

# Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes

Año 4, julio-diciembre, 2018

No. 8

## Energía infinita

La fusión nuclear controlada como alternativa energética

## La salud de los muertos

Análisis de momias mediante tomografía computarizada

## Geofísica en movimiento

Emisiones de radón para determinar fallas geológicas

## Guardianes de la agricultura

Uso de biofertilizantes

## Cincuentenario del resplandor azul

50 años del Reactor TRIGA Mark III



instituto nacional de  
investigaciones nucleares



Coordinación de Promoción y  
DIVULGACIÓN  
Científica

**CONTENIDO**

1	 <b>EDITORIAL</b> LYDIA PAREDES GUTIÉRREZ
2	<b>ARTE</b> <i>La salud de los muertos</i> Análisis de momias mediante tomografía computarizada JUAN MANUEL HERRERA MOYA
5	<b>HISTORIA ININ</b> <i>Cincuentenario del resplandor azul</i> 50 años del Reactor TRIGA Mark III SIMÓN HILARION CRUZ GALINDO
8	<b>AGRICULTURA</b> <i>Guardianes de la agricultura</i> Uso de biofertilizantes EULOGIO DE LA CRUZ
11	<i>La bondadosa hojita dulce</i> Mejoramiento genético de la estevia JOSEFINA GONZÁLEZ JIMÉNEZ
14	<b>ENERGÍA</b> <i>Energía infinita</i> La fusión nuclear controlada como alternativa energética CÉSAR ROMEO GUTIÉRREZ TAPIA
17	<b>INDUSTRIA</b> <i>Arcos vigilantes</i> Sistema de seguridad con rayos gamma ARTURO ÁNGELES CARRANZA
20	<i>En busca de daños estructurales</i> Ensayos no destructivos en inspección de edificaciones EDUARDO FRANCISCO ROBLES PIEDRAS
22	<b>AMBIENTE</b> <i>Cuidar la salud del agua</i> Desinfección del agua por plasmas no térmicos BENJAMÍN GONZALO RODRÍGUEZ MÉNDEZ
25	<i>Geofísica en movimiento</i> Emisiones de radón para determinar fallas geológicas MIGUEL BALCÁZAR GARCÍA
28	<b>INFOGRÁFICO</b> <i>Diferencia entre Fisión y Fusión</i> ARMANDO GÓMEZ TORRES CÉSAR ROMEO GUTIÉRREZ TAPIA

**DIRECTORIO**

- Dra. Lydía 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**  
Mtra. 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 4, número 8, julio-diciembre, 2018**

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

Editora responsable Elizabeth López Barragán.  
[elizabeth.lopezbarragan@inin.gob.mx](mailto:elizabeth.lopezbarragan@inin.gob.mx)  
Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2017-022808542200-01, ISSN:2448-8593, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Los artículos presentados han sido validados por los autores. En caso de plagio, el único responsable será el autor. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del ININ. Se autoriza la reproducción parcial de la publicación siempre que se cite la fuente.

Hecha e impresa en México por Comersia Impresiones, SA de CV, con domicilio en Insurgentes Sur 1793-207, Guadalupe Inn, C.P. 01020, este número se terminó de imprimir el 30 de junio de 2018, con un tiraje de 2 mil ejemplares.

Distribución gratuita.



**EDITORIAL**



La serpiente que se muerde la cola y crea un círculo que no tiene fin constituye el símbolo del uróboros. Esta figura representa la naturaleza cíclica de las cosas, lo ilimitado del universo y otros conceptos percibidos como ciclos que comienzan de nuevo en cuanto concluyen. Por algo el uróboros alude al infinito, al eterno retorno o a la unidad primordial que persiste en el tiempo, sin desgastarse ante el cambio, recreándose a sí misma. Es decir, que a cada final le corresponde a su vez un nuevo principio, un renacer imperecedero, que es un continuo permanente en cuyo desarrollo no puede determinarse un punto final. Por ello, a este símbolo se le usa como representación de lo infinito y del renacimiento de las cosas que nunca desaparecen, solo cambian eternamente.

Esta noción de lo infinito e imperecedero nos recuerda el principio de conservación de la energía de la segunda ley de Newton con aquella famosa frase que hemos escuchado muchas veces: "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma". Este principio, además, nos permite tener presente que la fusión nuclear es el proceso que provee de energía permanente a las estrellas en el universo. Y las investigaciones sobre este tema nos emocionan tan solo al considerar las enormes posibilidades de aprovechamiento y beneficios que nos brindaría manejar y determinar este proceso.

Pero la noción de lo infinito también tiene resonancias, a un tiempo intelectuales y emocionales, en la incesante curiosidad por el conocimiento que debemos mantener cuando nos dedicamos a hacer ciencia y desarrollar tecnología. Porque la construcción del conocimiento es una espiral ascendente que tampoco tiene fin.

**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).

Es directora general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) desde 2013 y presidenta 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) (2017). También es presidenta de la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society (LAS/ANS).

Forma parte de la Red de Mentoras de la iniciativa NIÑASTEM. Le hubiera gustado vestir la ropa del siglo XIX. Disfrutó mucho escuchar el *Huapango* de José Pablo Moncayo.

Explicar los fenómenos físicos y químicos a los niños y jóvenes, es de las cosas que más disfruta hacer. La mascota que más ha querido es su perrita "Mía".





# LA SALUD DE LOS MUERTOS

Análisis de momias mediante tomografía computarizada



## JUAN MANUEL HERRERA MOYA

Existen múltiples vestigios de nuestra historia en el mundo entero y contienen mucha información de nuestro pasado. Lugares, objetos e incluso los muertos tienen mucho que contarnos. Gracias a la tecnología es posible revelar los secretos que las momias guardan.

En múltiples culturas a lo largo de nuestra historia por todo el mundo se llevó a cabo el proceso de momificación, pero fue en el antiguo Egipto donde se perfeccionó la técnica. Su proceso de momificación tenía el propósito de cuidar durante el “viaje espiritual” a los faraones, quienes eran elegidos para reencarnar en vidas futuras.

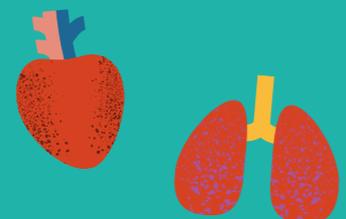
Los sacerdotes, quienes eran los encargados de realizar el procedimiento de embalsamamiento, **seguían los siguientes pasos:**

Los cuerpos momificados han sido encontrados y nos han permitido conocer más sobre la cultura egipcia y su cosmovisión. Sin embargo, las momias dicen más de lo que parece y gracias a la técnica de tomografía computarizada multicorte (TC) podemos conocer detalles más minuciosos sobre ellas.

Los primeros usos de tecnología en momias se documentaron en 1898 con la aplicación de rayos X (apenas tres años después del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Roentgen).

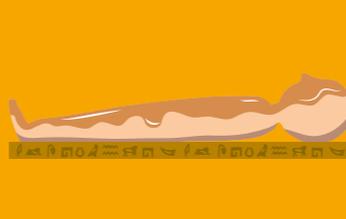
1

Lavar y preparar el cuerpo para la extracción de los órganos.



2

El cuerpo se cubría de varias capas de aceites vegetales y animales.



3

Se colocaban vendas sobre su cuerpo, además de diversos amuletos que cumplían el papel de protector.



4

Finalmente, el cuerpo se colocaba en un sarcófago.



En 1905 los rayos X fueron aplicados por primera vez en una colección de fósiles del hombre de Neandertal. Los estudios revelaron algunos de los problemas de salud que afectaron a esos homínidos hace más de 130 mil años, como la identificación de tumores benignos de hueso (el más antiguo detectado), el reconocimiento de individuos con osteoartritis (enfermedad producida por el desgaste del cartílago), entre otros resultados notables que mostraron sus radiografías.

A inicios del siglo XX, la tecnología de rayos X propició el inicio de una era de modernización para el diagnóstico y la evaluación de enfermedades. Aunque los rayos X se han desarrollado paulatinamente en el último siglo, aún existen múltiples áreas de mejoramiento. Por ejemplo, las imágenes producidas por los rayos X son bidimensionales, además de que las estructuras están superpuestas en la imagen y no pueden ser distinguidas.

En 1972, el ingeniero inglés Godfrey Hounsfield inventó la tomografía computarizada (TC), que resultó ser una herramienta fundamental para el estudio de las características internas de fósiles homínidos y de cuerpos momificados, ya que utiliza rayos X que no son invasivos. El procedimiento de la TC consistía en el flujo de una alta cantidad de haces de rayos X, que combinado con un juego de detectores electrónicos de rayos X (en forma de un arco) rotan alrededor de un objeto. Este procedimiento efectúa mediciones sobre una serie de imágenes transversales que juntas crean una representación virtual del objeto.

Comparada con la radiografía convencional, la TC provee imágenes de alta resolución, imágenes transversales muy claras e imágenes en tercera dimensión. En los últimos 30 años la tecnología de la TC ha progresado para reducir el tiempo de barrido, mejorando la resolución de la imagen, simplificando su funcionamiento en general e incrementando la eficiencia de barrido.

Una de las aplicaciones más importantes del equipo de tomografía es en bioarqueología (rama de la antropología enfocada en los análisis des-

criptivos de patólogos y anatomistas, a partir de un contexto arqueológico), en historia y en el historial clínico de cuerpos momificados.



La TC permite una precisa y detallada documentación virtual de la piel, esqueleto y otros contenidos sin dañar los cuerpos analizados. También permite examinar otros objetos arqueológicos, como figuras de barro o cerámica, pergaminos, joyas, estatuas de bronce, espadas y muchos otros.

El primer estudio con TC en una momia egipcia se llevó a cabo en 1977, mediante la aplicación de software de imágenes en tres dimensiones. Al utilizar un software de imágenes 3D con los barridos realizados en una momia es posible realizar análisis profundos, ya que las momias pueden ser fácilmente “desenvueltas” o “disectadas”.

La TC permite una precisa y detallada documentación virtual de la piel, esqueleto y otros contenidos sin dañar los cuerpos analizados. También permite examinar otros objetos arqueológicos, como figuras de barro o cerámica, pergaminos, joyas, estatuas de bronce, espadas y muchos otros.

Evaluar el sexo, estimar la estructura, edad y verificar normalidades anatómicas o patologías, son algunos de los datos que pueden obtener los investigadores a través de la TC. Las condiciones de vida de nuestros antepasados hu-





manos fueron sumamente difíciles, algunos de los acontecimientos que les ocurrían constantemente fueron traumas causados por accidentes o violencia, deficiencias nutricionales, anormalidades hormonales y enfermedades.

La TC de alta resolución es una herramienta que permite visualizar claramente las estructuras anatómicas de esqueletos de fósiles humanos, tanto externas como internas. Por ello, es un instrumento invaluable para conocer más sobre el estado de salud de nuestros antepasados.

El Laboratorio de Control de Calidad y Protección Radiológica en Imagenología (Laccprim), del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), cuenta con un equipo de tomografía computarizada multicorte. El uso de este equipo se enfoca en el entrenamiento de personal para la aplicación de pruebas de control de calidad de radiodiagnóstico y también es utilizada en áreas como tecnología de materiales, antropología y arqueología.

**Una de las principales ventajas del uso de la TC al aplicarse en momias es que las imágenes obtenidas suelen ser más nítidas que las de un paciente vivo.** Ello se debe a que los rayos X que pasan a través de los tejidos deshidratados de la momia tienen poca dispersión (fenómeno por el cual un conjunto de partículas que se mue-

ve en una dirección determinada, rebota sucesivamente con las partículas del medio por el que se mueve hasta perder una dirección privilegiada de movimiento), por lo tanto, la señal en el sistema de detección es más alta, lo que da como resultado una imagen de mucha mayor calidad.

Recientemente, en el Laccprim se realizó la tomografía computarizada de unos cuerpos momificados de la Facultad de Antropología de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Las imágenes obtenidas sirvieron a los expertos de antropología forense para conocer más acerca de las causas de muerte de las personas que fueron momificadas. Por ejemplo, la edad al momento de su muerte. La participación del Laccprim fue fundamental, pues es imposible llevar los cuerpos momificados a una unidad hospitalaria para aplicar la TC debido a las condiciones de asepsia médica que deben prevalecer en las salas de hospital.

La TC es de suma utilidad en la identificación de artefactos u otros objetos extraños sin afectar de ninguna manera a la momia o al objeto estudiado. Actualmente, múltiples museos en todo el mundo están utilizando la TC para develar los misterios que encierran los objetos de la antigüedad y así conocer más y mejor nuestro pasado.

Estudió Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba (ITO). Se siente orgulloso de su familia. Su personaje favorito es Perseo, perteneciente a la mitología Griega. La canción que más le gusta es *Love Theme*, con la orquesta de amor ilimitado de Barry White. Algunos de sus pasatiempos favoritos son el ejercicio al aire libre y la carrera pedestre.

Admira a todos los mexicanos que se esfuerzan diariamente para trabajar de forma honrada. Su mascota favorita es "Rina", una perrita de raza collie. Actualmente colabora en el Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes del ININ.



# CINCUENTENARIO DEL RESPLANDOR AZUL

50 años del Reactor TRIGA Mark III



## HILARION SIMÓN CRUZ GALINDO

La mayor parte del tiempo hacemos uso de los beneficios de la ciencia y la tecnología sin saber que detrás de cada avance científico hubo todo un esfuerzo intelectual y físico para conseguirlo. Entérate de los esfuerzos que han dado como resultado 50 años de trabajo incesante del reactor TRIGA Mark III.

La historia de la ciencia nuclear en México comenzó en las primeras décadas del siglo XX, con la autonomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1929, lo que conllevó a la formación y profesionalización de los primeros físicos del país. A partir de 1934 se constituyó el Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica (Conesic), la primera institución enfocada en el desarrollo de la ciencia en el país.

Los esfuerzos en el surgimiento de instituciones científicas se vieron reflejados al fundarse la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN). Las primeras instituciones nucleares tenían los objetivos de la exploración de minerales radiactivos, la aplicación de radioisótopos (toda sustancia que dentro de su estructura contiene núcleos radioactivos), la investigación en radiación y física de reactores.

El doctor Nabor Carrillo Flores —fundador del Centro Nuclear que ahora lleva su nombre y es

la sede del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)—, se dio cuenta de los múltiples beneficios que podía aportar la tecnología nuclear, sobre todo de la energía producida por medio de la fisión nuclear. Por ello, el doctor Carrillo Flores fue un impulsor de las ciencias nucleares y estuvo decidido a conseguir que México contara con un reactor nuclear dedicado a la investigación.

En la década de los años sesenta del siglo XX se logró edificar una instalación con la tecnología adecuada para albergar un reactor de investigación. Por razones de política exterior, la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) intentó minimizar los posibles compromisos en materia nuclear (un tema sensible en ese momento) con Estados Unidos. Debido a esto, no fue posible firmar un acuerdo bilateral en el marco del programa *Átomos para la paz*, lo que podía facilitar la adquisición del reactor.



Llegada e instalación de la vasija del reactor.





Proceso de construcción del edificio del reactor y apariencia actual.

Átomos para la paz fue un programa que comenzó con el discurso del presidente de EUA, Dwight Eisenhower dictado el 8 de diciembre de 1953 (tiempo de post guerra) ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, en el cual se hizo énfasis en las aplicaciones nucleares enfocadas en agricultura, medicina y producción de electricidad, con el fin de neutralizar el impacto negativo causado por las aplicaciones bélicas (únicas aplicaciones conocidas en ese momento).

El efecto Cherenkov consiste en que los electrones de alta energía viajan a través del agua formando un efecto óptico en el que se crea una luz que se extiende por todo el medio en forma de cono a lo largo de la trayectoria de la partícula cargada, dándole una coloración azul.

La primera **críticidad** es considerada un parteaguas en la historia de la ciencia en México. Gracias al funcionamiento incesante del reactor han sido posibles estudios en química nuclear, análisis de muestras arqueológicas y ambientales, producción de radioisótopos para la fabricación de radiofármacos y muchas otras aplicaciones.

La **críticidad** se refiere a las condiciones de funcionamiento normal de un reactor. Un reactor consigue criticidad (y se dice que es crítico) cuando cada evento de fisión libera un número suficiente de neutrones para mantener constante la serie de reacciones en cadena en curso. El OIEA define la primera fecha de criticidad como el día en que el reactor se vuelve crítico por primera vez.

Seguro te estás preguntando ¿por qué tanto esfuerzo por conseguir un reactor nuclear?, bueno en realidad es debido a sus alcances tecnológicos, su utilidad en diversas disciplinas y los múltiples beneficios que otorga a la población en general.

El TRIGA Mark III del ININ cuenta con la Licencia de Operación de Instalaciones Nucleares, CNM-002, expedida por la Secretaría de Energía, y con un Certificado ISO 9001:2000. La investigación y experiencia obtenida en el reactor TRIGA Mark III sirvió al ININ para ser elegido en el proceso de licenciamiento para reabrir un reactor de investigación en Colombia, así como el diseño y construcción de la nueva consola de control de dicho reactor en el año 2005.

El reactor produce el 100% del samario-153 (Sm-153) que se utiliza en el país para el tratamiento de cáncer de huesos. Múltiples instituciones educativas como la Universidad Nacional

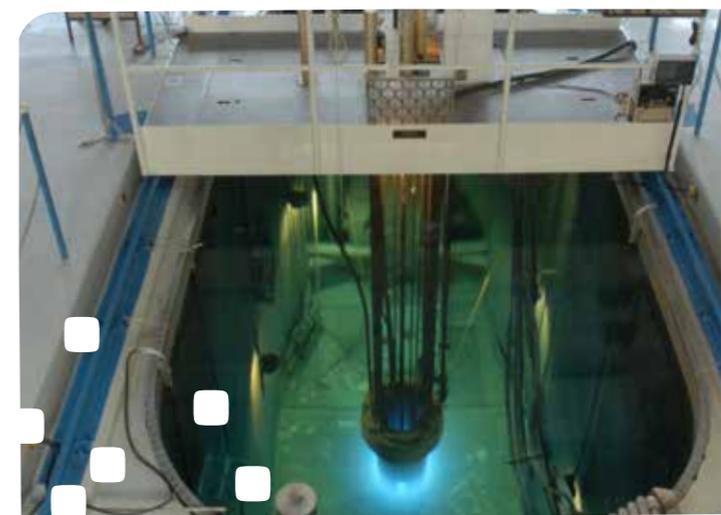
La fisión nuclear del uranio ha hecho posible la existencia de los reactores nucleares, ya que en estas instalaciones es posible iniciar y controlar una serie de fisiones nucleares auto-sostenidas. En los reactores, las reacciones en cadena se mantienen a un nivel casi constante, además por su diseño y las características de su combustible no puede explotar como una bomba nuclear. Las barras de control hacen posible modular las reacciones del reactor debido a su capacidad para absorber neutrones. Por ello, si se requiere apagar el reactor, simplemente se insertan las barras de control.

Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) o la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), han realizado colaboraciones con el ININ mediante el uso del reactor, particularmente para estudiantes de licenciatura y posgrado en el área nuclear.

En la actualidad se llevan a cabo tareas muy importantes para la renovación de la instalación del reactor. Los trabajos de modernización y actualización de sistemas de grúa viajera, red eléctrica, iluminación de la sala, sistema de ventilación, sistema general de monitoreo de radiación en toda la instalación, entre otros.

Todos estos cambios nos permiten asegurar que el reactor TRIGA Mark III tiene por delante muchos años más de trabajo en beneficio de la ciencia y la sociedad mexicana, tal como lo anhelaron nuestros fundadores.

El reactor TRIGA Mark III es pieza clave en el desarrollo de la investigación nuclear, ya que es una instalación única y estratégica en México, y América Central, este año cumple 50 años de trabajo constante.



Nabor Carrillo Flores y Carlos Graef

Estudió Ingeniería Geofísica y la Maestría en Ciencias con especialidad en Física en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y el Doctorado en Ciencias Nucleares en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Está orgulloso de sus hijos y de haber sido secretario general del Sindicato Único de Trabajadores de la Industria Nuclear (SUTIN).

Uno de sus personajes favoritos es el luchador "Santo, el enmascarado de plata". Algunas de sus canciones predilectas son *Obsesión*, *Sombras* y *Lágrimas de amor*, ya que le recuerdan su infancia, cuando solo las podía oír por radio. Su pasatiempo es la lectura. Además, es fanático del fútbol del equipo "Pumas". Su lado oscuro es la lucha libre. Le encanta dar clases. Admira a sus papás y al doctor Carlos Graef Fernández. Su mascota favorita es su borrego "Motita". Actualmente colabora en el Departamento del Reactor.



# GUARDIANES DE LA AGRICULTURA

## Uso de biofertilizantes



### EULOGIO DE LA CRUZ TORRES

La agricultura ha sido considerada columna vertebral de múltiples civilizaciones. Las culturas maya, olmeca y azteca sabían de su importancia, por ejemplo. En nuestro país, la agricultura es considerada una de las actividades con mayor relevancia, por ello hemos trabajado en el uso de biofertilizantes para el cuidado de la población y de la naturaleza.

En la cultura maya existían unos seres a los que denominaban genios, se encargaban de proteger los campos y las cosechas. Estos seres fueron nombrados “balames”, que significa jaguar en la lengua maya (también eran llamados *Nukuch-Uinik*, que significa hombre grande) y se les rendía tributo antes de comenzar la época de siembra.

Según la tradición popular maya hay cuatro “balames” ubicados en los puntos cardinales para proteger los cultivos. De acuerdo con otras interpretaciones de la cultura existía “Balam Quitzé” quien era el dios protector de los campos y las cosechas, era el primer hombre creado a partir del maíz.

La cultura maya tenía una fuerte consciencia del cuidado de la naturaleza y de la agricultura. Como un tributo a las culturas mesoamericanas, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) realizamos esfuerzos para revertir el panorama desalentador que sufre la naturaleza y el ambiente.

La agricultura es una actividad que nos ha acompañado desde el establecimiento de las primeras civilizaciones, sin embargo el procedimiento ha cambiado y se ha vuelto más complejo.

Uno de los elementos que ha potenciado la agricultura es el uso de fertilizantes.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) la demanda mundial de fertilizantes en 2015 fue de 184 millones de toneladas y se prevé que en 2020 esa cantidad aumente a 201 millones de toneladas, especialmente de fertilizantes que usan componentes con base en nitrógeno (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio (K<sub>2</sub>O).

Se considera que la demanda mundial de fertilizantes crecerá a un ritmo de 1.9% en los próximos años. En México el consumo promedio de fertilizantes es de 4.68 millones de toneladas anualmente, cerca de la mitad de esos fertilizantes es importada.

Sin duda alguna, los fertilizantes son elementos fundamentales en la agricultura, ya que son una herramienta importante para la producción de los cultivos, constituyendo el 23% en el caso del maíz.

**Mediante la aplicación de fertilizantes se reemplazan los nutrientes que las plantas toman del suelo, sin embargo su uso excesivo implica desperdicio y contaminación de los recursos naturales, como el agua y el suelo.** Por otra parte, la deficiencia en aplicación de fertilizantes (como ocurre en varios países de Latinoamérica y el Caribe), hace que los elementos tomados del suelo no se reestablezcan, en consecuencia comienza una degradación en la calidad del suelo y se reducen sus rendimientos.

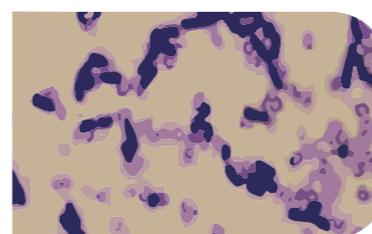
Por suerte para la población y el ambiente existen diversas prácticas para mantener la fertilidad

y buenas condiciones del suelo, tales como la rotación de cultivos, aplicación de abono orgánico y especialmente el uso de biofertilizantes.

**Un biofertilizante es un producto que contiene microorganismos vivos** que al aplicarse en semillas, superficies vegetales o suelos colonizan la rizósfera (parte del suelo inmediata a las raíces vivas) o el interior de las plantas, promoviendo el crecimiento mediante el aumento del suministro o disponibilidad de macronutrientes.

Una de las principales virtudes de los biofertilizantes es que incrementan directamente la fertilidad del suelo, añadiendo nutrientes, ya sea mediante la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, solubilizando el fósforo o estimulando el crecimiento de las plantas mediante la síntesis de sustancias promotoras del crecimiento (auxinas, giberelinas y citocininas).

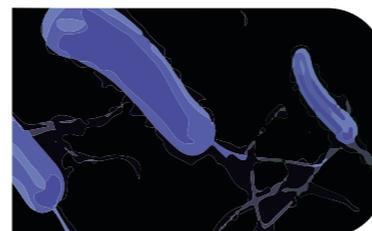
### Tipos de biofertilizantes



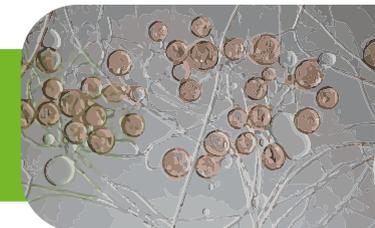
- Fijación del nitrógeno. Microorganismos de vida libre como *Azotobacter* y *Clostridium*, simbióticos como *Rhizobium*, así como de tipo asociativo como el *Azospirillum*.



- Biofertilizantes solubilizadores de fósforo. Bacterias de la especie *Bacillus megaterium* y algunos hongos de los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*.

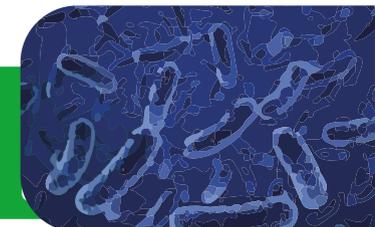


- Biofertilizantes movilizadores de fósforo. Micorrizas (*Glomus* sp., *Laccaria* spp y *Rhizoctonia solani*).



- Reguladores de crecimiento. Bacterias *Pseudomonas fluorescens*.

- Biofertilizantes productores de micronutrientes. Bacterias *Bacillus* sp. que se encargan de solubilizar silicatos y zinc.



Las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas y los hongos micorrízicos (organismos del suelo que viven simbióticamente con la mayoría de plantas), permiten aumentar la productividad a bajo costo, sin causar daño ambiental. Por ello, uno de los aspectos importantes en la producción de biofertilizantes es la selección de los microorganismos nativos de la región, en la cual se considera deben aplicarse biofertilizantes. Si en la región de cultivo predomina la sequía o salinidad es conveniente aislar las cepas

de suelos con estas condiciones. De esta manera hay más posibilidades de establecimiento y multiplicación de los microorganismos benefactores, lo que permitirá un mayor beneficio para la planta.

El objetivo principal del proyecto es la investigación y desarrollo de biofertilizantes, a partir de bacterias *Azospirillum* sp aisladas de la localidad “El Durazno”, perteneciente al municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

# LA BONDADOSA HOJITA DULCE

Mejoramiento genético de la estevia

AGRICULTURA



Una de las principales problemáticas de “El Durazno” es que sus suelos son muy pobres y prevalecen condiciones de sequía, lo que dificulta gravemente el desarrollo de la agricultura.

La cepa de *Azospirillum* se ha caracterizado morfológicamente y se ha multiplicado, acondicionándose como biofertilizante en perlas de alginato. Se ha comprobado la alta efectividad de la cepa, aplicada como biofertilizante en cultivos como huauzontle, amaranto y maíz.



Actualmente, la investigación desarrollada en el ININ se orienta a optimizar la técnica de producción de biofertilizantes a corto plazo, para convertir la técnica en la alternativa principal de los productores de regiones donde prevalecen condiciones de sequía y baja disponibilidad de nutrientes del altiplano mexicano.

Además, este año dio inicio el proyecto regional auspiciado por la división conjunta de la FAO y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), de Técnicas Nucleares en la Alimentación y Agricultura: “Mejoramiento de prácticas de fertilización en cultivos de importancia regional mediante el uso de genotipos eficientes en la utilización de macronutrientes y bacterias promotoras del crecimiento”. En el proyecto participan múltiples países de Latinoamérica y el Caribe (entre ellos México) y su objetivo es mejorar y promover una agricultura sustentable.

El impacto positivo de la tecnología nuclear aplicada en el sector de la agricultura es de suma trascendencia. El aumento de la conciencia ecológica facilitará la generación de alternativas de producción sustentable donde los biofertilizantes son una pieza clave. Mejorar tecnológicamente las características de la naturaleza y al mismo tiempo cuidar de ella es posible gracias a la ciencia nuclear.



EULOGIO DE LA CRUZ

Estudió la Ingeniería en Agronomía con especialidad en Industrias Agrícolas en la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), la Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, y el Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales ambos en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Está orgulloso de haber recibido la Presea “Ignacio Manuel Altamirano”, que otorga la UAEM por sus estudios de Maestría.

Su personaje favorito es Kalimán “el hombre increíble”. La canción que más le gusta es *Cherish the love* de Kool and the Gang, porque invita a apreciar cada momento de la vida. Admira a Abraham Lincoln y Albert Einstein. Su mascota favorita fue su perrito de la infancia al que nombró “Chiflido”.

## JOSEFINA GONZÁLEZ JIMÉNEZ



Gracias al fitomejoramiento es posible modificar las características de las plantas y de las frutas, para favorecer su desarrollo en cualquier entorno. Conoce el caso de fitomejoramiento a la estevia, que tiene el objetivo de incrementar su variabilidad mediante la aplicación de radiación gamma.

Nuestro planeta se ha ido transformando a lo largo de miles de años, lo que ha provocado que las condiciones ambientales también sean cambiantes. Esto ha dado lugar a que todos los organismos, incluyendo los seres humanos, desarrollen nuevas estrategias para subsistir y adaptarse al medio que los rodea.

Los científicos han trabajado para acelerar estos procesos de adaptación mediante el desarrollo de diferentes estrategias. Una de ellas es el fitomejoramiento por mutagénesis, la cual promueve la aparición de plantas o variedades vegetales mejoradas, siempre y cuando tengan la capacidad de hacer frente a los distintos tipos de estrés que las aquejan o mejorar su producción agrícola.

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se ha utilizado la radiación gamma para inducir mutaciones en las plantas y lograr que los individuos puedan expresarlas y heredarlas a las siguientes generaciones. De este modo, en colaboración con instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México y el Colegio de Posgraduados, el ININ ha logrado generar nuevas variedades de trigo, soya, cactáceas, rosas y pinos, que contribuirán al desarrollo agrícola, silvícola y de horticultura de ornato en nuestro país, contribuyendo a los grandes problemas del campo mexicano.

En este espacio te hablaremos de una planta que en la década pasada llegó a nuestro país y que, a solicitud de algunos productores mexicanos, el ININ incluyó recientemente en su programa de fitomejoramiento.

La *Stevia rebaudiana Bertonii* (nombre científico de la estevia) es una planta herbácea perenne subtropical de origen sur americano, que por muchos años fue utilizada por los aborígenes guaraníes para endulzar sus bebidas y medicamentos. La estevia fue descubierta y clasificada por Moises S. Bertonii, hacia 1899 y en 1900 se determinó que **las hojas poseían unas sustancias del tipo glucósido diterpenoide denominadas eteviósidis**. Actualmente, se sabe que además de esteviósidos, contienen rebaudiósidos A, B, C, D y E; dulcósido A, y esteviolbósido. El esteviósido proporciona de 250 a 300 veces más dulzor que el azúcar normal. Las hojas además contienen ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno, cromo, cobalto, magnesio, hierro, potasio, fósforo, riboflavina, tiamina, estaño y zinc.





De las 300 especies estudiadas del género *Stevia*, *Stevia rebaudiana* Bertoni es la más dulce, siendo la variedad "morita" la más comercializada.

A pesar de que los esteviósidos han sido consumidos en Japón desde hace 50 años, fue hasta los años 2008 y 2011 que los mercados americanos y europeos la incorporaron a sus alimentos. En México el primer cultivo comercial de estevia se reportó en Quintana Roo y Yucatán. Con el tiempo se han ido adicionando otros estados siendo Sinaloa el mayor productor.

#### BENEFICIOS DE ESTEVIA

Los estudios científicos han comprobado que la estevia es un alimento completamente seguro para el consumo humano, inclusive por pacientes diabéticos, pues tiene la capacidad de reducir el azúcar en la sangre y es útil como anticaries.

Por ejemplo, se ha encontrado que tanto el polvo de las hojas como los extractos de esteviósidos pueden regular el nivel de glucosa en la sangre de ratas diabéticas. Esto se debe a que **los esteviósidos regulan el incremento en la secreción de la glucosa** en los tejidos periféricos y los músculos de las ratas diabéticas. Otros estudios demuestran que las ratas que consumen esteviósidos, presentan bajos niveles de triglicéridos.

Respecto a su uso como anticaries, primero recordemos que la caries dental se produce cuando las bacterias de la boca están expuestas a carbo-

hidratos fermentables, como el azúcar. **Aunque la estevia es dulce, no contiene carbohidratos fermentables.** En un estudio, 10 voluntarios se enjuagaron la boca durante un minuto con soluciones de sacarosa y otros 10 con extracto de estevia, y se midió el pH de la placa dental. Después de 5, 10, 15 y 30 minutos, el enjuague con sacarosa acidificó la placa dental, lo cual propicia el establecimiento y propagación de las bacterias comparado con la expuesta a los extractos de estevia.

#### POR QUÉ SE QUIERE MEJORAR

La estevia es una planta de clima tropical o subtropical, con necesidad de grandes cantidades de luz, temperaturas entre los 18 y 34°C y altitudes no mayores a los 1500msnm. Es posible cultivarla en otras zonas, sin embargo, la producción de su semilla disminuye y sube el porcentaje de semillas no viables (que no germinan). Además, el nivel de esteviósidos disminuye notablemente por el estrés al que se someten cuando crecen en condiciones diferentes.

Al ser una planta con tantas bondades, los productores de cada región requieren de variedades cultivables en su zona y que estén adaptadas a esas condiciones ambientales particulares. En México, la producción de estevia generalmente no es por medio de semillas por lo que debe producirlas por cultivos artificiales. Desgraciadamente, muchos campesinos desconocían las características de la estevia y produjeron organismos similares o del mismo género, pero que al final no eran estevias verdaderas.

#### LA STEVIA EN EL ININ

Como te comenté al inicio el ININ incorporó en su programa de Fitomejoramiento a la estevia, con el objetivo de incrementar su variabilidad mediante la aplicación de radiación gamma y lograr obtener un organismo propio para su fácil reproducción masiva en México. Los resultados hasta el momento han sido:

La variabilidad genética se refiere a la diversidad (versatilidad) en las frecuencias de los genes. También puede referirse a las diferencias entre individuos y/o poblaciones.



#### Resultados del programa de fitomejoramiento de la estevia en el ININ



Como habrás visto, la estevia es una planta que puede ayudarnos en el tratamiento de algunas enfermedades relacionadas con el nivel de azúcar en la sangre, disminuyendo los costos asociados al sistema de salud en nuestro país.

Y lo mejor de todo, es que con el uso de técnicas nucleares, podemos mejorarla y aprovecharla de manera limpia y sustentable.

JOSEFINA GONZÁLEZ  
JIMÉNEZ

Estudió la Licenciatura en Biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Está orgullosa de México, de su familia y de colaborar en el Departamento de Biología del ININ.

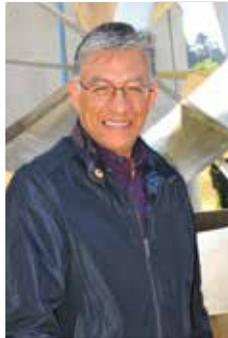
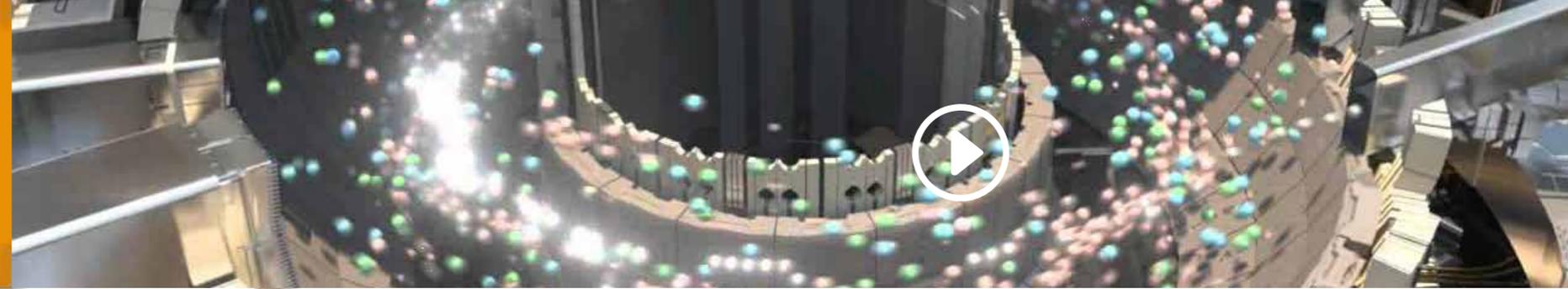
Sus personajes mitológicos favoritos son Ulises y Hércules, además disfruta mucho de *La Odisea*. Su canción predilecta es *Nos vamos juntos* de Caifanes, ya que habla del amor de pareja sin importar la edad. Sus pasatiempos son estar con su familia, hacer ejercicio y ayudar a múltiples asociaciones. Admira a personajes como Charles Darwin y Aristóteles. Le encantan los superpoderes de la Mujer maravilla. La mascota que más ha querido es su perrito "Pupy" (ahora tiene 15 años).





# ENERGÍA INFINITA

La fusión nuclear controlada como alternativa energética



## CÉSAR ROMEO GUTIÉRREZ TAPIA

Satisfacer la necesidad energética del mundo es una tarea exigente y cada vez más urgente. Actualmente, las fuentes alternativas de energía tienen una baja eficiencia y su producción no se da a gran escala. Por suerte existe un proyecto que planea usar el proceso de fusión nuclear —el mismo que le da vida a las estrellas— para iluminar nuestras vidas.

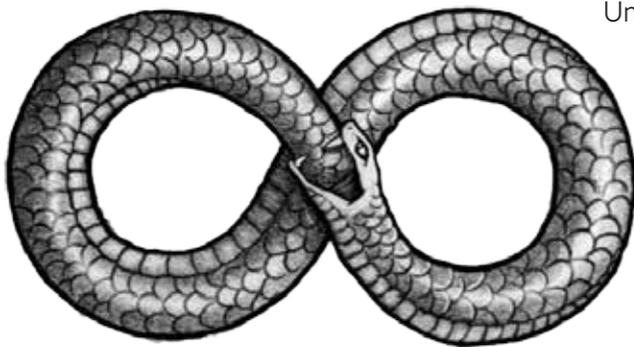
Hasta el día de hoy se considera que el universo es ilimitado. Y es impresionante pensar que existimos en un espacio que alberga un sinnúmero de escenarios y secretos por descubrir. Uno de los componentes del universo y que mantiene una característica similar es la energía, ya que de acuerdo con la segunda ley de Newton “no se crea ni se destruye, sólo se transforma”.

La energía que proviene de las estrellas se basa en el proceso de fusión nuclear (que más adelante te explicaré), lo que le confiere la particularidad de ser infinita. ¿Qué entendemos por infinito? En pocas palabras puede ser (desde la perspectiva de la matemática o la filosofía) todo aquello que no tiene límites.

En antiguas civilizaciones, como Grecia y Egipto, se cuestionaban el fenómeno de lo infinito. El ejemplo principal es el *uróboros*, un símbolo descrito como una serpiente que engulle su propia cola y configura con su organismo una forma circular. El *uróboros* simboliza el ciclo eterno presente entre la existencia y el infinito.

La cultura nórdica cuenta con su propio ser mitológico que representa el infinito, es la serpiente *Jörmundgander*, que creció tanto que rodeó el mundo y mordió su propia cola. Tanto el *uróboros* como el *Jörmundgander* fueron símbolos que precedieron el concepto filosófico que posteriormente sería aplicado por el matemático John Wallis en sus estudios de cálculo infinitesimal e incluso acuñó el popular símbolo del infinito  $\infty$ .

**El universo es un ente vivo, ya que se encuentra en constante evolución. Existe y cambia constantemente, pues su fuente energética básica consiste en la unión de partes elementales de la materia que forman compuestos más pesados. Este proceso es llamado fusión nuclear.** La energía que se encuentra en el universo es imponente. No se compara para nada con la que solemos utilizar en la Tierra. ¿Te imaginas que pudiéramos manipular la energía del universo (infinita) a nuestra conveniencia? Pues debo decirte que en realidad es una posibilidad muy cercana.



Una de las fuentes alternas con mayor potencial y poco impacto en el calentamiento global es justamente la fusión nuclear controlada. Pero antes de contarte qué es la fusión nuclear es importante preguntarnos ¿por qué la energía del sol es tan inmensa que ha durado por millones de años y todavía tenemos otros millones de años para seguirla disfrutando?

La fusión nuclear es el proceso de transformación de dos núcleos de átomos ligeros en un núcleo más pesado, mediante un fenómeno colisional en el que se acercan las partículas a pequeñas distancias y surge un proceso cuántico conocido como efecto túnel (donde una

partícula quebranta los principios de la mecánica clásica penetrando una zona mayor que su propia energía cinética). La energía generada por el efecto túnel está concentrada (en un gramo de materia hay millones de átomos), por ello un poco de combustible produce una cantidad altísima de energía.

Este tipo de reacciones son de tipo nuclear y también se pueden dar en otros elementos, hasta alcanzar el límite del hierro, que es el elemento más estable. Algunas de las ventajas principales de la energía obtenida de la fusión nuclear es que es ilimitada, segura y no genera residuos de carbón, lo cual es un respiro para el planeta.

**La fusión nuclear es la fuente de energía más importante del universo, se encuentra en las estrellas como el sol,** en donde el combustible son los átomos ligeros que al reaccionar forman elementos más pesados. En consecuencia, se produce la energía que recibimos en forma de radiación. El proceso involucra elementos ligeros, tales como el hidrógeno, que al fusionarse forma elementos más pesados como el helio. Este proceso produce grandes cantidades de energía. En este caso el hidrógeno y sus

isótopos (deuterio y tritio) se unen para formar un núcleo más pesado (helio).

El sol, como toda estrella, contiene un gas muy caliente en estado de **plasma** que a su vez contiene átomos neutros y con carga eléctrica.

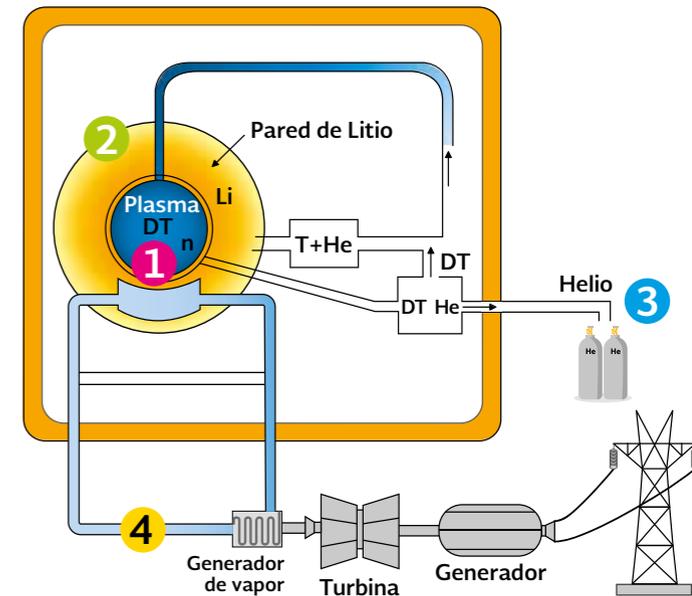
El plasma es un estado de la materia en el que prácticamente todos los átomos están ionizados y con la presencia de una cierta cantidad de electrones libres no ligados a ningún átomo o molécula. Es un estado muy complejo debido a las interacciones eléctricas de gran alcance que presenta. Por ello es bastante inestable, por lo que no es fácil mantenerlo en un solo lugar por tiempos suficientemente largos como para producir muchas reacciones de fusión.

A temperaturas muy altas surgen partículas con carga eléctrica, las cuales solo se pueden confinar por un campo magnético, si este es muy intenso la partícula cargada quedará atrapada en una órbita circular.

Básicamente, la investigación enfocada en fusión nuclear intenta emular en un laboratorio los procesos que ocurren en el sol.

### Funcionamiento de un reactor de fusión

- 1 La energía que se obtiene de la reacción de fusión deuterio (D) -tritio (T) es transportada por un flujo de neutrones y se deposita en una pared de litio.
- 2 Por una nueva reacción entre el litio y los neutrones de la reacción D-T se genera un núcleo de helio-4, un núcleo de tritio y energía contenida en otro flujo de neutrones.
- 3 El helio-4 se extrae y se almacena.
- 4 La energía transportada por los neutrones de la reacción con litio, se extrae por un intercambiador de calor (proceso colisional) hacia un generador de vapor, este vapor se utiliza en una turbina que a su vez generará electricidad.



**Existen dos formas eficientes de mantener reacciones de fusión mediante átomos ligeros:**

• **Confinamiento inercial:** compresión por medio de láseres de alta potencia de una cápsula de plasma.

• **Confinamiento magnético:** calentar el gas a una temperatura de millones de grados (energía cinética promedio), de tal manera que el movimiento térmico logre, al mismo tiempo, el acercamiento suficiente entre átomos y confinarlo con un campo magnético.

El reto al que se enfrenta la humanidad en la búsqueda de una fuente de energía infinita es que al emular el proceso de fusión nuclear, el estado en que se presenta la energía (plasma) es muy difícil de manejar, debido a las interacciones eléctricas de gran alcance que tiene. Para avanzar en el proyecto es necesario entender el plasma y controlarlo.

Uno de los principales objetivos es crear un reactor que produzca más energía de la que se utiliza para encender el plasma y confinarlo. El proceso de fusión tiene la dificultad de confinar adecuadamente el plasma para evitar pérdidas por el transporte de sus partículas hacia las paredes del reactor, lo que origina desaprovechamiento de energía y el desprendimiento de impurezas.

Actualmente, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se llevan a cabo

estudios teóricos de fusión nuclear en colaboración con el Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat) de España y el Instituto Kurchatov de Rusia.

Algunas de las herramientas más útiles que se han creado con el propósito de confinar la energía de la fusión son los sistemas toroidales (en forma de dona), de los cuales el más avanzado es el tokamak (que en ruso significa cámara toroidal y bobina magnética). Se han creado varios tokamaks alrededor del mundo para estudiar el plasma.

En 1978 comenzó el proyecto mexicano de fusión termonuclear, por ello en 1983 se propuso el diseño de una pequeña máquina experimental llamada "Novillo", un tokamak diseñado y construido en el ININ. Gracias a este proyecto fue posible aumentar la investigación en física de plasmas en el ININ.

Contar con una fuente de energía de fusión todavía parece lejano e incluso una utopía, pero resultados recientes de la investigación generada en los tokamaks permite acercarnos a la meta de satisfacer la demanda energética y así enfocarnos en resolver otras problemáticas igual de importantes para la humanidad.

Más detalles del proceso de fusión en [pág. 28](#)

**ARTURO ÁNGELES CARRANZA**

Una de las problemáticas actuales más señaladas es la seguridad. El contrabando y tráfico ilícito se da en múltiples sectores. Hay tráfico de drogas, armas, dinero, materiales e incluso personas. Este fenómeno se ha incrementado en las últimas décadas, pero con la tecnología nuclear podemos contribuir a ponerle un alto.

Aunque el tráfico ilegal siempre ha existido, podríamos decir que ha evolucionado de acuerdo con múltiples factores, entre ellos, la globalización. Cada año las empresas pierden mucho dinero derivado del tráfico ilícito, ante la aparición de productos robados y reetiquetados. Por ello, existe la necesidad de inspeccionar los cargamentos que son transportados en vehículos terrestres, marítimos y aéreos. Con este propósito se han desarrollado dispositivos denominados **sistemas de inspección no invasiva (NIIS**, por sus siglas en inglés). Su objetivo es detectar irregularidades en los vehículos y contenedores que transportan mercancías, en poco tiempo y con un alto grado de precisión.

En nuestro país, estos sistemas son ampliamente usados por las fuerzas armadas, la policía de caminos y las autoridades aduanales, entre otras instituciones. El uso de los NIIS ha sido de mucha utilidad, ya que ha permitido interceptar contrabando de armas, dinero y personas.

La radiación tiene la propiedad de penetrar en los materiales en función de su energía, la densidad y tipo de material, además del espesor de éste, entre otros factores. Un NIIS tiene la particularidad de funcionar de manera similar a un equipo de rayos X de uso médico, equipos con los cuales estamos más familiarizados con respecto a la reconstrucción de la imagen.

Es importante destacar que los materiales menos densos permiten que la radiación electromagnética pase con mayor intensidad. Es por ello que los detectores captan más información



diferenciada formando una imagen mediante complejos sistemas de construcción de imagen. Los NIIS son fabricados bajo diferentes configuraciones con múltiples propósitos. Existen sistemas móviles que pueden ser desplazados en autopistas o sistemas fijos colocados en aduanas o puertos.

Para que el uso de la radiación ionizante sea el adecuado en los arcos gamma, el especialista necesita tener conocimientos enfocados en protección radiológica para el manejo del equipo, ya que el uso inadecuado puede ocasionar daños a la salud.

Con respecto a las cuestiones de seguridad radiológica, la dosis ambiental de los sistemas NIIS en operación es menor a un microsievert por hora (1  $\mu\text{Sv/h}$ ), [el sievert es la unidad de dosis equivalente que cuantifica el daño en te-

Estudió la Licenciatura, la Maestría y el Doctorado en la Universidad Rusa "Amistad de los Pueblos" en Moscú, Rusia.

Se siente orgulloso del éxito de sus hijas. Su canción favorita es *¿Dónde pongo lo hallado?* de Silvio Rodríguez, ya que la relaciona con la visión que tiene sobre la naturaleza y la sociedad, propiciada por sus conocimientos en física. Sus pasatiempos son el ecoturismo, y la lectura de libros de filosofía y literatura. Algunos de los científicos a quienes admira son Lev Landau y Richard Feynman, por su dominio de todas las áreas de la física. La mascota que más ha querido es su perro "Ruffo". Actualmente, colabora en el Departamento de Física del ININ.





jido humano por exposición a la radiación ionizante] y en la cabina del operador menor a 1 mili sievert por año, por lo que cumplen con las recomendaciones de la publicación 103 de la Comisión Internacional de Protección radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés) en cuanto al límite recomendado de exposición a la radiación ionizante.

En México, los sistemas de inspección no invasiva deben contar con una autorización para el uso y posesión de material radiactivo o dispositivos generadores de radiación ionizante. La autorización es expedida por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), que es el órgano regulador en materia nuclear en México. La licencia expedida a alguna institución o compañía exige la designación de un encargado de seguridad radiológica que cumpla con los requisitos establecidos por la normativa vigente y cuente con un curso avanzado en protección radiológica, autorizado por la CNSNS, y que se imparte en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

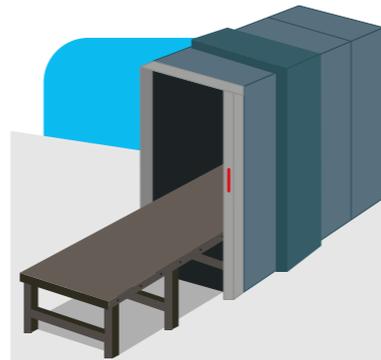
Trabajadores del Departamento de Protección Radiológica del ININ han impartido conferen-

cias, asesorías y pláticas a personal encargado del manejo y operación de los sistemas de inspección no invasiva, así como a colaboradores del Sistema de Administración Tributaria (SAT), de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), a la Policía Federal y a personal de algunos aeropuertos, como el de Toluca, entre otros.

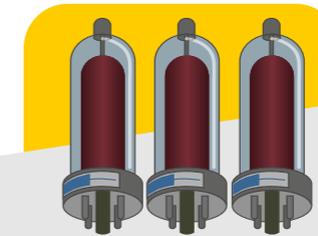
Uno de los objetivos que se plantea conseguir en un futuro cercano es optimizar las imágenes obtenidas por los NISS, en cuanto a la resolución espacial de la imagen, con la menor dosis de radiación y mejores sistemas de detección. También existen otro tipo de sistemas capaces de detectar materiales nucleares y radiactivos mediante diferentes principios de detección y técnicas nucleares, como la neutrografía (que emplea neutrones en lugar de rayos gamma).

Todos los sistemas de inspección son un buen ejemplo de la aplicación práctica y benéfica de la radiación ionizante. Es por ello que la tecnología nuclear es una de las herramientas más útiles en la búsqueda de un futuro que propicie la seguridad de toda la población.

Funcionamiento de los sistemas de inspección no invasiva (NIIS)



a) Una fuente de radiación ionizante electromagnética (la radiación ionizante es aquella que tiene la energía suficiente para desprender electrones del material con el que interacciona), generalmente radiación gamma con fuentes de cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ), cesio-137  $^{137}\text{Cs}$  o bien un generador de rayos X.



b) Opuesto a la fuente, se sitúa un sistema detector de radiación que consiste en un arreglo matricial de material luminiscente (tipo de materiales que tienen la propiedad de emitir luz con una longitud de onda cercana a la luz ultravioleta), y cuando la radiación ionizante interacciona con este tipo de material, esa luz es captada por dispositivos electrónicos llamados tubos fotomultiplicadores para la construcción de imagen.



c) Además se cuenta con un subsistema de manejo y control del haz de radiación donde se puede analizar la imagen. Éste se encuentra ubicado ya sea en un vehículo o en una pequeña oficina a un lado del sistema. Entre la fuente y el detector se tiene un espacio suficiente para que pueda ubicarse el vehículo o contenedor que será inspeccionado.



Arco fijo en una aduana



Sistema móvil en un camino

ARTURO  
ÁNGELES CARRANZA

Estudió la Licenciatura en Física en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Maestría y el Doctorado en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Se siente orgulloso de su familia y amigos, así como de ser mexicano y contribuir al desarrollo de México, a través de su trabajo en el ININ.

Su personaje favorito es Sherlock Holmes y su canción predilecta es *Because*, de Dave Clark Five, por su simplicidad y armonía. Admira a Nikola Tesla y a Pericles. Actualmente, colabora en el Departamento de Protección Radiológica del ININ.





# EN BUSCA DE DAÑOS ESTRUCTURALES

Ensayos no destructivos en inspección de edificaciones



## EDUARDO FRANCISCO ROBLES PIEDRAS

Mediante la aplicación de ensayos no destructivos (END) es posible llevar a cabo estudios para medir el estado en que se encuentran las edificaciones afectadas, por fenómenos naturales como los movimientos telúricos e incluso encontrar personas atrapadas entre estructuras colapsadas por los sismos.

Diariamente estamos expuestos a los fenómenos naturales. Según la región donde nos encontremos podemos ser testigos de maremotos, tifones, deslaves y temblores. El 19 de septiembre de 1985, por ejemplo, la Ciudad de México sufrió uno de los sismos más intensos de su historia, que además de cobrar muchas vidas, dejó daños estructurales en varios inmuebles en la capital del país.

Se han aplicado diferentes técnicas para solventar las problemáticas causadas por los sismos. Una de ellas, sumamente eficiente, son los ensayos no destructivos (END), que se definen como el desarrollo y aplicación de métodos técnicos para inspeccionar materiales o componentes de

forma segura. Así, a través de los END es posible detectar, localizar, medir y evaluar las discontinuidades (falta de continuidad o cohesión de la estructura física o configuración de un material o componente).

La información que arrojan los END permite a los directores responsables de obra (DRO) evaluar la integridad estructural de una edificación civil o industrial. Además es posible contar con mayor información sobre el estado real en que se encuentran los materiales y componentes de la estructura estudiada. **También es posible determinar:**

- **Existencia de fracturas** (tipo, ubicación y orientación) en componentes estructurales, como cimentaciones, muros de carga y columnas.
- **Revisión de la memoria de cálculo y los planos de diseño y construcción** (en caso de existir esa información). Esto le permite conocer las especificaciones de los materiales como tipo de concreto empleado, tipo de acero, espesores, distribución geométrica, disposición, entre otros.

Los END se clasifican en dos grupos: los **métodos volumétricos** que permiten identificar y caracterizar discontinuidades internas en los materiales, y los **métodos superficiales** que detectan discontinuidades superficiales o subsuperficiales.

México, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), es el país que lidera actualmente el proyecto regional de cooperación técnica del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (AR-



La información que arrojan los Ensayos no destructivos permite evaluar la integridad estructural de una edificación civil o industrial y el estado real en que se encuentran los materiales de la estructura estudiada.



### Métodos superficiales

Empleo de drones. Inspección visual en tercera dimensión a control remoto.



Estaciones de escaneo láser. Recolectan millones de puntos georeferenciados, para dimensionar con gran precisión daños en columnas y muros estructurales de forma remota. La aplicación de esta tecnología disminuye los riesgos de accidentes al personal de inspección.



Cámaras de termografía infrarroja. Utilizada en la búsqueda de personas atrapadas en construcciones colapsadas. Al visualizar la imagen térmica del calor corporal, se puede determinar la ubicación de las personas.



### Métodos volumétricos

Radiografía digital, mediante la aplicación de rayos gama o rayos X.



Método de georadar, que utiliza microondas para determinar espesores de capa de concreto, ubicar y dimensionar las varillas de refuerzo, así como diversas discontinuidades internas en el concreto, como porosidades, fracturas y concavidades, cuya presencia puede disminuir la resistencia del concreto.



CAL), apoyado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y en el cual se tiene la colaboración de otros 10 países de la región.

Mediante este proyecto se tiene contemplada la implementación de laboratorios regionales de END para apoyar a los países de Latinoamérica en la evaluación de la integridad estructural de construcciones civiles e industriales que hayan sido afectadas por situaciones de emergencia, como sismos, huracanes, etc.

También la donación de equipamiento, capacitación del personal y fortalecimiento de los sistemas de certificación de inspectores.

Al incrementar nuestra capacidad para generar mayor información técnica se logran dictámenes más confiables de las estructuras civiles e industriales, y así responder de una mejor manera ante las situaciones de emergencia y proteger a la población.

## EDUARDO FRANCISCO ROBLES PIEDRAS

Estudió la Ingeniería en Química Metalúrgica en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales en el Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Está orgulloso de su familia y de su colaboración en el ININ.

Su leyenda favorita es el origen de la gran Tenochtitlan. La canción que más le gusta es *Canción del elegido*, de Silvio Rodríguez, ya que la llamada *Nueva Trova* fue una parte importante en sus años de juventud y en su proceso de madurez intelectual y como persona. Su pasatiempo es disfrutar del cine en casa junto a su familia, además de leer noticias. Admira a Cuauhtémoc, el último tlatoani mexica. La mascota que más quiere actualmente es el perrito "Conor".





# CUIDAR LA SALUD DEL AGUA

Desinfección del agua por plasmas no térmicos



## BENJAMÍN GONZALO RODRÍGUEZ MÉNDEZ

El agua constituye el líquido más abundante que hay en el planeta Tierra. Ocupa un poco más del 70% de su extensión. No sólo es el origen de la vida, también es un ecosistema, un elemento y un recurso necesario en la vida diaria. Un recurso tan valioso como el agua debe ser cuidado al máximo y gracias a la tecnología de plasmas podemos hacerlo.

El agua representa el recurso natural más valioso con el que contamos y la base fundamental de toda forma de vida. Más del 80% de la totalidad de los organismos necesitan del agua, incluso interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos. Los papeles que desempeña en procesos como la fotosíntesis o en el hábitat para un gran número de organismos.

A pesar de la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, muy poca agua es utilizada para el consumo humano. De la totalidad del agua, el 90% es agua de mar (la cual no es directamente utilizable), el 2% es hielo y está en los polos norte y sur, y sólo el 1% es agua dulce. Esta se encuentra en ríos, lagos y mantos subterráneos.

Por desgracia, la contaminación causada por los afluentes domésticos e industriales (descargas residuales), la deforestación y las prácticas del uso del suelo, reducen notablemente la disponibilidad del agua utilizable.

El agua que es adecuada para beber es el agua potable, y se denomina así cuando cumple con determinados parámetros físicos y químicos (principalmente por su limpieza). Entre los contaminantes que puede tener el agua se encuentran distintas sustancias químicas, además de microorganismos.



La eliminación de los microorganismos (sobre todo, bacterias) del agua es de mucha importancia debido a que son un foco directo de enfermedades. Las bacterias patógenas que contaminan el agua causan enfermedades como cólera, gastroenteritis y diarrea. Y muchas de estas enfermedades pueden provocar la muerte.

Actualmente, una cuarta parte de la población mundial, cerca de mil 800 millones de personas (que habitan principalmente en los países en desarrollo) sufren escasez de agua limpia, lo que ocasiona que en el mundo haya más de 10 millones de muertes al año como consecuencia de enfermedades hídricas. La falta de control sobre los contaminantes que se vierten en el agua es un problema fundamental que debe arreglarse para modificar favorablemente nuestro futuro.

En el Laboratorio de Física de Plasmas, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se está trabajando **para resolver el problema de la contaminación del agua mediante la aplicación de plasmas no térmicos** (también llamados plasmas fríos) que son generados por descargas eléctricas a presión y temperatura ambiente.

El plasma es considerado el cuarto estado de la materia. Algunos ejemplos de plasma son las estrellas, los rayos y las auroras boreales.

## Diferentes métodos para eliminar los contaminantes del agua

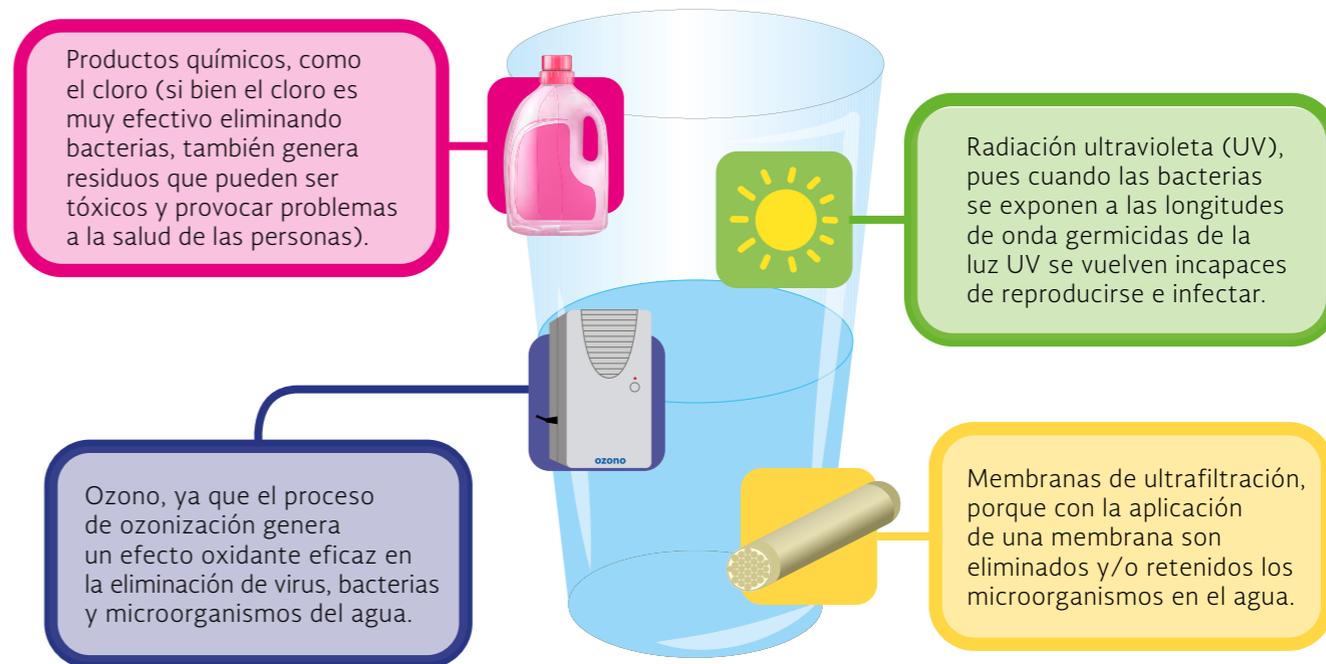


Fig. 1. Plasma no térmico en un reactor coaxial aplicado a la desinfección del agua.

De forma artificial, el plasma puede observarse en las soldaduras por arco eléctrico, las lámparas fluorescentes o los televisores de plasma. Es importante mencionar que los plasmas fríos son aquellos donde la temperatura global del plasma es prácticamente la temperatura ambiente.

**La producción del plasma se desarrolla al aplicar suficiente energía en un gas para provocar su ionización, y esto se puede hacer mediante campos eléctricos muy intensos** (lo que muchas veces se ve como una descarga eléctrica). El proceso mencionado se lleva a cabo en el Laboratorio de Física de Plasmas del ININ mediante fuentes de radiofrecuencia, de corriente directa, alterna o pulsada, acopladas a un par de electrodos donde se aplican potenciales eléctricos que alcanzan miles de voltios, produciendo plasmas de diferentes características.

El plasma no térmico es producido en un reactor coaxial (figura 1). Los plasmas generados por campos eléctricos intensos son capaces de



producir electrones, radiación UV y gran variedad de especies químicas. Estas características le confieren propiedades muy interesantes que son aprovechadas para eliminar microorganismos del agua. En particular, las especies químicas generadas pueden ser muy reactivas u oxidantes, tal es el caso del ozono, que es muy utilizado en procesos de desinfección de manera eficaz. Con el uso de esta tecnología es posible eliminar del agua más del 99% de varias clases de microorganismos, así como de diversos compuestos orgánicos.

Los últimos experimentos efectuados en el Laboratorio de Física de Plasmas del ININ han permitido la eliminación (sumamente eficiente) de diferentes tipos de bacterias, utilizando un reactor de descargas de barrera dieléctrica. A través de este sistema se ha logrado la desinfección de agua contaminada con diferentes concentraciones bacterianas, desde mil hasta un millón de bacterias por mililitro, con lo que se ha demostrado su efectividad.

Debido a que la densidad del agua es mayor que la de un gas, las descargas eléctricas generadas directamente en el agua resultan complejas, debido a que la aceleración de los electrones es limitada y por ello se requiere una mayor cantidad de energía para llevar a cabo una colisión de partículas.

Se han generado nuevos sistemas que minimizan las dificultades que se han mencionado, un ejemplo, son los plasmas generados sobre la superficie del agua (figura 2), que se caracterizan por tener un solo electrodo dentro del agua. Gracias a este procedimiento el plasma se desarrolla en la fase gaseosa del sistema y las especies químicas generadas son difundidas en la fase líquida.

Cuidar de la salud del planeta y de sus habitantes no es una tarea sencilla, pero es importante mantener una actitud propositiva y buscar soluciones para las problemáticas actuales.

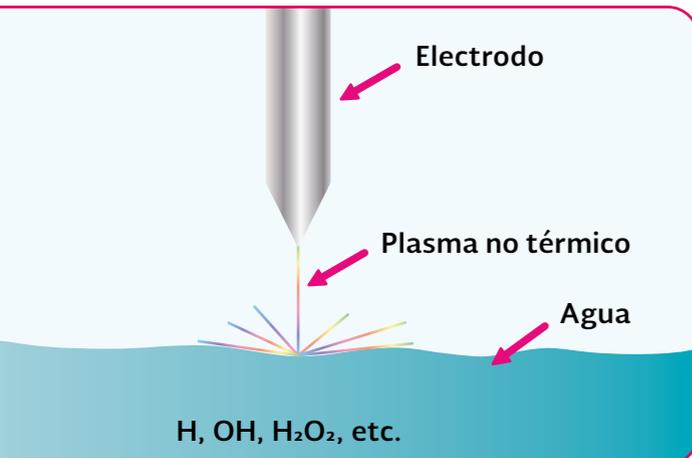


Figura 2. Esquema plasma no térmico sobre la superficie del agua.

BENJAMÍN GONZALO RODRÍGUEZ MÉNDEZ

Estudió la Licenciatura en Electrónica en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), la Maestría en Ciencias en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y el Doctorado en Ciencias en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT). También le hubiera gustado estudiar Medicina.

Se siente orgulloso de su familia y de hacer lo que más le gusta: la investigación científica. Su mito favorito es el del "Ave fénix", el ser mitológico que se consumía en fuego para luego resurgir de sus cenizas. Algunos de sus pasatiempos favoritos son leer y desarmar cosas para entender su funcionamiento. La mascota que más ha querido es su loro "Pepe". Actualmente, colabora en el Departamento de Física del ININ.



## MIGUEL BALCÁZAR GARCÍA

La fuerza de la naturaleza es inconmensurable y, entre la vasta gama de deformación de la corteza terrestre, se originan las fallas geológicas. Con la ayuda de la tecnología nuclear, particularmente con la detección de las emisiones de radón, es posible identificar las fallas geológicas, para estar mejor preparados ante posibles desastres, o también para aprovecharlas en nuestro beneficio.

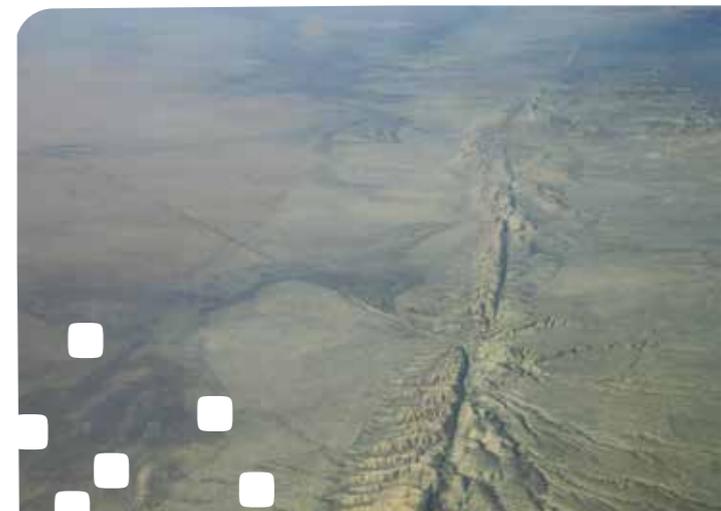
Las fallas geológicas son grietas de la corteza terrestre que ocurren de forma natural. Sus dimensiones son muy variadas. Pueden ser tan grandes como las resultantes por el desplazamiento de las placas tectónicas sobre un manto terrestre parcialmente fundido, modificando la geometría de los continentes a lo largo de varios millones de años. O pueden ser de algunos pocos kilómetros, dando lugar a fracturas locales de menores dimensiones.

Un ejemplo de gran desplazamiento tectónico es la falla de San Andrés, que tiene una longitud de 1,300 km aproximadamente y atraviesa el estado de California, en Estados Unidos, hasta el estado de Baja California, en México. Esta falla es causada por la intrusión de la placa del Pacífico en la placa de América del Norte, y hará que la península de Baja California se separe de México y se convierta en una isla. Pero no te preocupes, faltan millones de años para que eso ocurra.

Como imaginarás, la falla de San Andrés es una de las fallas geológicas más estudiadas en todo el mundo. Incluso, la han llamado "la falla más temida y peligrosa del mundo", ya que ha producido grandes y devastadores terremotos, por la elevada actividad sísmica que genera.

Con el apoyo del grupo de geofísica nuclear del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ha sido posible desarrollar un método para la localización de estas fallas geológicas, basado en la detección de un gas de origen natural, llamado radón, que sale espontáneamente de estas grietas de la corteza terrestre.

Con la ayuda de equipos electrónicos portátiles de muy alta sensibilidad se puede detectar el gas radón en grandes áreas, sin la interferencia de la posible presencia de otros gases. Cada medición de emisión de radón en el campo toma un poco más de una hora. Así que durante varios días es posible ubicar (satelitalmente) de 100 a 200 puntos de medición, separados entre 300 y 400 metros, y estudiar varios kilómetros cuadrados.



Falla de San Andrés





Los equipos para la detección de radón permiten:



Detección de fuentes de calor para la generación de energía geotérmica

La actividad volcánica genera zonas geotérmicas cuya fuente de calor localizada en el subsuelo del campo geotérmico calienta el agua infiltrada en la zona. Esta gran actividad geotérmica provoca un fracturamiento, así que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) perfora pozos cercanos a este tipo de fracturas, para extraer el vapor de agua y producir energía eléctrica. Así también aprovechamos, como puedes notar, este tipo de fenómenos naturales en nuestro beneficio.

Uno de los métodos para localizar las fuentes de calor es la determinación de estas fracturas en los campos geotérmicos, mediante la detección de radón. El ININ ha participado en la localización de este tipo de fracturas en campos geotérmicos con la CFE y todavía quedan más zonas por determinar, ya que **México es el cuarto productor de energía geotérmica mundial.**

La metodología de radón aplicada en la detección de fuentes de calor la hemos exportado al extranjero, y en colaboración con el Instituto de Investigaciones Eléctricas y Energías Limpias (IIE) se han localizado las fracturas asociadas a campos geotérmicos, por ejemplo, en Ahuachapán en El Salvador. Además, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) solicitó el apoyo del grupo de geofísica nuclear del ININ para la instalación de la técnica en Colombia y así estudiar el campo geotérmico de Paipa.

La localización de las fallas geológicas y de las fracturas asociadas a campos geotérmicos conforman valiosas contribuciones para producir energía en nuestro beneficio.

Recientemente, el ININ capacitó a dos investigadores cubanos del Centro de Protección e Higiene de la Radiaciones, de la Agencia de Energía Nuclear Cubana, mediante un programa bilateral México-Cuba (apoyado por la Secretaría de Relaciones Exteriores), con el propósito de prepararlos en el uso de equipo electrónico, para la localización de posibles fracturas en esa isla del Caribe y evitar cualquier riesgo en la preservación de su patrimonio cultural.

A través de un convenio de colaboración con el Servicio Geológico Mexicano (SGM) se han impartido cursos a su personal sobre calibración y uso de equipos electrónicos *in situ* para determinar posibles fracturamientos y para identificar procesos de acumulación de radón en suelo y agua que permitan localizar sitios potenciales de minas de uranio en la cuenca de Burgos, en el norte del país.

La Secretaría de Energía ha estudiado la posibilidad de capturar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por las plantas de producción de energía eléctrica donde se queman combustibles fósiles, para almacenar el gas que produce efecto invernadero en sitios geológicos determinados. Los sitios deben cumplir con una capa sello superficial, es decir, sin fracturas que propicien la migración del CO<sub>2</sub> a la superficie. La técnica implementada en el ININ es un método experimental para la determinación de esta ausencia de fracturas.

Recientemente, la deformación de una gran falla geológica en las costas de Guerrero y Oaxaca presume un impacto en la generación de sismos en esa zona. El ININ participará con un grupo de geofísica de la UNAM, para ubicar la falla y determinar riesgos asociados.

MIGUEL Balcázar GARCÍA

Estudió la Licenciatura en Física-Matemática en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), tiene un Doctorado en la Universidad de Birmingham en Inglaterra. Se siente complacido de contribuir en la formación de jóvenes, a través de la docencia y del asesoramiento de investigaciones.

Sus personajes favoritos son D'Artagnan de los *Tres Mosqueteros* y Alejandro Magno. La canción que más le gusta es *Imagine* de John Lennon, pues considera que es un himno de respeto a la libertad de pensamiento. Disfruta del billar, el frontenis y la bicicleta. Admira al científico Manuel Sandoval Vallarta y a la raquetbolista Paola Longoria. La mascota que más le gusta fue su perro "Firulaiz". Actualmente colabora en la Gerencia de Ciencias Ambientales del ININ.

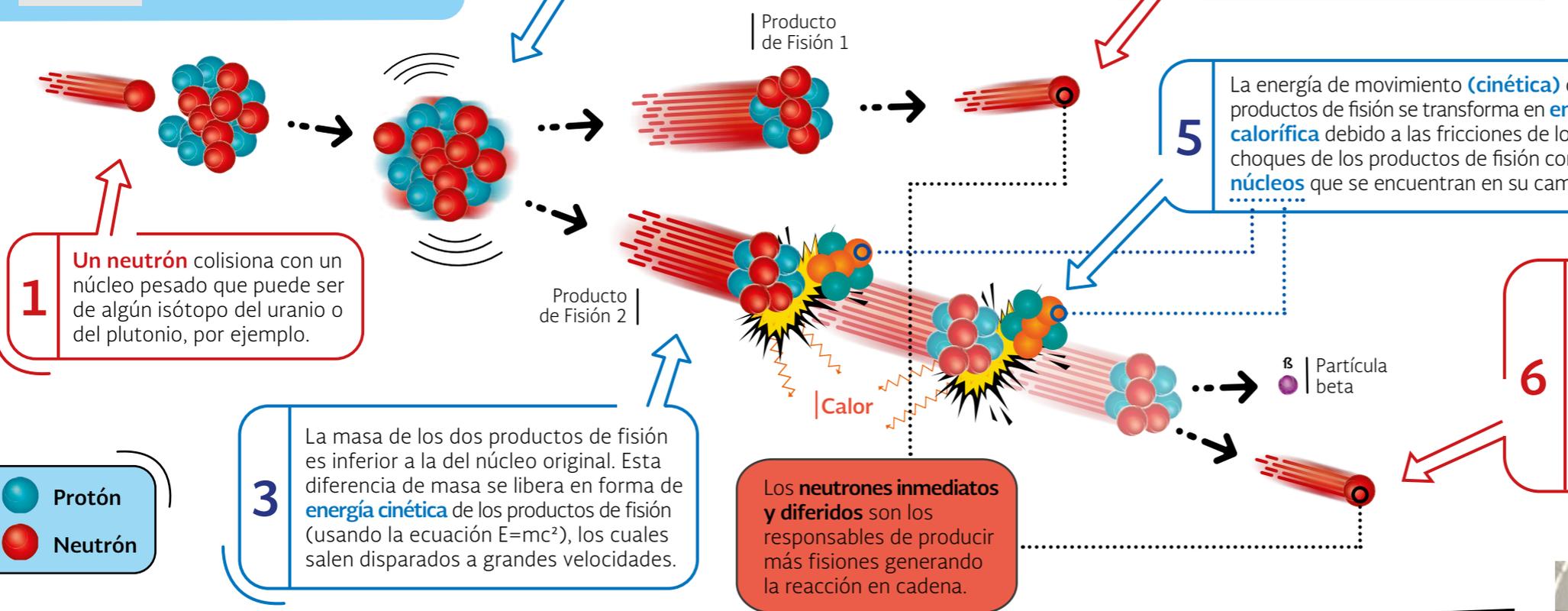




# FISIÓN

DR. ARMANDO GÓMEZ TORRES

La reacción de fisión es el proceso en el que un núcleo pesado se parte en dos, liberando una gran cantidad de energía.



● Protón  
● Neutrón

INFOGRÁFICO



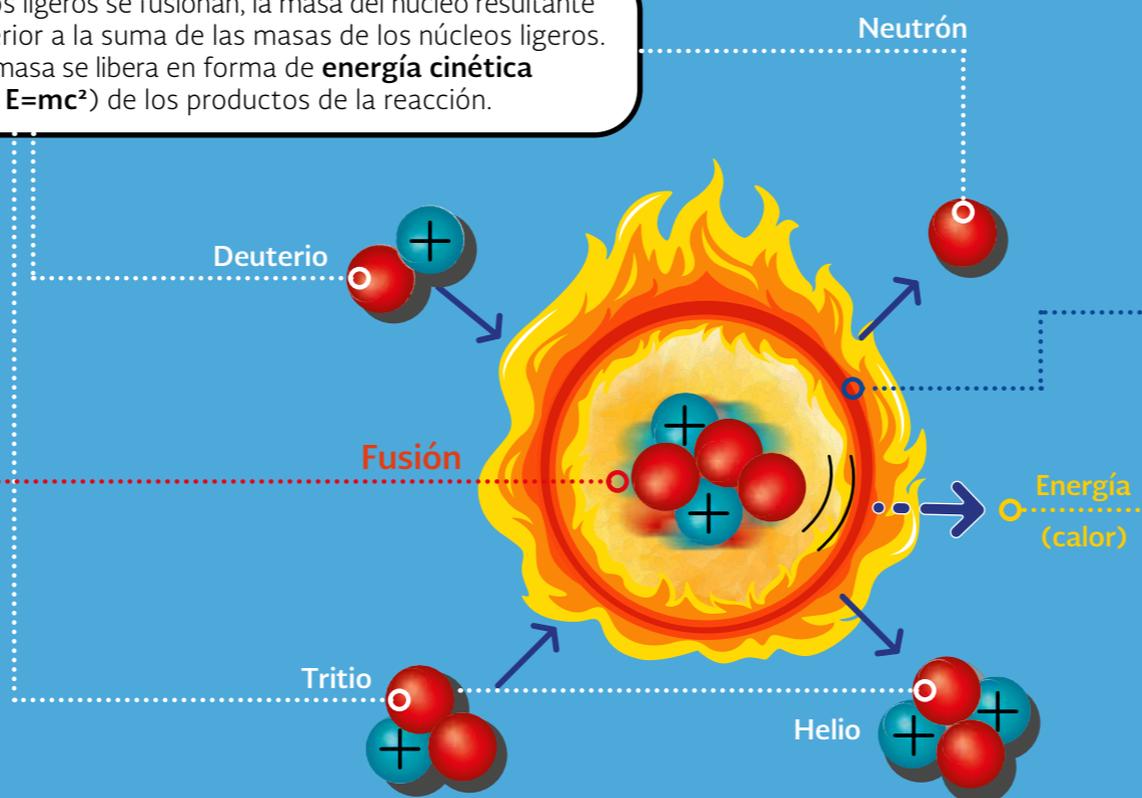
# FUSIÓN

DR. CÉSAR ROMEO GUTIÉRREZ TAPIA

La reacción de **fusión** es el proceso mediante el cual dos núcleos ligeros se unen para formar un núcleo más pesado. Por ejemplo un núcleo de deuterio y uno de tritio, ambos son isótopos del hidrógeno.

**1** Cuando dos núcleos ligeros se fusionan, la masa del núcleo resultante es ligeramente inferior a la suma de las masas de los núcleos ligeros. Esta diferencia de masa se libera en forma de **energía cinética** (según la ecuación  $E=mc^2$ ) de los productos de la reacción.

**2** Los **dos núcleos** ligeros se encuentran cargados positivamente y se repelen. Para superar esta fuerza de repulsión y que la fuerza nuclear (atractiva y de corto alcance) pueda actuar, los núcleos deben chocar a velocidades térmicas suficientemente altas.



**3** A muy altas temperaturas el combustible se encuentra en forma de **plasma** donde un porcentaje alto del gas está ionizado (los núcleos atómicos pierden electrones) aunque el plasma como un todo sigue siendo casi neutro. Para que se produzca un número suficiente de **reacciones de fusión**, en el plasma debe haber un número suficiente de núcleos atómicos ionizados y han de permanecer en esta situación durante un tiempo suficientemente largo.

**4** Cuando el triple producto de la densidad del plasma, de su temperatura, y del tiempo de confinamiento excede un determinado valor entonces podemos decir: la **energía** liberada por las reacciones de fusión es suficiente para **auto-mantener** el proceso de quemado sin energía externa adicional (ignición).



## Visitas guiadas

Conoce las instalaciones del centro nuclear de investigación de México.

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

☎ **5329 7200**  
Exts. 11260 y 11262

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



## Estancias y servicio social

Desarrolla tu tesis de Licenciatura, Maestría o Doctorado con la asesoría de profesionales 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

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



ININmx



@inin\_mx



gob.mx/inin



ININmx



ININmx



instituto nacional de investigaciones nucleares



Coordinación de Promoción y  
DIVULGACIÓN Científica