sus contribuciones a la cantidad de energía que se consume constantemente se le considera “carga base” y es una variable muy importante para sostener la economía de cada país.

Por otro lado, a la cantidad de demanda extra necesaria para realizar actividades con dispositivos que consumen energía eléctrica, pero que no se mantienen conectados todo el día, se conoce como “carga pico”.

Algunos ejemplos de carga pico en el hogar son aparatos como la licuadora, el microondas o las consolas de videojuegos, etc. En la industria, son las máquinas que permiten incrementar la producción y que son operadas por personal con un horario específico. Además, la carga pico es influida por las características climatológicas del área, pues en la temporada invernal en algunos hogares e industrias se utiliza calefacción y en temporadas de calor se emplea el aire acondicionado.

En conclusión, entendemos por carga base el nivel mínimo de demanda en una red eléctrica durante 24 horas, mientras que por carga pico la energía eléctrica necesaria en las horas donde la demanda es mayor.

Al sumar la carga base necesaria para abastecer de electricidad a todos los hogares, industrias, hospitales, edificios gubernamentales y demás a nivel

nacional, tenemos como resultado una altísima demanda de energía y seguro te preguntarás ¿cómo podemos generar electricidad suficiente para satisfacer esa demanda? y ¿qué opciones se tienen?

Para cubrir la demanda de carga base las energías no renovables que queman combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) tienen un papel fundamental. Claro que son apoyadas por energías renovables como la hidroeléctrica, geotérmica, biogás, biomasa, energía solar, undimotriz (que usa la energía mecánica de las olas) y mareomotriz. Sin embargo, las energías no renovables son incapaces de sostener por sí solas la carga base, a excepción de la energía nuclear, lo que la convierte en una alternativa viable.

Las fuentes generadoras de energía que se emplean para abastecer la carga base deben satisfacer una parte o la totalidad de la demanda continua de energía de una región determinada y producir energía a una tasa constante, normalmente a un bajo costo en relación con otras instalaciones de producción de energía eléctrica disponibles.



## ARTURO DELFÍN LOYA

Estudió en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) la Licenciatura en Física y Matemáticas, así como la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Nuclear. En la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) obtuvo el Doctorado en Ciencias Nucleares.

Está orgulloso de ser mexicano, de haber nacido en Salina Cruz, Oaxaca, de las tradiciones de su pueblo y de trabajar en el ININ. La materia que menos le gustaba en la escuela era Etimologías. Su película favorita es *La vida es bella*, dirigida y protagonizada por Roberto Benigni. El científico que más admira es Albert Einstein, por sus desarrollos científicos y su actitud positiva. Su utopía es que el mundo sea un lugar sin corrupción donde las personas hagan lo justo y lo correcto.



La energía generada por plantas nucleares resulta una muy buena alternativa para asegurar el abastecimiento de electricidad confiable en México, garantizando el suministro eléctrico para generaciones futuras. Además, el impacto negativo al medio ambiente es prácticamente inexistente, ya que genera una cantidad mínima de gases causantes del efecto invernadero. Así, se evita el gasto anual de 45 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y por tal razón la energía nuclear es considerada como una fuente de energía limpia.

Por otro lado, las plantas de carga base que utilizan combustible no renovable, incluyendo las plantas nucleares y de carbón, están en operación normal todo el año, excepto durante el mantenimiento de sus componentes o recarga de combustible. La producción de electricidad de estas plantas es eficiente y relativamente alta, además de garantizar la calidad y continuidad del servicio al usuario.

Las fuentes de energía renovable podrían ser consideradas para contribuir a la red energética y abastecer la demanda de carga base. Sin embargo, algunas de ellas dependen de las condiciones climatológicas como vientos, fuerza de mareas, calor del sol, lluvia, etc. Aunque la energía renovable es fundamental para apoyar la generación de electricidad existe el riesgo de que su aportación no sea constante y por tanto resulte intermitente.



*La generación de energía por medios nucleares es muy competitiva, debido a los costos de su ciclo de vida, además de ser limpia al cuidar el medio ambiente.*

La generación de energía por medios nucleares es muy competitiva, debido a los costos de su ciclo de vida, además de ser limpia al cuidar el medio ambiente. En Francia, por ejemplo, cerca del 50% de la producción de energía eléctrica es de origen nuclear, lo que ha contribuido a una mayor seguridad energética. El siguiente paso para forjar un futuro energéticamente más seguro es la aplicación de alternativas económicas, amigables con la naturaleza y constantes en la producción de energía, y sin duda la energía nuclear cuenta con todas esas características.

cado internacional. Además de que la producción de electricidad mediante energía nuclear representa el 33% de lo que cuesta producir la misma cantidad de energía con gas y el 50% con petróleo.



# Quién es quién generando ELECTRICIDAD



Vicente Xolocostli Munguía  
Armando Miguel Gómez Torres

Existen múltiples alternativas para la producción de electricidad como son la energía geotérmica, solar, eólica e hidráulica. Una de las características de estas energías es que son renovables y amigables con el ambiente, sin embargo no generan electricidad de manera constante y dependen de las condiciones climatológicas.

A pesar de que la geotérmica opera más horas al año que la nuclear, la nuclear genera aprox. 60% más energía eléctrica.

Las centrales nucleares producen electricidad de forma constante sin depender de condiciones externas, por ello contribuyen sustancialmente para cubrir la carga base. Además no emiten gases de efecto invernadero.

Si la capacidad instalada termoeléctrica fuera nuclear se generaría aproximadamente un 40% más de electricidad y sin emisión de gases de efecto invernadero.

La capacidad instalada eólica es 32% mayor que la nuclear pero produce 33% menos de energía.

Un día nublado puede mermar la eficiencia de las plantas solares

Tipo de energía

Capacidad instalada

Energía producida

Horas de Operación Promedio al Año

Tipo de energía	Capacidad instalada	Energía producida	Horas de Operación Promedio al Año
<b>GEO TÉRMICA</b> Calor interior de la Tierra	813 MW	0.685 GW-año	7,380 horas
<b>NUCLEOELÉCTRICA</b> Fisión del uranio	1,400 MW	1.105 GW-año	6,912 horas
<b>TERMOELÉCTRICA</b> Combustión de fósiles como carbón, gas natural, aceites, etc.	48,530 MW	27.39 GW-año	4,944 horas
<b>EÓLICA</b> Aerogeneradores que ocupan la energía del viento	2,036 MW	0.734 GW-año	3,156 horas
<b>HIDROELÉCTRICA</b> Presas	12,429 MW	4.43 GW-año	3,123 horas
<b>SOLAR</b> Energía del Sol	56 MW	0.01 GW-año	1,517 horas

**MW (Mega Watt)** es una unidad de potencia (un millón de watts) que indica la capacidad que tiene cada tecnología para generar energía eléctrica por segundo.

**GW-año (Giga Watt año)** es una unidad de energía (mil millones de watts-año) que indica la energía eléctrica entregada a la red en un año (generación de electricidad).

**HOPA (Horas de Operación Promedio al Año\*)** Equivale a las horas que operó una central en promedio en un año.  
\*El año tiene un total de 8,760 horas.

**Carga base**

**No contamina**



## Visitas guiadas

Conoce las instalaciones del centro nuclear de investigación de México.

Las visitas son gratuitas y se dan a todas las escuelas de nivel medio superior, superior y posgrado.



**5329 7200**  
Exts. 11260 y 11262



## Estancias y servicio social

Desarrolla tu tesis de licenciatura, maestría o doctorado con la asesoría de colaboradores del ININ.

Si eres estudiante de ciencias, carreras administrativas o humanidades, ven a realizar tu servicio social, prácticas profesionales o estancia.



**5329 7200**  
Exts. 15294 y 15295



ININmx



@inin\_mx



gob.mx/inin



ININmx



ININmx



instituto nacional de  
investigaciones nucleares