

# Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes

No. 1, invierno 2014 - 2015



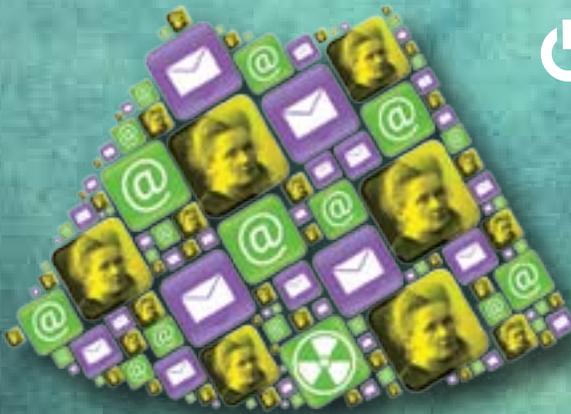
 Estimular la evolución



 El combustible más energético



 Radiofármacos y diagnóstico temprano de cáncer



Salud



Energía



Agricultura



Ambiente



instituto nacional de  
investigaciones nucleares

**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. Ma. 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*
- Fotografía**  
Pável Azpeitia de la Torre  
Armando Iturbe German  
123RF
- Ilustración**  
Tania Camacho  
*Jours de Papier*  
Angélica Balderrama
- Diseño e impresión**  
Comersia, S.A. de C.V.

**Apps Nucleares** es una publicación para jóvenes de divulgación científica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)  
No. 1, invierno 2014-2015

- @ elizabeth.lopezbarragan@inin.gob.mx
- f ININmx
- 🐦 @inin\_mx
- 🌐 www.inin.gob.mx

**CONTENIDO**

|  |    |
|--|----|
| <b>Editorial</b><br>Lydia Paredes Gutiérrez  | 1  |
| <b>Radiofármacos y diagnóstico temprano de cáncer</b><br>Clara Leticia Santos Cuevas | 2  |
| <b>Reactor TRIGA MARK III y ejemplo de su producción</b><br>Jaime Hernández Galeana  | 4  |
| <b>Reparar el esqueleto</b><br>Daniel Luna Zaragoza                                  | 6  |
| <b>Las plantas mutantes</b><br>Josefina González Jiménez                             | 8  |
| <b>Estimular la evolución</b><br>Eulogio de la Cruz Torres                           | 11 |
| <b>Mejor ambiente + salud</b><br>Elizabeth Vega y Eva Melgar                         | 14 |
| <b>En busca de fuentes de energía</b><br>Miguel Balcázar García                      | 16 |
| <b>Renovarse para seguir trabajando</b><br>Ángeles del Consuelo Díaz Sánchez         | 18 |
| <b>El combustible más energético</b><br>Armando Miguel Gómez Torres                  | 20 |
| <b>Factores básicos de protección</b><br>Jorge Aguilar Balderas                      | 23 |
| <b>Bajo buen resguardo</b><br>Aída Contreras Ramírez                                 | 26 |



Aunque es una frase hecha decir que los jóvenes representan el futuro —y todos estamos de acuerdo en ello—, lo cierto es que también son producto del pasado y, sobre todo, son parte fundamental de nuestro presente.

Por ello, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) hemos preparado una publicación especial de divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para ellos.

Cada año recibimos en nuestra sede, el Centro Nuclear “Dr. Nabor Carrillo Flores”, la visita de miles de jóvenes estudiantes de nivel medio superior y superior, así como de posgrado, a quienes tenemos la oportunidad de mostrarles el quehacer científico y tecnológico que desarrollamos, a través de distintas aplicaciones nucleares, en beneficio de la sociedad mexicana.

En varios momentos de nuestra vida cotidiana utilizamos bienes o servicios derivados de alguna aplicación nuclear, aunque pocas veces lo sabemos o nos damos cuenta de ello.

Reconocemos que son las universidades y los institutos de investigación donde se acumula el conocimiento científico, pero es indudable que su aprovechamiento y utilidad se extiende a todos los sectores de la sociedad.

Justo por ello, uno de los pilares fundamentales de nuestra estrategia de comunicación es hacer visible los beneficios que la ciencia y tecnología nucleares aportan a la sociedad mexicana, con los que contribuye a mejorar la calidad de vida.

Sirva este nuevo puente de comunicación con los jóvenes de nuestro país, para fomentar la cultura científica y nuclear en México.



**Lydia Concepción Paredes Gutiérrez**

Es egresada de la carrera de Ingeniería en Energía en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Realizó estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear en el Instituto Politécnico Nacional (IPN), así como la Maestría y Doctorado en Ciencias en Física Médica en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Obtuvo la presea “Ignacio Manuel Altamirano Basilio”, concedida por la UAEM al mejor promedio en estudios de posgrado en 1999. Recibió el reconocimiento al artículo científico del año 2010, otorgado por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society.

Desde el año 2013 es la titular de la Dirección General del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Y fue directora de Investigación Tecnológica, en el mismo Instituto, de 1999 a 2012.

Sus películas favoritas son *Viaje a las estrellas* y *Avatar*. Sus personajes predilectos son Galileo Galilei e Isaac Newton.





# Radiofármacos y diagnóstico TEMPRANO de cáncer



Clara Leticia Santos Cuevas

El cáncer de mama es cada vez más frecuente en mujeres mexicanas. Los esfuerzos de la medicina nuclear se centran en hacer diagnósticos para detectar enfermedades y cáncer en sus primeras etapas. Los radiofármacos que se desarrollan en el ININ contribuyen al diagnóstico temprano del cáncer de mama.

Existen procesos que mantienen al cuerpo sano, como el crecimiento y división celular. Así, cuando las células envejecen se dan fases naturales de muerte celular y nuevas células las reemplazan.

El **cáncer** empieza en las células cuando se reproducen descontroladamente sin que el cuerpo las necesite y las células viejas no mueren, formando masas de tejido conocidas como **tumores**.

La especialidad médica que estudia y da tratamiento a los tumores se conoce como **oncología**.

 El cáncer de mama es cada vez más frecuente en mujeres mexicanas. Desde el año 2006 es causante de un número mayor de muertes que el cáncer cervicouterino.

Los esfuerzos de la oncología moderna para hacerle frente se centran en hacer diagnósticos o detección del cáncer en las primeras etapas, cuando la enfermedad aún está limitada.

Los métodos de detección de cáncer de mama que existen son: la mastografía y ecografía, que son procedimientos para producir imágenes de algún órgano de interés.

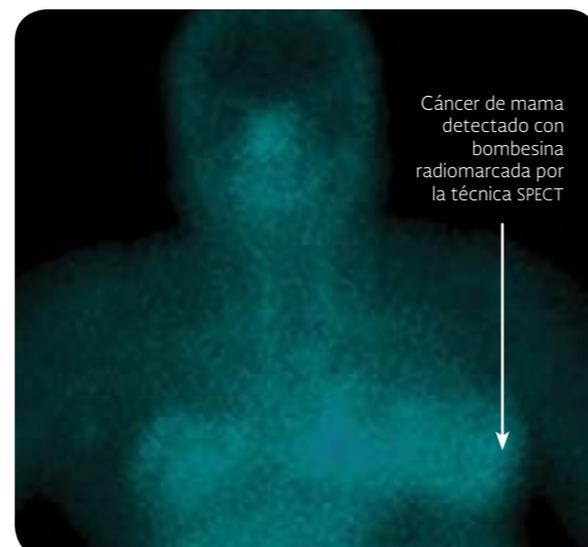
Si en los estudios de imagen se detecta alguna lesión es necesario hacer una biopsia, que es un procedimiento para extraer líquido o tejido del seno para analizarlo en un microscopio y que el médico tenga un diagnóstico histológico de confirmación de cáncer.

Un radiofármaco es toda sustancia que dentro de su estructura contiene un átomo radiactivo o radionúclido y que puede ser administrado en seres humanos con fines diagnósticos o terapéuticos.

Otro método de diagnóstico de cáncer de mama por imagen es la **tomografía** por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés) y la tomografía por emisión de fotón único (SPECT, por sus siglas en inglés), donde a la paciente se le administra un radiofármaco que emite positrones o fotones que se detectan en equipos especializados y adquieren múltiples imágenes funcionales de la radiactividad en un órgano del cuerpo de la paciente.

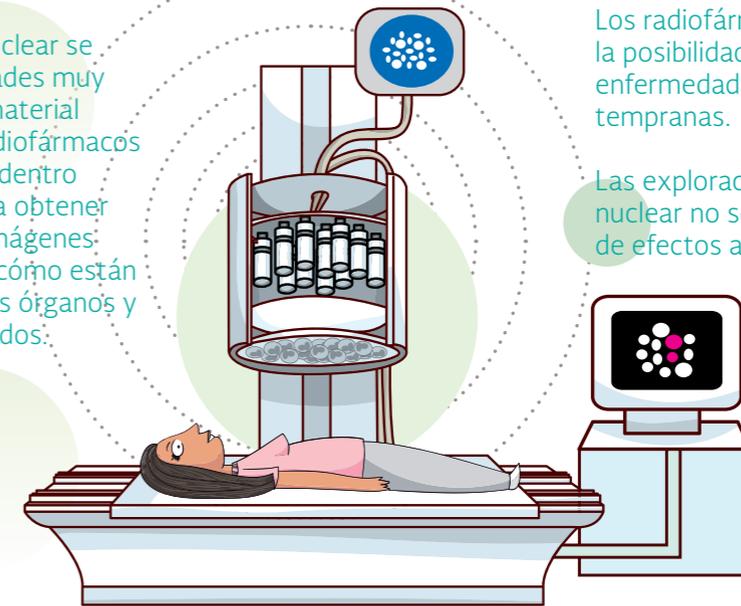
Un radiofármaco es toda sustancia que dentro de su estructura contiene un átomo radiactivo o radionúclido, y que puede ser administrado en seres humanos con fines diagnósticos o terapéuticos, por su forma farmacéutica, y su cantidad y calidad de radiación.

Los **radiofármacos** que se desarrollan en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para diagnóstico de cáncer de mama con-



Cáncer de mama detectado con bombesina radiomarcada por la técnica SPECT

En medicina nuclear se utilizan cantidades muy pequeñas de material radiactivo o radiofármacos que se aplican dentro del cuerpo para obtener digitalmente imágenes que muestran cómo están funcionando los órganos y tejidos explorados.



Los radiofármacos ofrecen la posibilidad de identificar enfermedades en sus etapas tempranas.

Las exploraciones de medicina nuclear no son invasivas y carecen de efectos adversos.

tienen moléculas que reconocen de manera específica a otras moléculas llamadas receptores y se encuentran sobrepresados en la membrana de las células de cáncer.

Las células de cáncer de mama sobrepresan, entre otros, al receptor del péptido liberador de la gastrina o GRP-r y a las integrinas, ambos receptores están involucrados en el desarrollo del tumor.

El péptido bombesina es una molécula que se une de manera específica al GRP-r y la secuencia de aminoácidos conocida como RGD es otra molécula que reconoce a las integrinas, por lo tanto, si utilizamos un radionúclido emisor de fotones o de positrones y lo conjugamos a estos péptidos podemos obtener imágenes diagnósticas por PET o SPECT de los posibles tumores de cáncer de mama, en una paciente de manera específica, ya que la radiactividad se acumulará en los sitios donde existan los receptores sobrepresados para tener imágenes de pacientes con cáncer de mama.



Clara Leticia Santos Cuevas

Es egresada de la carrera de Ingeniería Biomédica por el Instituto Politécnico Nacional (IPN). Realizó la Maestría y el Doctorado en Ciencias con especialidad en Física Médica en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Fue reconocida como la mejor estudiante de su generación en la licenciatura y recibió dos veces la medalla "Ignacio Manuel Altamirano" por haber obtenido el mejor promedio tanto en la Maestría como en el Doctorado. Junto con su equipo de trabajo obtuvo el premio de la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (Canifarma) y ha representado al ININ en muchos países del mundo.

Cuando era adolescente "Lamento boliviano" de Enanitos Verdes era su canción favorita y ahora es "El baile y el salón" de Café Tacuba. Su personaje favorito es Marie Curie. Actualmente, colabora en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Radiofármacos del ININ.

# Reactor TRIGA MARK III y ejemplo de su producción



**Jaime Hernández Galeana**

En México contamos con un reactor nuclear de investigación en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), y entre los diversos proyectos que se realizan en sus instalaciones se encuentra la producción de radioisótopos, como el Samario 153m.

El reactor nuclear de investigación TRIGA MARK III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) es una fuente intensa de radiación neutrónica.

Tal como lo indica su acrónimo (sobre todo, sus tres primeras letras) se pueden llevar a cabo las siguientes aplicaciones:

**T = Training**  
Capacitación

**R = Research**  
Investigación

**I = Isotope**  
Producción de radioisótopos

**GA = General Atomics**  
Nombre del fabricante



**T** raining o **capacitación** en aspectos relacionados con las **ciencias nucleares** y la **protección radiológica**.

Esta capacitación se proporciona al propio personal del ININ como de centros universitarios, entre ellos, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), o de instituciones del sector energético como la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) o la Central Nuclear Laguna Verde de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

**R** esearch o **investigación** para áreas tales como: radioquímica, ciencia de materiales, biología, física nuclear, física de reactores, dosimetría, radiografía con neutrones, producción de radioisótopos y análisis por activación neutrónica.

**I** sotope o **producción de radioisótopos** de vida media corta para su utilización en **medicina nuclear** (diagnóstico y terapia), y diversas aplicaciones en la **industria**.

El núcleo del reactor opera en el fondo de la piscina. De tal forma que el agua de la piscina y la estructura de soporte de la misma proporcionan la protección adecuada para los trabajadores e investigadores que laboran en las instalaciones del reactor.

El reactor puede ser operado en cualquier posición a lo largo de la piscina. Las instalaciones experimentales internas están en el núcleo o en la periferia del mismo. La colocación y retiro de las muestras, así como la observación del núcleo son posibles en todo momento gracias a la **claridad óptica** que brinda el agua y el **blindaje** que al mismo tiempo proporciona.



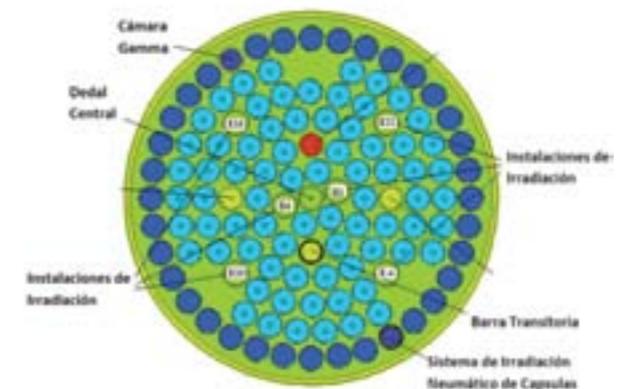
El **Samario 153m** se procesa para dos aplicaciones de la medicina nuclear:

- El Samario 153m-MH es utilizado en el tratamiento de la artritis reumatoide, evitando que el paciente sea intervenido quirúrgicamente.
- El Samario 153m-EDTMP sirve como paliativo del dolor manifestado en enfermos terminales de cáncer óseo, tiene un efecto en el paciente de hasta seis meses y no se tiene documentado que presente efectos secundarios.

Este valioso radioisótopo es distribuido en el sector Salud, tanto en hospitales públicos como particulares que cuentan con Departamentos de Medicina Nuclear y la consecuente autorización para el manejo y aprovechamiento de materiales radiactivos.

Entre los diversos proyectos que se realizan en las instalaciones del Reactor TRIGA MARK III se encuentra la producción de radioisótopos, entre ellos, el Samario 153m.

La producción de este radiofármaco es llevada a cabo mediante la inserción de la muestra de  $^{152}\text{Sm}_2\text{O}_3$ , contenida en una ampollita de cuarzo, en el **dedal central** que se encuentra en el centro del núcleo, lugar que presenta mayor flujo neutrónico. La muestra se coloca y retira en el dedal central desde la superficie de la piscina, haciendo uso del puente del reactor, que es la estructura diseñada para tal fin.



**Jaime Hernández Galeana**

Estudió la carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Veracruz.

Es encargado de Seguridad Radiológica del Reactor TRIGA MARK III y actualmente estudia la Maestría en Ciencias Físico Matemáticas con especialidad en Ingeniería Nuclear en el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Su película favorita en la adolescencia era *La lista de Schindler* y la de ahora es *Avengers*. Siempre le ha gustado jugar fútbol.

Su personaje favorito es Marco Aurelio.

# Reparar el ESQUELETO



Daniel Luna Zaragoza

El cuerpo humano contiene 206 huesos. Y algunas veces cuando sufrimos un accidente nos vemos en la necesidad de reparar alguna parte de nuestro esqueleto que haya resultado lesionada. En casos como esos, los bancos de tejidos radioesterilizados son de mucha utilidad.

Se pueden obtener huesos radioesterilizados completos, como fémures, tibias o húmeros.



El cuerpo humano está compuesto por células, tejidos y órganos. Uno de los tejidos que da estructura al cuerpo humano son los huesos.

Los huesos están compuestos por células y por un material llamado extracelular alrededor de las células. Este material extracelular está compuesto por dos fases. Una fase mineral (fosfato de calcio), que le proporciona la dureza al hueso, llamado hidroxiapatita —con una estructura química  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ —. Una fase orgánica, compuesta principalmente de colágeno (la proteína más abundante del cuerpo humano), que está unido a proteoglicanos y glicoproteínas. En menor proporción existen otras proteínas como factores de crecimiento, fibronectina, osteocalcina y osteonectina.

Una vez que una persona ha fallecido puede ser **donador de tejidos músculo esqueléticos**, previo cumplimiento de requisitos y después de realizarle pruebas de ausencia de algunos virus como el SIDA y Hepatitis.

Este tipo de tejidos se pueden procesar y transformar en tejidos útiles en **bancos de tejidos** especializados, como el Banco de Tejidos Radioesterilizados (BTR) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Una de las características más difíciles de conseguir en este tipo de tejidos es su esterilidad, por ello en el ININ se utiliza la **esterilización con radiación gamma**, la cual se obtiene de la desintegración nuclear de algunos átomos como el Cobalto-60.

Al interaccionar la radiación gamma con los diversos materiales, eliminan cualquier tipo de microorganismo que pudiera estar presente en el material, produciendo esterilidad y esto se realiza sin alterar la estructura básica de los tejidos, ambas características son convenientes cuando se va a realizar algún **implante de hueso** procesado dentro del cuerpo humano.

Debido a que el cuerpo humano contiene 206 huesos, cada uno se puede tomar de algún donador fallecido que haya aceptado la donación de hueso. Generalmente, se toman los fémures, tibias, peronés (los huesos más largos de las piernas), húmeros, radios, cúbitos (los huesos más largos de los brazos) y crestas ilíacas (huesos de la cadera).

En su presentación final se pueden obtener desde huesos radioesterilizados completos, como fémures, tibias, húmeros, mitades de algún



Los huesos largos también se pueden fraccionar y de allí se obtienen anillos, cuñas y hojuelas de hueso esponjoso radioesterilizado, que son utilizados en la corrección de la columna vertebral cuando algunas personas sufren accidentes en motocicleta o en caídas de azoteas.

hueso largo o tiras de hueso. Estos tejidos pueden ayudar a **salvar vidas**, sustituyendo algún hueso destrozado de un paciente que sufrió un accidente automovilístico, por ejemplo.

Los huesos largos también se pueden fraccionar y de allí se obtienen **anillos, cuñas y hojuelas** de hueso esponjoso radioesterilizado, que son utilizados en la corrección de la columna vertebral cuando algunas personas sufren accidentes en motocicleta o en caídas de azoteas.

Las hojuelas se pueden transformar en polvo y utilizarse como relleno donde hace falta hueso. Por ejemplo, cuando es extraído un tumor benigno de algún hueso, queda un hueco y éste puede rellenarse con hojuelas o **polvo de hueso** radioesterilizado.

Con los **avances tecnológicos en bancos de tejidos**, también se pueden preparar derivados de huesos como “hueso desproteinizado radioesterilizado”, esto se logra retirando la fase orgánica del hueso y su esterilización con radiación gamma.

Otro derivado es el “hueso desmineralizado radioesterilizado”, obtenido con tratamientos físico-químicos. Se retira la fase inorgánica del hueso y se esteriliza con radiación gamma, ambos derivados tienen aplicaciones clínicas principalmente en odontología.

En los bancos de tejidos se procesan **más de 100 presentaciones de hueso o sus derivados** y las aplicaciones clínicas de este tejido en accidentes o enfermedades son diversas, por lo que el banco de tejidos del ININ ha contribuido en la donación de tejidos músculo esquelético radioesterilizados a hospitales de bajos recursos, para que cientos de personas logren superar etapas críticas y puedan reintegrarse a sus actividades cotidianas después del padecimiento de un accidente.

Las hojuelas se pueden transformar en polvo y utilizarse como relleno donde hace falta hueso. Por ejemplo, cuando es extraído un tumor benigno de algún hueso.



Daniel Luna Zaragoza

Estudió Química en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Obtuvo el grado de doctor en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT). Dos de sus máximos logros son haber obtenido hueso desmineralizado y ser padre. Cuando estudiaba la preparatoria, el Cálculo era de las materias que más se le dificultaba. En ese tiempo practicaba atletismo decatión y ahora practica squash. Actualmente, colabora en el Banco de Tejidos Radioesterilizados (BTR) del ININ. Albert Einstein es su personaje favorito.



# Las PLANTAS mutantes



Josefina González Jiménez

México es uno de los primeros países en desarrollar y obtener buenos resultados en materia de mejoramiento de cultivos. La energía nuclear, a través de la radiación gamma, modifica el ADN de las plantas y les ayuda a mutar para ser mejores y más resistentes.

En tus clases de física o química seguramente has escuchado hablar de la energía nuclear. Como sabes ésta tuvo muy mala fama en el siglo pasado debido a su uso en la fabricación de bombas atómicas. Sin embargo, gracias al interés de muchos diplomáticos, como Alfonso García Robles, y científicos, como el doctor Nabor Carrillo Flores, se firmaron tratados internacionales y se conformaron institutos para poder fomentar el uso pacífico de la energía nuclear en beneficio del ser humano, la sociedad y el planeta.

Actualmente, las tecnologías nucleares permiten no sólo obtener electricidad de una manera más limpia sino aplicar radioisótopos y la radiación en diversas áreas como la medicina, la agricultura, la industria y la investigación, para mejorar la calidad de nuestra vida.

En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), junto con otras instituciones nacionales e internacionales, realiza la aplicación y la investigación de la energía nuclear en beneficio de la sociedad mexicana.

En el laboratorio de Biología Vegetal del ININ usamos la radiación gamma para aplicarla sobre algunas especies vegetales, buscando provocar en ellas modificaciones genéticas o fisiológicas y con ello ayudarles a que sean mejores, más resistentes y que puedan adaptarse a las nuevas condiciones de su entorno.

*Las tecnologías nucleares permiten no sólo obtener electricidad de una manera más limpia sino aplicar radioisótopos y la radiación en diversas áreas como la medicina, la agricultura, la industria y la investigación, para mejorar la calidad de nuestra vida.*



Déjame explicarte: la radiación gamma traspasa a la semilla o a la planta, en su paso se encuentra con los elementos que las componen, como agua, órganos, tejidos, células, proteínas, enzimas etc. Entonces, la radiación puede chocar con dichos elementos y con los enlaces químicos que las mantienen juntas, y a veces dependiendo de la dosis o la sensibilidad del material puede alterar su estructura o cambiar el orden de sus componentes. Cuando la radiación afecta al ADN o material genético y si éste no se repara es cuando podemos provocar una modificación en la información genética.

Pues bien, la energía nuclear puede hacer que ciertas características "ocultas a nuestra vista" en la información genética de las plantas puedan expresarse y la descendencia de la planta irradiada desarrolle habilidades o defensas para enfrentar diversas condiciones ambientales, como las sequías, las plagas o las enfermedades. Además hace que sea más fuerte, más grande, más veloz en su crecimiento o simplemente tener mejor sabor o color. Al inducir cambios permanentes en el material genético es cuando producimos organismos mutantes.



*México es uno de los primeros países en desarrollar y obtener buenos resultados en materia de mejoramiento de cultivos.*

Las mutaciones ocurren de manera normal en la naturaleza y lo hacen cada cientos o miles de años, pues bien, nosotros sólo aceleramos su aparición.

Tal vez te preguntes si esto es bueno para la planta. Pues si nos ponemos a pensar que debido a distintos factores, ya sea de origen antropogénico (contaminación, deforestación, cambio de uso del suelo, entre otros) o natural (sequías, incendios, erosión), el lugar donde las plantas crecen ha cambiado en las últimas décadas y esto les genera una desventaja para sobrevivir. Entonces, si les proporcionamos más y mejores capacidades, incrementarán sus posibilidades de sobrevivir.

Al ser el ADN la molécula biológica más importante, ésta tiene mecanismos de defensa o reparación que ayudan a impedir cambios en ella, así que para obtener una planta mejorada

con radiación se ha necesitado de muchos estudios y la incorporación a los protocolos de trabajo de herramientas o técnicas modernas que permitan obtener, en menor tiempo y costo, los resultados deseados. Todos los estudios e investigaciones, requieren tiempo y su debida comprobación.

En el laboratorio usamos el cultivo de tejidos, que es un cultivo artificial que se realiza en condiciones de asepsia y bajo el microscopio, usando un tipo de gelatina como "suelo" y un tejido, órgano o célula de la planta como explante (una parte de la planta que es sembrada en un medio nutritivo y que puede formar una planta completa).

Las "siembras" se colocan en un cuarto de crecimiento con luz y temperatura controladas y por ello no depende del clima para el desarrollo



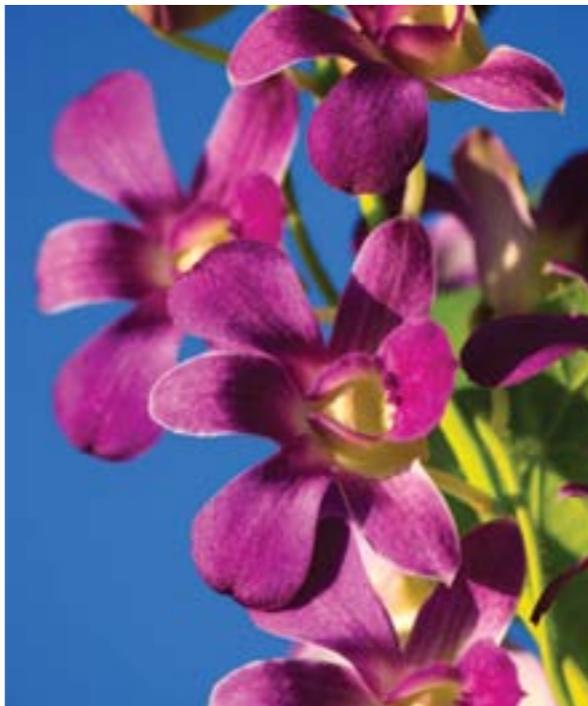


de las plantas. Además, al poder usar un pedacito de planta se obtienen miles de plantas similares a la planta donadora en poco tiempo. Existen muchos tipos de cultivo de tejido y nosotros hemos desarrollado diversos métodos de micropropagación.

En mejoramiento con radiación hemos trabajado con diversas plantas ornamentales, mejor conocidas como flores: orquídeas, claveles, ave del paraíso, margaritas y dalias, a las cuales se les ha podido inducir mayor duración, diferente color, mayor vigor o resistencia a cierta plaga. El mercado florícola nacional aporta grandes ingresos por la producción de flores cada año, así que el contar con **especies mexicanas mejoradas** es muy importante para dejar de depender de países como Holanda, líder en floricultura y cuyos ingresos por exportación de flores han llegado a ser mayores que los obtenidos por México por su venta de petróleo.

México es uno de los primeros países en desarrollar y obtener buenos resultados en materia de mejoramiento de cultivos. Estamos afinando los estudios no sólo para compartirlos y difundir el uso de las radiaciones, sino para promover un **uso sustentable** de nuestros bosques y minimizar los efectos negativos que trae el cambio climático mundial.

*En el laboratorio de Biología Vegetal del ININ usamos la radiación gamma para aplicarla sobre algunas especies vegetales, buscando con ello ayudarles a que sean mejores, más resistentes y que puedan adaptarse a las nuevas condiciones de su entorno.*



### Josefina González Jiménez

Estudió la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha trabajado en distintos proyectos para mejorar y preservar especies vegetales. Es muy feliz con la familia que ha formado y con los amigos que ha cultivado. Su canción favorita de la adolescencia era “La célula que explota” y ahora es “Nos vamos juntos”, ambas del grupo Caifanes. Cuando era adolescente le tenía miedo a la oscuridad y por eso aprendió a silbar. Siempre ha realizado actividades deportivas y actualmente practica atletismo y pilates. Colabora en el Laboratorio de Biología Vegetal del Departamento de Biología del ININ. Sus personajes favoritos son Aristóteles, Charles Darwin y Ulises de *La Odisea*.

# Estimular la EVOLUCIÓN



### Eulogio de la Cruz Torres

*Darwin estableció que una premisa básica de la evolución es la existencia de variación, de manera que se pueda dar el fenómeno de selección natural que conlleva a la sobrevivencia del más apto. Y nosotros, a través de la ciencia nuclear, podemos echarle “una manita” a las plantas para convertirlas en las más aptas.*

La sobrevivencia del más apto, postulado fundamental de la **teoría de la evolución** de las especies, cobra más relevancia ante los desafíos del cambio climático.

Sequías más prolongadas, heladas más crudas, lluvias torrenciales, desertificación y salinización, entre otros, son fenómenos producto del **calentamiento global**.

Como consecuencia de estos fenómenos se ha documentado que algunas especies de aves migratorias han establecido su hábitat más al norte, buscando condiciones propicias para su desarrollo y reproducción.

Para las plantas, el panorama es más sombrío, ya que no pueden moverse, pero si pudieran, sin duda, lo harían.

Corresponde entonces al ser humano, la búsqueda de alternativas para amainar los efectos del calentamiento global, pudiendo citar, entre ellas, la reducción de gases de efecto invernadero, la práctica de una agricultura sustentable, para reducir la erosión, salinización, desertificación y, no menos importante, la búsqueda de nuevas variedades de plantas.

El célebre naturalista Charles Darwin estableció que una premisa básica para que exista la evolución debe ser la existencia de **variación**, de manera que se pueda dar el fenómeno de selección natural que conlleva a la sobrevivencia del más apto.



Existen dos fenómenos básicos que generan variación en los seres vivos: la recombinación y la mutación.

La **recombinación** se produce por la mezcla de fragmentos de ADN, dando lugar a genes diferentes a los de los padres, y es la razón por la cual cuando consumimos un fruto delicioso y sembramos la semilla, la planta resultante no necesariamente nos produce frutos iguales a aquél que consumimos. Esto se debe a que los genes expresados en la nueva planta y fruto no son los mismos del delicioso fruto que quisimos perpetuar sembrando su semilla.

La **mutación** es un cambio repentino y heredable que se produce en los seres vivos. Para que sea heredable el cambio debe afectar a la sustancia que se transfiere de padres a hijos y que es el hilo que enlaza a las diferentes generaciones: el ADN.

Las mutaciones pueden ser espontáneas o inducidas.

Las mutaciones espontáneas surgen repentinamente en la naturaleza. Un agricultor en California, por ejemplo, encontró en su huerta de naranja una rama que producía naranjas sin semilla. La propagó mediante injerto y creó la variedad Washington Navel.

En México, el destacado agrónomo Salvador Sánchez Colín, entre una población de árboles de aguacate variedad “Fuerte”, encontró una rama que crecía horizontalmente con entrenudos cortos, y que producía frutos de tamaño y

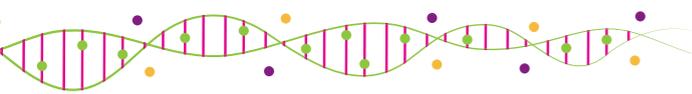




calidad excepcionales. Tomó yemas de esa rama y la propagó, y así surgió la variedad de aguacate Colón V-33.

De esta manera, surgen las mutaciones espontáneas, cambio repentino y heredable, pero ocurren con muy baja frecuencia. Quizás una en 10 millones de individuos.

De manera que ante lo apremiante de los problemas que afrontamos —como la escasez de alimentos, la desnutrición, el deterioro de los recursos naturales y calentamiento global—, la naturaleza necesita “una manita” para **acelerar la creación de variación**.



Esa aceleración se puede brindar nada más y nada menos que mediante la inducción de mutaciones, es decir, la **aplicación de radiación** a las semillas, yemas, varetas, bulbos, hojas, estacas y cultivos *in vitro*.

La radiación tiene la particularidad de afectar al material genético de los organismos vivos y suministrada en las dosis adecuadas puede contribuir significativamente a brindarle “cartas” a las plantas para el “juego” de la vida conocido como evolución. Así, del millón de plantas que se requieren para generar una mutación favorable, si se aplica radiación quizá sean necesarias sólo 10 mil o 100 mil plantas.



A nivel mundial la radiación que más se ocupa para el mejoramiento de plantas es la **radiación gamma**, por su alto poder de penetración. Mediante este tipo de radiación se han obtenido cerca de 2 mil 500 nuevas variedades, entre las que destacan, nuevas variedades de arroz, trigo, cebada, soya, etc. Baste decir que más de la mitad del arroz que se cultiva en China se ha obtenido mediante variedades generadas por mutaciones inducidas.

En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ha contribuido significativamente a la obtención de nuevas variedades.

Por ejemplo, en colaboración con el Colegio de Posgraduados se generaron las variedades de **trigo** Centauro y Bajío Plus, con un rendimiento 20% más que la variedad original.

Con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias se colaboró para la creación de las variedades de **soya** “Héctor” y “Esperanza”, tolerantes al ataque de la mosquita blanca, plaga muy importante en el norte del país.

También en colaboración con el Colegio Superior Agropecuario del estado de Guerrero, se contribuyó a la obtención de la variedad de soya SALCER, altamente rendidora y con potencial forrajero.

Además, en estudios generados en el ININ se ha contribuido a la caracterización y mejoramiento de **pseudocereales**, habiéndose registrado a las variedades “Opohuira” (**Chía roja**) y “Huirapeo” (**Chía negra**), teniéndose importantes avances en estudios relacionados con el mejoramiento genético del **amaranto**.

*Existen dos fenómenos básicos que generan variación en los seres vivos: la recombinación y la mutación.*

*La radiación tiene la particularidad de afectar al material genético de los organismos vivos y suministrada en las dosis adecuadas puede contribuir significativamente a brindarle “cartas” a las plantas para el “juego” de la vida conocido como evolución.*

De esta manera, mediante la investigación en agricultura, el ININ hace su contribución al logro de tres de las siete metas del milenio, a saber:

1. Contribuye a reducir la pobreza extrema y el hambre, mediante la aportación de cultivos altamente nutritivos y redituables.
2. Contribuye a garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, a través de cultivos mejorados de alta productividad con reducidos requerimientos de insumos.
3. Reconoce la igualdad de género y la autonomía de la mujer, dado que en el medio rural la mujer es quien realiza importantes actividades de selección, conservación y cultivo de especies subutilizadas, tales como el amaranto y huauzontle.



### Eulogio de la Cruz Torres

Es ingeniero en Agronomía con especialidad en Industrias Agrícolas por la Universidad Autónoma Chapingo, maestro en Fitomejoramiento y doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Fue el mejor alumno de primaria en la zona escolar (Lerma) y obtuvo la presea “Ignacio Manuel Altamirano” por el promedio más alto en sus estudios de Maestría.

Domina el inglés de forma autodidacta y obtuvo el *Teacher Certificate* por la Universidad de Cambridge. Su gusto por ese idioma surgió por la canción “Because” de The Dave Clark Five, que aún es su favorita.

Cuando era adolescente se le dificultaba la física, practicaba tae kwon do y atletismo, ahora practica el basquetbol y está aprendiendo a tocar guitarra clásica. Sus personajes favoritos son Abraham Lincoln, Napoleón, Albert Einstein, Norman Borlaugh (agronomo, Premio Nobel de la Paz en 1970) y Kalimán. Actualmente, colabora en el Laboratorio de Pseudocereales del Departamento de Biología del ININ.



# Mejor AMBIENTE + salud



Elizabeth Vega y Eva Melgar

Conocer la calidad del aire es fundamental para protegernos de la contaminación. Pero sobre todo es importante saber que al cuidar nuestro ambiente cuidamos también nuestra salud. Al optimizar el uso de la energía reducimos la emisión de contaminantes y procuramos una mejora en la calidad de vida.

La contaminación se ha originado desde la aparición del hombre como resultado del desarrollo de sus actividades, a través de la conversión o producción de sustancias que la naturaleza no puede transformar por sí misma para mantener su equilibrio.

A la presencia en el ambiente de productos que no forman parte de la composición natural del aire y que pueden ser nocivas para la salud de la población y de los ecosistemas se le denomina **contaminación ambiental**.

Una de las causas principales de la contaminación es la forma en la que producimos la energía a través de la quema de **combustibles fósiles**, ya que las impurezas del combustible, la incorrecta relación de combustible-aire y las temperaturas de combustión propician la formación de contaminantes, como compuestos de carbono ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), de azufre ( $\text{SO}_x$ ) y partículas, entre otros.

Con nuestras actividades cotidianas también contribuimos a la contaminación al utilizar los diferentes medios de transporte, por la gran demanda de energía de productos y servicios, como los desechos de la casa, por ejemplo, o el agua que utilizamos diariamente.

Cabe comentar que de manera natural, los óxidos de carbono, nitrógeno y azufre son constituyentes importantes de la atmósfera, pero en altas concentraciones se pueden convertir en contaminantes.

El **bióxido de carbono** ( $\text{CO}_2$ ) es el más abundante de todos ellos y recuerda que es utilizado por las plantas para sus funciones vitales.

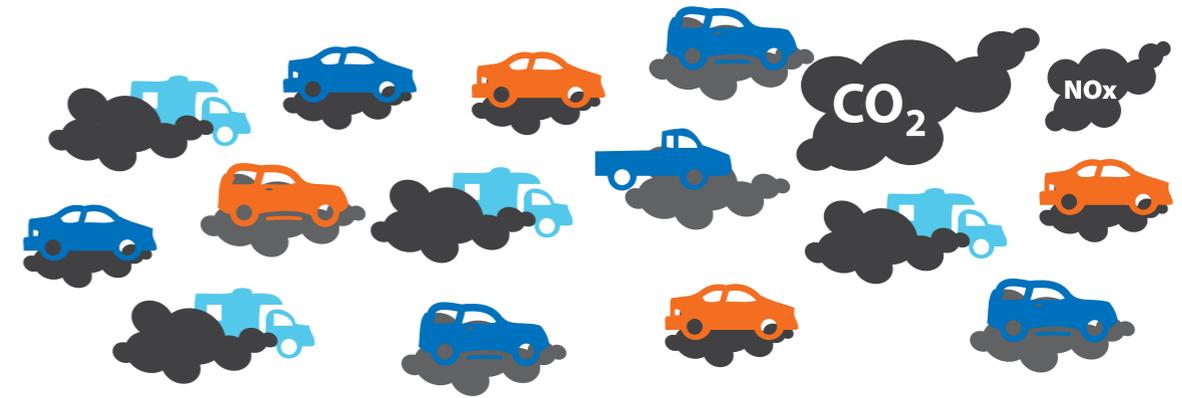


Desafortunadamente la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera se ha incrementado significativamente, provocando el **efecto invernadero** que tiene implicaciones como el deshielo de los polos, entre otros efectos.

Los óxidos de nitrógeno y de azufre son producto de la combustión de combustibles fósiles y contribuyen a la **lluvia ácida** que afecta nuestras zonas agrícolas, principalmente.

Las partículas son constituyentes naturales de la atmósfera, como la sal proveniente de la evaporación del mar, así como la erosión de suelos desprovistos de cubierta vegetal, causada por la deforestación, aunque también son el resultado de la quema de combustibles para la producción de calor y energía, procesos industriales, la incineración de desechos, y de incendios agrícolas y forestales.

Las **partículas** se han clasificado de acuerdo con su tamaño en finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ), que provienen principalmente de procesos de combustión, y gruesas ( $\text{PM}_{10}$ ) resultado de procesos de trituración.



Cabe destacar que las partículas causan uno de los más graves problemas de **contaminación del aire**, especialmente en zonas urbanas, como la Ciudad de México, en donde se registran concentraciones altas, sobre todo, durante los meses de invierno.

¿Cómo saber que existe un problema de contaminación del aire? Una respuesta sencilla es cuando sentimos irritación de ojos o dolor de garganta después de pasar un rato al aire libre, es decir, cuando se producen **perjuicios en la salud**.

Por ello, la **medición de los contaminantes** resulta de gran interés, ya que se han encontrado asociaciones con efectos adversos a la salud de la población.

Por ejemplo, en diciembre de 1952 en Londres se registraron niveles elevados de  $\text{SO}_2$  y de humo, lo cual afectó principalmente a aquellas personas con enfermedades cardíacas y pulmonares preexistentes.

Por lo anterior, resulta de gran importancia crear la conciencia de cuidar nuestro ambiente al optimizar el uso de la energía y reducir los desechos, entre otras cosas.

Adicionalmente, las autoridades ambientales de nuestro país han diseñado **redes de monitoreo** que nos permiten conocer diariamente la concentración de los contaminantes en el aire con el propósito de **proteger la salud de la población**.

Además, algunas instituciones de investigación, como el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), realizan proyectos para **conocer la calidad del aire**, el origen de las partículas, mediante la determinación de la composición química de las mismas, utilizando para ello técnicas nucleares.

Por otra parte, se han diseñado columnas para la captura de  $\text{CO}_2$  y desarrollado técnicas para disminuir la toxicidad de los jales mineros, además de contar con reactores de plasma que destruyen o transforman contaminantes gaseosos.



Elizabeth Vega Rangel

Es egresada de la carrera de Química por la Universidad Autónoma de México (UNAM). Realizó la Maestría en Protección Radiológica y Ambiental, y el Doctorado en Química, ambos en la Universidad de Surrey, Reino Unido.

Entre sus logros profesionales destacan el establecer un laboratorio y el desarrollo de metodologías para el análisis químico, así como su experiencia en la docencia.

En la preparatoria se le complicaban algunas sesiones del taller de Dibujo y la materia de Química orgánica. En la facultad jugaba fútbol soccer y junto con su equipo llegó a ser campeona de su generación.

Actualmente, es la titular de la Gerencia de Ciencias Ambientales del ININ.

Gandhi, Albert Einstein y Emiliano Zapata son algunos de sus personajes favoritos.

# En busca de FUENTES energéticas



**Miguel Balcázar García**

*Hay elementos radiactivos que siempre han estado presentes en la naturaleza. Incluso, en nosotros mismos. Gracias a la identificación de uno de esos elementos naturales que sale junto con el vapor de las entrañas de la Tierra cerca de los volcanes se genera energía eléctrica.*

Se conoce como radiactividad natural al conjunto de elementos radiactivos que siempre han estado presentes en la naturaleza desde que nuestro planeta se formó. Mencionemos, por ejemplo, a tres de ellos: Carbono 14, el Uranio y el **Radón**.

Nuestro cuerpo contiene un elemento radiactivo llamado Carbono 14, que forma parte de nosotros desde que nacemos hasta que morimos. Este Carbono 14 se origina cuando partículas cósmicas chocan con el nitrógeno de la atmósfera superior y se incorpora constantemente a nuestro cuerpo.

La cantidad de Carbono 14 radiactivo en nuestro organismo no aumenta indefinidamente, ya que parte del Carbono 14 se transforma nuevamente en nitrógeno, emitiendo electrones.

Los electrones (partículas beta) dañan las células de nuestro cuerpo, de tal forma que cada cinco años no hay una sola célula de nuestro cuerpo que no haya sido dañada por estos electrones; sin embargo, las células tienen mecanismos que reparan estos daños. ¡Claro!, no morimos cada cinco años.

Otro de los elementos radiactivos fascinantes es el Uranio, que se formó antes de que existiera nuestro sistema solar, por explosiones de estrellas supernova y se incorporó en nuestro planeta al formarse nuestro sistema solar.



Así que el Uranio radiactivo es un mineral que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre. En cada tonelada de tierra podemos encontrar cuatro gramos de Uranio.

El Uranio radiactivo se transforma en otros elementos radiactivos formando una cadena de ellos, hasta que finalmente cesa de transformarse al llegar a plomo no radiactivo. En la cadena de elementos radiactivos del Uranio se encuentra un gas radiactivo llamado **Radón**, un gas que migra desde la corteza terrestre a la superficie y es muy fácil detectarlo con equipo electrónico.

Estos dos últimos elementos radiactivos naturales los empleamos en el Centro Nuclear "Dr. Nabor Carrillo Flores", sede del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), para la búsqueda de recursos valiosos, como fuentes de energía geotérmica, petróleo y minerales. Veamos un ejemplo de ello.

## Energía geotérmica

Los **volcanes** a lo largo de su existencia han ido creando algunos **depósitos de agua** que son calentados por la misma actividad volcánica. Estos grandes depósitos de agua caliente se han ido almacenado a unos dos kilómetros (km) de profundidad desde hace varios miles de años.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) en **México produce energía eléctrica utilizando el vapor** que extrae mediante pozos perforados a esas profundidades. México ocupa el cuarto lugar de producción mundial de energía por geotermia.

Los depósitos de agua caliente fracturan el terreno, permitiendo que los gases que se generan en los depósitos de agua caliente (en lo sucesivo las llamaremos fuentes geotérmicas) migren o salgan con mayor facilidad hacia la superficie terrestre.



Así, para ayudar a localizar las fuentes geotérmicas detectamos el **Radón** radiactivo que en forma natural sale con todos los gases a la superficie. La detección se hace en alrededor de 200 puntos, en superficies del orden de 10 a 12 km<sup>2</sup>.

Hemos realizado estudios para identificar nuevas **fuentes geotérmicas** en tres de los campos geotérmicos en los que CFE ya **produce energía eléctrica**. Los tres sitios son fascinantes por su diversidad de flora y fauna.

Uno de ellos está en **Baja California**, alrededor de los volcanes de **Tres Virgenes**, generadores de la fuente de calor, donde en las alturas de los volcanes habita el borrego cimarrón, dentro del desierto del Vizcaíno, declarado como reserva de la biósfera.

En las planicies al noroeste de los edificios volcánicos localizamos las áreas probables de producción de energía que complementarán a la existente de 10 megavatios (MW) de capacidad instalada, al sureste de los volcanes. Las temperaturas en este desierto oscilaban entre los 40°C

y los 45°C, estando cercanos al límite de operación de los dos equipos electrónicos que nos permitieron realizar las mediciones de **Radón** en 200 puntos durante tres semanas. Los puntos estuvieron espaciados del orden de 400 a 500 metros de distancia, desplazándonos a pie entre punto y punto, por un terreno abrupto entre una diversidad de arbustos endémicos y cactáceos.

Los otros dos campos (dentro de ecosistemas de bosque templado) están en el estado de **Puebla** y son: Los **Humeros** y **Acoaculco**.

La experiencia obtenida en México nos ha permitido dar asesoría a dos países en Latinoamérica: En **El Salvador** colaboramos con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE) aportando mayores conocimientos sobre las fuentes de calor en el campo productor de energía eléctrica por geotermia en Aguachapán, y en **Colombia** fungimos como expertos para la instalación de la metodología de medición de **Radón** en campos geotérmicos, mediante un apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).



**Miguel Balcázar García**

Es egresado de Física y Matemáticas de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Realizó el Doctorado en la Universidad de Birmingham, Inglaterra, en el área de Física Nuclear.

Ha asesorado innumerables tesis y alienta a los estudiantes a realizar sus sueños.

En la adolescencia, el basquetbol era su pasión por la que abandonaba todo, incluso las aulas, pero le dio múltiples satisfacciones deportivas y el ingrediente fundamental en la formación de su carácter. Ahora practica squash, frontenis y bicicleta.

Cuando estudiaba la vocacional reprobó Matemáticas, pero eso lo alentó a obtener el primer lugar de toda la escuela al siguiente año. Actualmente, colabora en la Gerencia de Ciencias Ambientales del ININ.

Su personaje favorito es Alejandro Magno, porque le abrió el apetito de comerse al mundo.



# RENOVARSE para seguir trabajando



Ángeles del Consuelo Díaz Sánchez

Con el propósito de garantizar su buen funcionamiento, las centrales nucleares de Estados Unidos están autorizadas para operar por 40 años y deben presentar una solicitud de renovación de licencia para continuar operando durante 20 años más. En México, la Central Nuclear Laguna Verde en unos años presentará su solicitud de renovación de licencia.

Las **centrales nucleares** en Estados Unidos están autorizadas para **operar por 40 años**, periodo que se asigna principalmente por cuestiones económicas y no por limitaciones tecnológicas o de seguridad.

Así, más de 60 de los 104 reactores que operan en el vecino país del norte alcanzaron el periodo original de 40 años en diciembre de 2010.

Para continuar operando debieron presentar ante su órgano regulador, la *Nuclear Regulatory Commission*, su solicitud de **renovación de licencia**, que al otorgarse les autoriza operar durante **20 años más**. Y así tantas veces como sea posible para garantizar la seguridad, salud pública y la protección al medio ambiente, lo que les permite continuar con el proceso de generación de energía eléctrica haciendo uso de la infraestructura disponible e instalada.

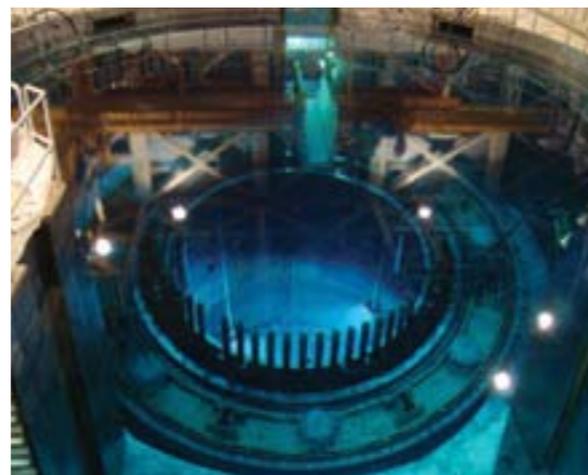
México, en la **Central Nuclear Laguna Verde**, ubicada en el estado de Veracruz, cuenta con dos reactores nucleares en operación con una capacidad instalada de 805 megavatios (MW) eléctricos cada uno, que en conjunto constituye más del 2.8% de la electricidad generada en el país.

Ambos reactores diseñados por *General Electric* siguen la normativa y regulación del país de origen (Estados Unidos), por lo que la **Central Nuclear Laguna Verde** deberá presentar su solicitud de renovación de licencia, de manera similar a la de los reactores estadounidenses, para continuar operando más allá del tiempo permitido por las licencias vigentes, mismas que finalizan en 2020 para la unidad 1 y en el 2025 para la unidad 2.

En la solicitud presentada, la **Central Nuclear Laguna Verde** deberá demostrar al órgano regulador que las unidades son capaces de continuar operando de manera segura durante el periodo de operación extendido.

Como en cualquier otra industria, las estructuras, sistemas y componentes instalados en una central nuclear están sometidos a las condiciones propias de operación (temperatura, presión, medio ambiente, etc.), por lo que las propiedades originales de los materiales que los constituyen pueden degradarse con el paso del tiempo o envejecer.

Este proceso de envejecimiento o pérdida de propiedades puede permitir la aparición de efectos indeseables en los materiales, tales como: corrosión, fatiga erosión, desgaste, fragilización, corrosión microbiológica y, en general, fenómenos de degradación asociados con el tiempo que pueden poner en duda el buen funcionamiento de las estructuras, sistemas y componentes.



México, en la Central Nuclear Laguna Verde, ubicada en el estado de Veracruz, cuenta con dos reactores nucleares en operación con una capacidad instalada de 805 megavatios (MW) eléctricos cada uno, que en conjunto constituye más del 2.8% de la electricidad generada en el país.

El proceso de renovación de licencia implica la realización de una **evaluación integrada de planta**, misma que permite reconocer anticipadamente cuáles serán los principales procesos de degradación asociados a la operación cotidiana, para que de manera segura, informada y controlada se puedan llevar a cabo programas preventivos, correctivos y de seguimiento, que garanticen el funcionamiento adecuado de las estructuras, sistemas y componentes.

La generación de estos programas requiere la **participación de grupos multidisciplinarios** conformados por diferentes especialidades: ingenieros eléctricos, industriales, metalúrgicos y civiles, así como químicos, físicos, biólogos y todas aquellas disciplinas que permitan entender los mecanismos de degradación asociados, para

que con base en el conocimiento y habilidades de cada disciplina los procesos de envejecimiento puedan ser controlados y vigilados.

El ININ a través del Proyecto internacional MEX4/054 auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) logró identificar y conjuntar un grupo de especialistas en áreas como materiales, sistemas nucleares, electrónica, calificación de equipo y ciencias ambientales, capaz de participar y colaborar en actividades encaminadas al proceso de renovación de licencias de la **Central Nuclear Laguna Verde**, haciendo uso de la infraestructura física y humana disponible en el país, coadyuvando así en la generación de energía eléctrica, a través de medios limpios y seguros que fortalecen la industria nuclear nacional.



Ángeles del Consuelo Díaz Sánchez

Estudió Ingeniería Química y Metalúrgica en la Facultad de Química de la UNAM. Realizó la Maestría en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA) y obtuvo el grado de doctora en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Una de sus mayores satisfacciones es haber colaborado en un proyecto internacional auspiciado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de enorme aplicación y beneficio para la industria nuclear nacional.

Cuando era adolescente le gustaba la película *ET* y le tenía miedo a Drácula, bailaba con las canciones de Madonna y escuchaba a Emmanuel. Ahora le gusta relajarse con la música de Enya.

Actualmente, colabora en el Laboratorio de Tecnología de Materiales del ININ.

Su personaje favorito es Albert Einstein.



# El combustible más ENERGÉTICO



Armando Miguel Gómez Torres

Entender cómo se genera energía eléctrica usando un reactor nuclear es sencillo, no obstante el fundamento físico-matemático resulta ser bastante complejo.

La energía nuclear junto con las energías renovables deben ser los ejes motores de una red eléctrica amigable con el ambiente.

La energía nuclear se puede entender como la energía que se encarga de mantener unido al **núcleo de un átomo**. Debe ser capaz de mantener unidas partículas de igual carga (protones) que, dada la Ley de Coulomb, tienden a repelerse.

Dentro de las reacciones nucleares se encuentra la  **fisión nuclear**. Para entender la fisión movámonos del micro mundo al mundo común. Consideremos que tenemos una naranja con un peso de 50 gramos, si partimos la naranja y pesamos ambas mitades juntas, esperaríamos tener de nueva cuenta una medida de 50 gramos. Sin embargo, si en lugar de una balanza de supermercado usáramos un instrumento de medición mucho más sofisticado, notaríamos que en lugar de los 50 gramos, tal vez tendríamos 49.9 gramos, es decir, notaríamos un faltante de 0.1 gramo.

Si analizamos el caso, la masa faltante se puede atribuir al zumo que brota de la fruta y que se pierde al entrar en contacto con el cuchillo. En la fisión pasa algo similar, algunos núcleos son capaces de absorber un neutrón, el cual les producirá una fisión (se parte), como resultado se producen dos fragmentos grandes (productos de fisión) y del orden de dos a tres neutrones. Si tuviéramos la capacidad de medir las masas, notaríamos que la suma de la masa de todos los productos de la fisión es menor a la masa del núcleo original más el neutrón que causó la fisión.

Este faltante se llama defecto de masa y será este defecto de masa el que se transforma en energía, pero ¿cuánta energía? Para contestar esta pregunta basta con traer al texto una de las más famosas fórmulas de Albert Einstein:  $E=mc^2$ .



Esto quiere decir que si se desea saber cuánta energía se obtendría bastaría multiplicar el defecto de masa por la **velocidad de la luz** (300 mil km/seg) al cuadrado. ¿Te puedes imaginar la cantidad de energía que se liberaría con un kilogramo de masa transformada en energía? ¡Es enorme!

Pues bien, esta energía es la que se usa en un **reactor nuclear** para **calentar agua** que se transformará en **vapor** para mover un **turbogenerador** encargado de producir **energía eléctrica**.



El **combustible** de un reactor nuclear, como el de la Central Nuclear Laguna Verde, está compuesto de dióxido de uranio ( $UO_2$ ) en la forma de pastillas cilíndricas de un diámetro aproximado de un centímetro (para fines prácticos, imaginemos dos aspirinas una arriba de la otra). Esta pequeña pastilla de  $UO_2$  es capaz de producir la misma energía que 480 metros cúbicos de gas natural o de 807 kilogramos de carbón o de 564 litros de petróleo. ¡Increíble pero cierto!

De esta forma, un reactor nuclear con este combustible (miles de pastillas apiladas en tubos de Circonio, Zr) es capaz de producir energía por un año y medio (en el caso de los reactores de la Central Nuclear Laguna Verde) sin necesidad de recargar combustible. Como si a un auto le llenaras el tanque de gasolina y hasta después de año y medio le tuvieras que volver a poner gasolina. Es fabuloso ¿no lo crees?

Pero ¿cómo es posible entonces tener suficientes fisiones para mantener la producción de energía?

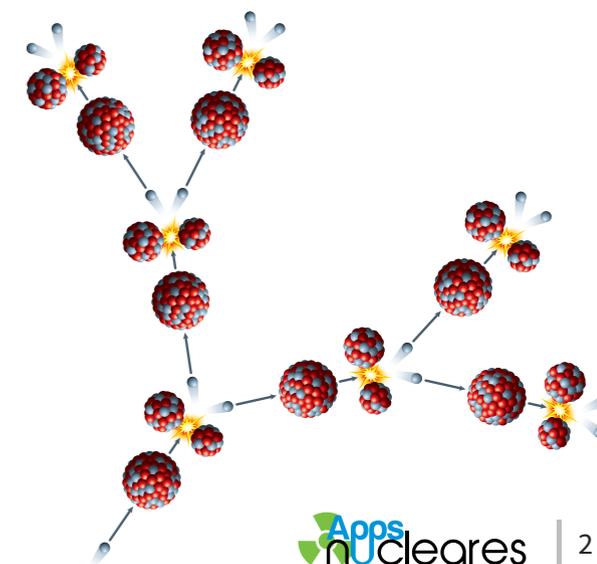
Recordemos que en la fisión además de los dos fragmentos se emiten neutrones. Estos neutrones serán los encargados de inducir fisiones adicionales que seguirán emitiendo neutrones.

Así, por ejemplo, una vez que se presenta una fisión se emiten tres neutrones que producirán a su vez tres fisiones adicionales que resultarán en la emisión de nueve neutrones para seguir fisionando y así sucesivamente hasta tener 27, 81, 243, etc. A esto se le denomina **reacción en cadena** y es la que se encarga de mantener, como una constante, la producción de calor en un reactor nuclear.

En resumen, diremos que **el combustible nuclear es altamente energético**, es más, es el más energético de los combustibles utilizados para producir electricidad. Sin embargo, tiene una ventaja aún mayor, **el proceso de fisión no produce gases de efecto invernadero**, los cuales son los causantes del calentamiento global del planeta.

El uso de la **energía nuclear** en todo el mundo, evita la emisión a la atmósfera de millones de toneladas de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Por ejemplo, si toda la producción de electricidad por medios nucleares en el 2011 se hubiera producido con plantas de carbón, se hubieran emitido 2 mil 581 millones de toneladas de  $CO_2$  adicionales. Por esta razón, la energía nuclear es considerada como la única opción de energía limpia (benévola con el ambiente) para producir electricidad de carga base, es decir, de manera continua.

La energía nuclear junto con las energías renovables (cuya intermitencia no les permite ser de carga base) deben ser los ejes motores de una red eléctrica **amigable con el ambiente**.





Pero entonces ¿la energía nuclear produce desechos? Claro que los produce, de hecho, son productos de fisión radiactivos que deben tener un manejo muy estricto. Esto es quizás el tema más polémico de la energía nuclear y es el argumento favorito de sus detractores.

No obstante, el tema de los **desechos** podría también entenderse como el argumento más favorable de la energía nuclear, si bien los combustibles gastados son radiactivos y peligrosos éstos se encuentran siempre contenidos **de manera segura y vigilada**, muy contrario a los desechos de las plantas eléctricas que queman combustibles fósiles como carbón, gas o petróleo.

¿Te has puesto a pensar en donde están sus desechos? La respuesta es que están en tus pulmones, en los de tus papás, amigos y hermanos. Respiramos esos contaminantes a cada momento y además de ser causantes de muchísimas muertes por enfermedades respiratorias, también son los causantes del calentamiento global del planeta.

El hecho de que el combustible nuclear sea altamente energético es una ventaja adicional en cuanto a la cantidad de desechos generados, pues la cantidad de combustible nuclear

*El combustible nuclear es altamente energético, es más, es el más energético de los combustibles utilizados para producir electricidad.*



gastado es muy inferior a la cantidad de desechos de la industria fósil. Si recordamos que una pastilla de  $UO_2$  del tamaño de dos aspirinas, con un peso aproximado de 8.57 gr (0.00857 Kg) produce la misma energía que 807 kg de carbón, nos podemos dar cuenta que la cantidad de desechos seguirá una regla similar, es decir, un kilogramo de combustible nuclear gastado equivale a 10 mil kilogramos de desechos de carbón (cenizas y gases de efecto invernadero) aproximadamente.

*La energía nuclear es considerada como la única opción de energía limpia (benévola con el ambiente) para producir electricidad de carga base, es decir, de manera continua.*



### Armando Miguel Gómez Torres

Es egresado del Instituto Politécnico Nacional (IPN), de la licenciatura de Física y Matemáticas, y de la Maestría en Ciencias con especialización en Ingeniería Nuclear. Obtuvo con honores el grado de doctor en la Universidad Técnica de Munich, Alemania.

Le apasionan las descripciones de Bruno Traven sobre México y correr maratones. Su escritor favorito es Ken Follett y su canción predilecta es "Dance with my father again".

Actualmente, colabora en el área de Tecnología de Reactores Nucleares del ININ.

El personaje que más le inspira es Albert Einstein y admira a John Lennon.

# Factores básicos de PROTECCIÓN



### Jorge Aguilar Balderas

*Podemos beneficiarnos de la radiación, pero también debemos tener cuidado al exponernos a ella. Cuando tenemos necesidad de estar cerca de una fuente de radiación es necesario aplicar principios básicos de protección radiológica.*

Un mito en la sociedad es que la radiación es dañina, sin embargo, esa creencia no es totalmente correcta, pues también es cierto que sin radiación no existiría la vida como la conocemos.

Por ejemplo, la **fotosíntesis** es un proceso que transforma la energía de la luz o radiación solar en energía química. En este proceso es necesario un fotón de luz (radiación electromagnética) para descomponer la molécula y hacer posible que las plantas liberen el oxígeno que utilizamos para respirar y además se produzca materia orgánica (glucosa) que después nos comemos al consumir vegetales para obtener energía.

Antes de que descubrieran la radiactividad, ya se conocían los beneficios de la radiación, en 1845 Wilhelm Röntgen logra producir radiación electromagnética capaz de atravesar cuerpos opacos a la luz, es decir, produce las primeras radiografías.

Todos conocemos la importancia que tienen las radiografías. Tú, seguramente, guardaste alguna como recuerdo si te fracturaste una pierna o un brazo al caer de la patineta.

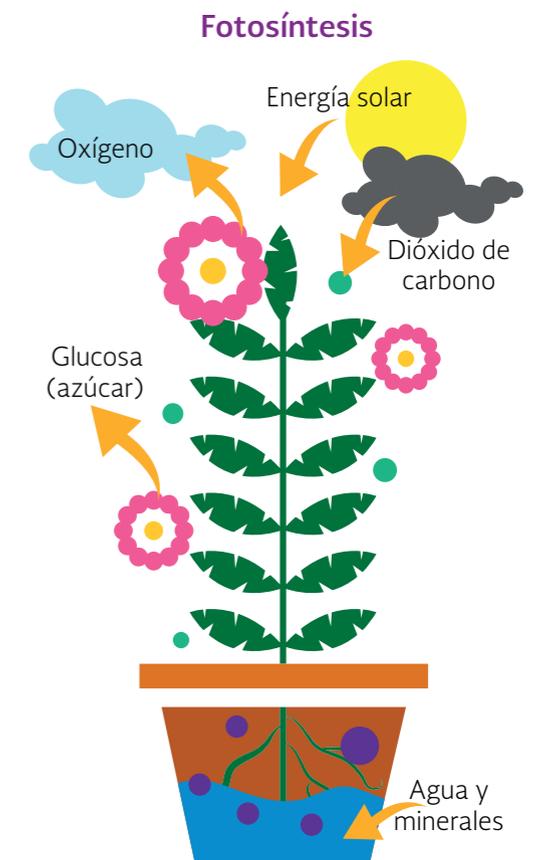
Además, ¿sabías que gracias a cierto tipo de radiación electromagnética puedes ver tu programa favorito o revisar el facebook en tu teléfono celular?

Las radiaciones tienen muchas **aplicaciones que benefician al ser humano**. Por mencionar algunas, además de las radiografías, hay en la agricultura, la medicina o el sector energético. Sin embargo, si nos exponemos a un campo de radiación, en particular radiación ionizante, nuestro organismo puede sufrir daños de los que puede o no recuperarse.

Un ejemplo es cuando vamos a nadar y nos asoleamos. Si nos exponemos a los rayos solares

por un tiempo prolongado, observamos que se da una reacción en nuestra piel, es decir, un efecto biológico cuyo daño ocasionado depende de la  **dosis**  de radiación recibida y del  **tiempo**  en el que estuvimos expuestos. Si es frecuente este tipo de exposición puede ser que nuestro organismo no alcance a recuperarse y las células de la piel puedan morir (lisis) o sufrir cambios en su ADN (cáncer).

Como hemos observado, podemos beneficiarnos de la radiación, pero también debemos tener cuidado al exponernos a ella.





Para evitar los riesgos asociados a las aplicaciones de la **radiación ionizante** se han desarrollado prácticas seguras para la protección de la gente y el entorno. Y eso es lo que se conoce como **protección radiológica**.

Como su nombre lo dice, el objetivo de la protección radiológica es proteger a los individuos, a sus descendientes, a la población en general y al medio ambiente, limitando y previniendo los efectos que pudieran resultar de la exposición a la radiación, debido a la realización de actividades necesarias en las que se hace uso de fuentes de radiación ionizante.

Para limitar y reducir la exposición a la radiación se toman en cuenta **tres factores básicos de protección radiológica** que determinan la exposición total de la persona.

**Distancia:** A mayor distancia de la fuente de radiación menor será la exposición a ésta.

**Blindaje:** A mayor espesor de blindaje menor será la exposición.

**Tiempo:** A menor tiempo de permanencia cerca de una fuente de radiación menor será la exposición.

Así, si en el trabajo se requiere del uso de fuentes radiactivas se utilizan materiales que absorben la radiación entre la fuente emisora y el individuo, a manera de **blindaje**, escudo o protección. Y como podemos darnos cuenta, en esos casos, debemos tener cuidado con la exposición al campo de radiación, así como el tiempo expuesto, la distancia y los niveles de dosis de radiación que se reciben.

En general, debemos evitar cualquier exposición innecesaria a la radiación y cuando estemos expuestos a ella vigilar que sea lo mínimo posible.

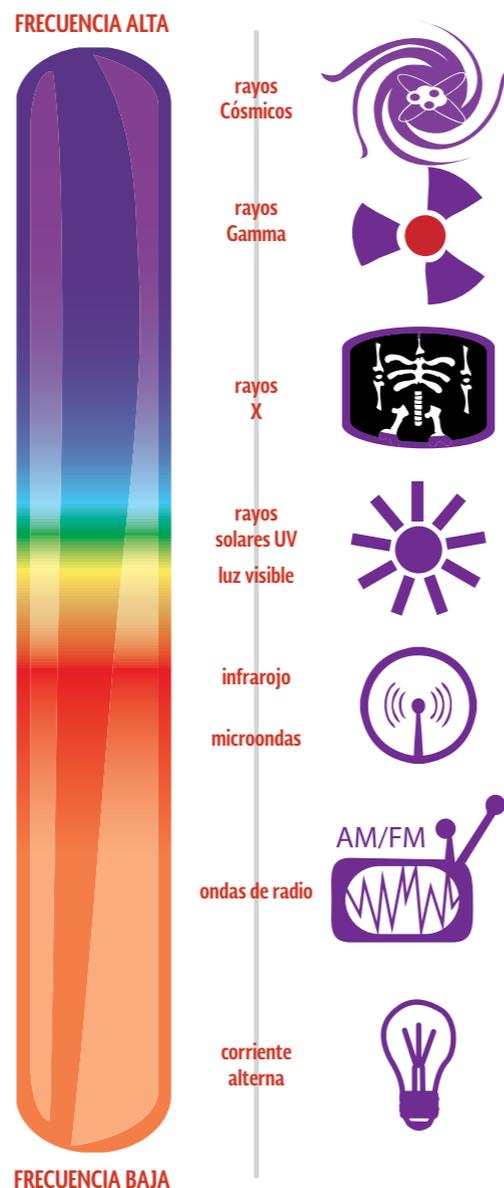
Existe un concepto que, por sus siglas en inglés, se conoce como ALARA (As Low As Reasonably Achievable) y que significa mantener las exposi-

*Si en el trabajo se requiere del uso de fuentes radiactivas se utilizan materiales que absorben la radiación entre la fuente emisora y el individuo, a manera de blindaje, escudo o protección.*

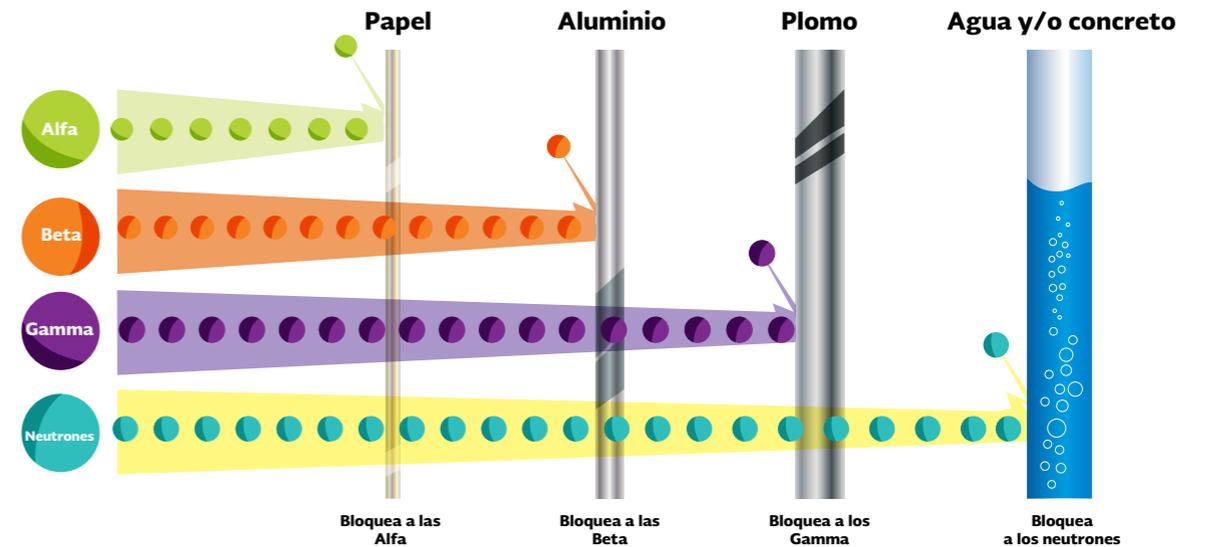
ciones tan bajas como razonablemente pueda lograrse. Y este principio debe aplicarse siempre en cualquier instalación donde se manejen fuentes de radiación ionizante.

La ley, reglamento y normativa mexicana en esta materia proporciona la clasificación de los efectos biológicos, los límites de dosis y cómo debe aplicarse el sistema de limitación de dosis, y obli-

### Espectro electromagnético



### Tipos de radiación y blindaje



ga a los permisionarios (dueños de las fuentes de radiación) a cumplir con los procedimientos para instalar, transportar, operar, manipular y desechar las fuentes de radiación.

Además, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS) es el órgano regulador en nuestro país encargado de vigilar el cumplimiento de esa normativa, para salvaguardar el entorno y la salud de los trabajadores y la población.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), a través del Departamento de Educación Continua, ofrece cursos de Protección Radiológica al personal de empresas e instituciones del sector salud (hospitales y laboratorios), ambiental, industrial (CFE y Pemex) y seguridad pública (Policía Federal, Ejército, Marina, Bomberos),

que por causas del trabajo que desempeña, está expuesto a una fuente de radiación ionizante. Este tipo de cursos va desde niveles básicos de protección radiológica hasta niveles avanzados, que permiten capacitar al personal encargado de seguridad radiológica de la instalación donde se manejan las fuentes de radiación.

Así que ya sabes: la radiación puede dar vida pero también dañarla, por lo que es necesario aplicar los principios básicos de protección radiológica cuando tenemos necesidad de estar cerca de una fuente de radiación ionizante.

Por supuesto, si no tenemos por qué estar en contacto con una fuente de radiación existen letreros que nos avisan para evitar acercarnos.



RADIACIÓN IONIZANTE



#### Jorge Aguilar Balderas

Egresó de la Licenciatura en Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ahí mismo realizó la Maestría en Ciencias en Ingeniería de Materiales y actualmente es candidato a doctor en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

En la Vocacional, el Cálculo integral y diferencial, y el Dibujo industrial eran su coco.

Cuando era adolescente bailaba rap noche y día, le encantaba *La guerra de las galaxias* y Yoda.

Actualmente, colabora como instructor en el Departamento de Educación Continua del ININ.

Su personaje favorito es Michael Faraday.

# Bajo BUEN resguardo



Aída Contreras Ramírez

En varios momentos en nuestra vida cotidiana, directa o indirectamente, obtenemos beneficios de alguna aplicación nuclear, desde material quirúrgico radioesterilizado hasta fuentes radiactivas de la industria.

La clasificación de los desechos radiactivos ayuda a tener un manejo adecuado y seguro de este tipo de desechos, conforme a normas de control y seguridad establecidas.

La ciencia y tecnología nucleares tiene una gran variedad de **aplicaciones que brindan diversos beneficios**, entre los que destacan:

**Medicina:** permite diagnosticar y tratar el cáncer o asegurar la esterilización de productos médicos y quirúrgicos a través de la irradiación gamma.

**Industria:** se utiliza en la investigación, desarrollo y mejora de procesos para las mediciones, la automatización y el control de calidad. Como trazador para comprobar el grado de homogeneidad en mezclas, en mantenimiento para detectar fugas y determinar el grado de desgaste en materiales y corrosión de equipos, en el uso de la radiación gamma en ciertos plásticos para mejorar considerablemente sus propiedades como aislante térmico y eléctrico, o para modificar plásticos biocompatibles que se usan como injertos o plásticos de recubrimientos como el teflón empleado en utensilios de cocina, así como polímeros para membranas plásticas de medicamentos que se aplican lentamente dentro del organismo humano.

**Agricultura:** con la esterilización de insectos para controlar la plagas y evitar el uso de insecticidas que contaminan la atmósfera y los mantos acuíferos. Promueve el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos, la mejora de las variedades de cultivo y el establecimiento de mejores condiciones que optimizan la eficacia de los fertilizantes y el agua.

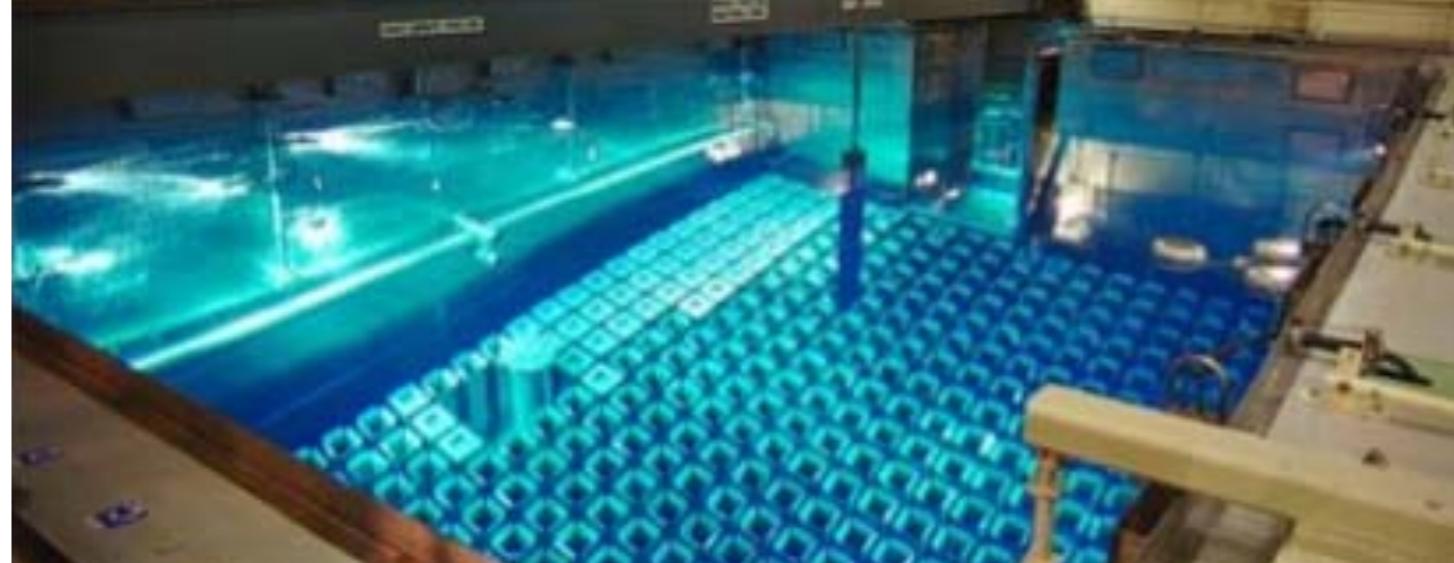
**Alimentación:** al utilizar la radiación gamma para esterilizar alimentos y conservarlos, lo que significa un gran potencial para remediar el problema del hambre en el mundo.

**Arqueología:** con la datación de la edad de la tierra y hallazgos arqueológicos por técnicas isotópicas.

**Industria espacial:** a través de baterías isotópicas empleadas en naves espaciales.

**Investigación:** con el análisis por activación neutrónica capaz de determinar cantidades inferiores a una parte por millón.

**Producción de energía eléctrica:** sin emisión de gases invernadero a la atmósfera, con lo que se contribuye a reducir el calentamiento global y el **cuidado del medio ambiente**.



En fin, es un hecho que en varios momentos en nuestra vida cotidiana, consciente o inconscientemente, directa o indirectamente, hacemos uso de alguna aplicación nuclear.

Y así las radiaciones nucleares y la fuentes de radiación tienen múltiples aplicaciones que nos benefician, desde material quirúrgico radio esterilizado hasta fuentes radiactivas de la industria.

El uso de estas fuentes de radiación o isótopos, al paso del tiempo **pierden la capacidad** de desarrollar la función para la que fueron pensadas, al igual que cualquier máquina, aparato o batería. Es entonces cuando se convierten en un **desecho**.

Por naturaleza la radiactividad **decrece con el paso del tiempo, por lo que es necesario confinar estos desechos de manera adecuada hasta que dejen de ser radiactivos.**



Cuando dejan de ser radiactivos los desechos dejan, por tanto, de ser inseguros o peligrosos. Así, dependiendo del tiempo en que le tome dejar de ser radiactivo y de su actividad (número de desintegraciones nucleares por segundo), los desechos radiactivos se clasifican como de nivel bajo, nivel intermedio y nivel alto.

Esta clasificación ayuda a tener un **manejo adecuado y seguro** de este tipo de desechos, conforme a normas de control y seguridad establecidas.

Los desechos de **bajo nivel** contienen pequeñas cantidades de radiactividad de corta duración y requiere de protección menor durante su manipulación.

Los desechos radiactivos de **nivel intermedio** contienen cantidades mayores de radiactividad y algunos requieren de blindaje.

En México contamos con un Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos, conocido como CADER.

Los desechos de **alto nivel** de actividad provienen del combustible de uranio previamente empleado para generar energía eléctrica. Estos desechos son altamente radiactivos y generan calor por lo que requieren de un **blindaje y refrigeración** durante algún tiempo.

Los desechos de nivel bajo e intermedio se confinan en un espacio adecuado de resguardo, hasta que dejan de ser radiactivos, conforme lo determina la legislación nacional y la normativa internacional.

Los desechos de alto nivel actualmente son almacenados en **albercas** dentro de las mismas instalaciones **de los reactores nucleares**.

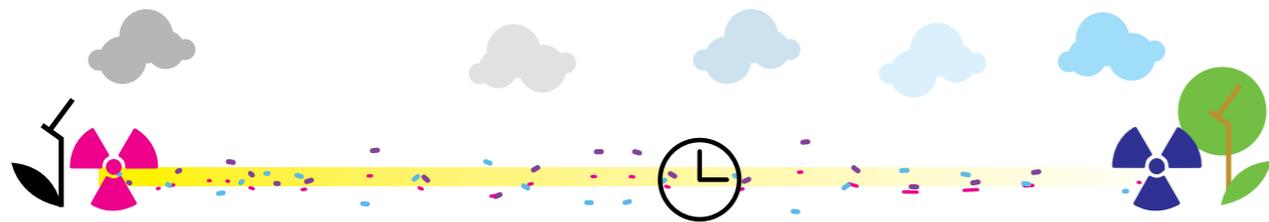
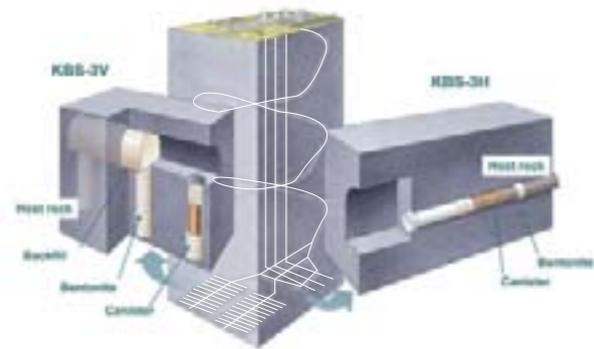




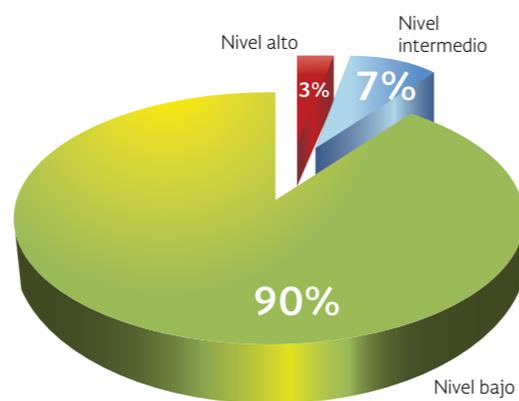
En la industria nuclear se tiene el criterio de reducir, reusar y reciclar. El combustible nuclear puede reprocesarse, es decir, separar la parte que es útil para formar otro tipo de ensamble combustible y volver a generar energía eléctrica.

De esta forma se recupera el 97% del material, quedando sólo un 3% de desechos de alto nivel.

Los desechos de alto nivel se pueden almacenar dentro unos contenedores especiales, cerrados herméticamente, en el fondo de la tierra, llamado **almacén geológico profundo**, ubicados en lugares especiales donde se garantiza que tanto la población como el medio ambiente o la biosfera no se verán afectados.



**% Volumen de los residuos radiactivos**



En México contamos con un **Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos**, conocido como **CADER**, que está ubicado en el Estado de México, y es administrado y operado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), conforme a las normas nacionales e internacionales.

Por su parte, los desechos de alta actividad se encuentran en una alberca dentro de las instalaciones de los mismos reactores nucleares de potencia mexicanos, ubicados en el estado de Veracruz, en la Central Nuclear Laguna Verde.

### Aída Contreras Ramírez

Estudió la carrera de Ingeniería Química con especialidad en Ambiental en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT). Obtuvo el grado de doctora en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Cuando estudiaba el bachillerato se le dificultaba la Expresión oral y escrita, y la Administración de empresas.

Una de sus canciones favoritas era "Afuera" de Caifanes y la película *La sociedad de los poetas muertos*. También en ese tiempo practicaba el atletismo (800m) y jugaba basquetbol, ahora le gusta caminar y aprende el sistema "Nawi olin teotl", calendario azteca y medicina tradicional. Es una persona muy feliz, independiente y saludable.

Actualmente, colabora en el Laboratorio de Tecnología de Materiales del ININ.

Marie Curie es su personaje favorito.

# CADER | Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos

El **CADER** es un centro de almacenamiento temporal ubicado en Temascalapa, Estado de México, operado por el **Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)**, que recibe los desechos radiactivos de bajo y medio nivel generados en actividades no energéticas en México. Este centro inició operaciones en 1970.

### IMPORTANCIA DEL CADER

Todas las empresas e instituciones que utilizan fuentes radiactivas, en cualquiera de sus aplicaciones, están reguladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).

Los desechos radiactivos que generan no se pueden tirar como basura común, pues necesitan un determinado tiempo para dejar de emitir su radiación.

Estos desechos requieren ser gestionados de una forma segura, con el fin de almacenarlos temporalmente bajo estrictos controles de vigilancia, de acuerdo con las normas nacionales e internacionales.

### OTRAS INDUSTRIAS

En países que generan electricidad con energía nuclear, los desechos radiactivos comprenden menos del 1% de los desechos tóxicos o peligrosos industriales generados en total.

Anualmente a nivel mundial se generan:

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
| Desechos peligrosos  |  | 400 millones toneladas |
| Desechos radiactivos de baja y media actividad               |  | 387 mil toneladas      |
| Desechos radiactivos de alta actividad y combustible gastado |  | 13 mil toneladas       |

### ¿QUÉ HAY EN EL CADER?

Desechos que almacena el **CADER** son producto de las aplicaciones de materiales radiactivos en la industria, medicina e investigación provenientes de todo el país. Por ejemplo, las jeringas, guantes, recipientes y algodones con contaminación radiactiva de los hospitales, así como fuentes utilizadas en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer.

En la industria se generan fuentes utilizadas como medidores de procesos industriales. Por ejemplo, en el llenado de envases como refrescos, latas, cervezas, etc. También se usan en la medición y control de espesores de laminados como papel, acero, telas, entre otros.

### PROCESO DE ALMACENAMIENTO

- Los desechos radiactivos se caracterizan, acondicionan, compactan y colocan en bidones de acero 200 litros, en la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (Patrader) del Centro Nuclear "Dr. Nabor Carrillo Flores" del ININ, ubicado en Ocoyoacac, Estado de México.
- Cada bidón se rotula con la siguiente información: Identificación del bidón, tipo de desecho, radioisótopo, actividad, nivel de radiación, fecha de envase, peso y ubicación. Se mantienen registros en papel y en forma digital de esos datos.
- Los bidones se transportan al **CADER**, en condiciones de seguridad física y radiológica adecuadas, y en vehículos debidamente autorizados por la CNSNS.

### MEDIDAS DE SEGURIDAD

El personal técnico del **CADER** está capacitado para realizar su labor con responsabilidad y eficacia en el manejo, control y vigilancia de los desechos radiactivos.

La radiación que emite los desechos radiactivos almacenados en el **CADER** es contenida por los bidones y los edificios, de manera que fuera de ellos los niveles de radiación son equivalentes al **nivel de fondo ambiental**.

Todos los días recibimos radiación de fuentes naturales, por ejemplo, de la radiación cósmica, de la corteza terrestre, de los alimentos que consumimos y hasta de los materiales de construcción. Por ello, en cualquier lugar se pueden detectar niveles de radiación en el ambiente y eso es el nivel de fondo ambiental.

El personal del ININ realiza el programa anual de vigilancia radiológica ambiental alrededor del CADER en muestras de aire, agua superficial y de los pozos, tierra del predio y de las zonas aledañas, vegetales.



## 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.

Entra al sitio web del ININ, revisa los requisitos y reserva la fecha de tu visita guiada.



## Estancias y servicio social

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

Sé uno de nuestros becarios para desarrollar tu tesis de licenciatura, maestría o doctorado con la asesoría de colaboradores del ININ.

Entra al sitio web del ININ, revisa los requisitos e inicia el trámite.



[www.inin.gov.mx/vinculacion](http://www.inin.gov.mx/vinculacion)



instituto nacional de  
investigaciones nucleares