

Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes
Verano 2016

º4

Polvo de estrellas

Por siempre joven

El universo parlante

Acelerar la salud alimentaria



Salud



Protección Radiológica



Industria



Horizonte nuclear



instituto nacional de
investigaciones nucleares

EDITORIAL



Somos materia estelar

Lydia Paredes Gutiérrez 1

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



Un ojo en el cielo

Desarrollo de drones 2

Lina Celis del Ángel Centeno

El gadget nuclear

Detector de radiación 4

Luis Mondragón Contreras

Inteligencia artificial

Diseño de robots 6

José Armando Segovia de los Ríos

SALUD



Por siempre joven

Radicales libres 8

Martha Patricia Cruces Martínez

Viaje fantástico por la radiación

Dosis de radiación 11

Eva Leticia Rojas Calderón

HORIZONTE NUCLEAR



El universo parlante

Ondas gravitacionales 13

Mario Alberto Rodríguez-Meza

AMBIENTE



Frenar al efecto invernadero

Captura de CO₂ 17

Francisco Granados Correa

El costo real de las energías

Cálculo de externalidades 19

Eva Margarita Melgar Paniagua

INDUSTRIA



Descubrir nuevos materiales

Análisis de materiales 21

Rafael Basurto Sánchez

Acelerar la salud alimentaria

Haz de electrones 23

Rubén Gómez Cervantes

Apps 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 Servicio Tecnológicos

M.A. Hernán Rico Núñez

Director de Administración

Mtra. María de los Ángeles Medina

Titular del Órgano Interno de Control

Dr. Julián Sánchez Gutiérrez

Secretario Técnico

Concepción creativa y coordinación editorial

Lic. Elizabeth López Barragán

Coordinadora de Promoción y Divulgación Científica

Asistencia de redacción

Victor Octavio Hernández Ávila

Diseño

Patricia Talledos Meléndez

Fotografía

Pável Azpeitia de la Torre

Armando Iturbe German

123RF

Ilustraciones

Angélica Balderrama

Formación e impresión

Comersia Impresiones, S.A de C.V

Apps Nucleares es una publicación semestral de divulgación científica del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para jóvenes

No. 4, verano 2016

Registro en trámite



elizabeth.lopezbarragan@inin.gob.mx



ININmx



@inin_mx



www.inin.gob.mx



Todos estamos hechos de materia estelar. Ahora sabemos —gracias al avance del conocimiento científico— que todo se cocinó en los corazones ardientes de las estrellas. Por eso, aunque no aparezcas en la televisión o no tengas miles de seguidores en las redes sociales, eres auténticamente una estrella.

Hoy en día, reconocer que el universo es infinito parece una obviedad, pero nuestra perspectiva cósmica es relativamente nueva. Hace apenas un poco más de cuatro siglos nuestro mundo estaba ajeno al resto del cosmos. El universo era lo que veíamos a simple vista. Apenas vislumbrábamos la vastedad del espacio y no teníamos idea de la inmensidad pasmosa del tiempo cósmico.

Empezamos a ensanchar nuestra mirada cuando Galileo miró por primera vez a través de un telescopio. La ciencia y sus instrumentos nos han dado el poder de ver lo que nuestros sentidos no captan. Estamos por cumplir un año apenas de haber detectado por primera vez los “murmillos en el espacio-tiempo” del universo, como han sido reconocidas ahora las ondas gravitacionales, cuya existencia predijo hace 100 años Albert Einstein.

Con el verano no sólo llegan las vacaciones sino también la posibilidad de volver a establecer contacto contigo a través de nuestra publicación de divulgación científica, con la que te invitamos a seguir emocionándonos con la aventura del conocimiento para continuar ensanchando nuestra mirada.

Lydia Paredes Gutiérrez

Es doctora y maestra en Ciencias en Física Médica por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Estudió la Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Ingeniería en Energía por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Galardonada con la presea “Ignacio Manuel Altamirano” al mejor promedio de posgrado de la UAEM y el artículo científico del año 2010 por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society, también ha sido nombrada egresada distinguida de la UAM y reconocida por su trayectoria profesional por la Fraternidad Institutense de la UAEM. A partir de junio de 2016, recibió el cargo de vicepresidente de la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society.

Es directora general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) desde 2013, y vicepresidente del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y El Caribe (ARCAL) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Admira al artista Miguel Ángel Buonarroti. Una de sus caricaturas favoritas era *Los Supersónicos* y le encanta el pastel de queso con zarzamoras.





Un ojo en el cielo

Lina Celis del Ángel Centeno

La tecnología permite que podamos conocer más sobre el mundo que nos rodea. Los drones, por ejemplo, son capaces de acercarnos a lugares donde no podríamos acceder fácilmente, donde incluso podríamos arriesgar nuestra vida al hacerlo. Para que la ciencia pueda volar más alto, la tecnología aeronáutica ha sido clave.



Desde tiempos ancestrales volar ha sido uno de los anhelos más elevados de los seres humanos. Tú ¿no has soñado alguna vez que vuelas? Desde la mitología griega, con la historia de Dédalo, quien construyó unas alas con plumas y cera para poder escapar de la isla donde estaban presos él y su hijo Ícaro, hasta grandes inventores, como Leonardo da Vinci y los hermanos Wright, le dieron forma a los deseos del hombre de volar, pues sus inventos fueron predecesores de la aviación moderna.

La aparición de la aviación no tripulada se dio en la primera mitad del siglo XIX, aunque su mayor auge lo ha encontrado en este siglo. En el año 2003, cerca de 40 países ya contaban con programas de desarrollo y aplicación de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Nueve años después, eran más de 50 naciones las que ya utilizaban estos artefactos para reconocimiento de zonas, recopilación de datos de inteligencia militar y ubicación de objetivos.

En la actualidad los UAV, así como los Sistemas de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS, por sus siglas en inglés) han evolucionado al grado de ser muy comunes en nuestros días y son mejor conocidos como drones.

Seguramente has oído hablar de ellos, pero ¿sabes qué son? Los drones son vehículos capaces de volar y de ser comandados a distancia. Pueden ser tan pequeños como un insecto o tan grandes como un avión chárter. La mayoría de los drones han sido diseñados para llevar dispositivos como cámaras, sensores o algún otro equipo para la captura y transmisión de datos. Pueden ser controlados desde una ubicación remota o volar autónomamente a través de planes de vuelo preprogramados.

Existen diversos tipos de drones, desde los multicopteros (tipo rotatorio), vehículos que poseen

un funcionamiento de vuelo semejante al de los helicópteros y pueden ser, dependiendo del número de motores con los que cuenta, monocópteros, tricópteros, cuadricópteros..., hasta los aviones de ala fija en sus diversas versiones.

El interés actual en realizar investigación tecnológica sobre drones se debe principalmente a su versatilidad, pues se adaptan con facilidad a nuevas aplicaciones y presentan grandes ventajas, como una mayor eficiencia energética y un significativo menor costo de operación comparado con los sistemas tripulados.

Las aplicaciones actuales de los drones son amplias y variadas, por ejemplo, en seguridad (facilitan las operaciones de seguridad o preservar pruebas), búsqueda y rescate (prevención y control de incendios, seguridad civil, búsqueda y rescate de personas), vigilancia (apoyo en el control de manifestaciones, actos públicos, oleoductos, instalaciones, movilidad, tráfico), video y fotografía aérea (eventos, películas, videos), inspecciones (líneas eléctricas, turbinas de viento, tuberías), reconocimiento geográfico (mapas y mallas, planificación urbana), sistema de envío no tripulado (traslado de paquetes, medicinas, víveres), monitoreo ambiental (muestras de agua en ríos y lagos, monitoreo agrícola, medición y vigilancia de la contaminación ambiental), ciencia e investigación (observar fenómenos naturales, como una erupción volcánica o documentar una excavación arqueológica) y muchas otras.

La industria nuclear no podía quedarse atrás con respecto de los usos de los drones, ya que representan un área de oportunidad, principalmente como una medida contra emergencias radiológicas. Los drones pueden emplearse en ambientes de altas toxicidades químicas y radiológicas sin poner en riesgo vidas humanas. Por ejemplo, en la central nuclear de Fukushima, después del accidente, han sido empleados para recopilar cifras



La mayoría de los drones han sido diseñados para llevar dispositivos como cámaras, sensores o algún otro equipo para la captura y transmisión de datos. Pueden ser controlados desde una ubicación remota o volar autónomamente a través de planes de vuelo preprogramados.



exactas de los niveles de radiación alrededor de la central nuclear, sin exponer a personal para realizar estas mediciones.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ha considerado de suma utilidad contar con un equipo de este tipo para el apoyo en situaciones de emergencia radiológica, en la vigilancia rutinaria de las instalaciones nucleares, así como en los casos de robo de material radiactivo.

El Departamento de Automatización e Instrumentación del ININ ha desarrollado un dron con la capacidad de medir radiación (en particular, para casos de emergencia radiológica). Esta aeronave está instrumentada con un detector de radiación gamma y un sistema de transmisión de datos y video de alta resolución en tiempo real, lo que le permite inspeccionar y conocer los niveles de radiación en las zonas de emergencia, ayudando a evitar la exposición innecesaria del personal de rescate o de la población. Además, es capaz de desarrollar vigilancia en trayectorias predefinidas, es decir, puede realizar patrones de vuelo y seguimiento, que son de utilidad en el levantamiento de niveles de dosis radiación en grandes superficies de terreno, con la posibilidad de generar sus respectivos mapas.

Los drones desarrollados en el ININ son útiles en múltiples áreas, ya que facilitan las actividades cotidianas de monitoreo y análisis de instalaciones, y son capaces de salvaguardar vidas al utilizarse en situaciones de emergencia. La tecnología de los drones nos da nuevas alas para afrontar los retos del futuro.

Lina Celis del Ángel Centeno

Estudió Ingeniería Electrónica en Instrumentación en el Instituto Tecnológico de Minatitlán (ITM). Está orgullosa de haber desarrollado el Sistema de Control para el Reactor Nuclear Colombiano IAN-R1, siendo esa la primera vez que México exportó tecnología nuclear.

Uno de sus libros favoritos es *El Principito* de Antoine Saint-Exupéry. Le encantan las albóndigas al chipotle y disfruta en general de la comida. Su signo zodiacal es Virgo. Admira a Leonardo da Vinci, ya que lo considera un genio universal con una imaginación infinita y una capacidad inventiva asombrosa. Practica golf los fines de semana.





El gadget nuclear

Luis Mondragón Contreras

¿Los *smartphones* y la tecnología nuclear juntos? Sí, aunque no lo creas así es. La investigación enfocada a la protección radiológica está aprovechando la oportunidad de utilizar los *gadgets* móviles. Así, a través del mismo aparato con el que escuchas música, ves videos, mandas mensajes y hablas por teléfono, actualmente es posible detectar y medir la radiación en el ambiente.



Los *smartphones* se han convertido en artefactos de uso diario. Prácticamente todos tenemos uno. Su popularidad se debe a que un solo dispositivo cumple con diversas funciones: además de la más básica como hablar por teléfono o mandar mensajes, también puede reproducir música, tomar fotos, jugar videojuegos y utilizar redes sociales. Y como te imaginarás la tecnología nuclear también está presente en estos aparatos.

Como sabes la radiación nuclear es la emisión espontánea de partículas o fotones provenientes de núcleos de átomos inestables. Se encuentra presente en el ambiente que nos rodea, e incluso dentro de nuestro cuerpo tenemos elementos radiactivos como el Carbono-14 (^{14}C) y el Potasio-40 (^{40}K). La radiación también puede ser producida de manera artificial (por ejemplo, en máquinas de rayos X o aceleradores de partículas). Una de sus características principales es que no tiene color, sabor, olor, textura ni sonido. Por ello, es imperceptible para los sentidos. De manera que si una persona se encuentra dentro de un campo de radiación, puede pasarle desapercibido.

El Departamento de Electrónica de la Gerencia de Sistemas, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ha diseñado un módulo que permite utilizar un teléfono celular o una tableta como un monitor de bajo costo para la detección y medición de la radiación: una aplicación en protección radiológica al alcance de la mano. ¿No te parece sorprendente?

Para que un teléfono celular o tableta pueda utilizarse como monitor de radiación es necesario adicionarle un módulo independiente que tiene la capacidad de detectar la radiación, medirla y enviar los datos correspondientes al dispositivo móvil, además de instalarle una aplicación que sirve para el manejo gráfico y funcional del monitor de radiación, aprovechando algunas de las características de los dispositivos de última generación, como sus pantallas táctiles para el despliegue y manejo de información, capacidad para el procesamiento y almacenamiento de datos, conectividad (*bluetooth*, *wi-fi* o a redes 4G, 3G y 2G) para transmisión de datos y la función del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), entre otras.

El módulo de detección está constituido por un detector de radiación, una fuente de alto voltaje, un circuito amplificador y acondicionador de pulsos, una tarjeta Arduino (plataforma de código abierto de *software* y *hardware* libres), con conectividad *bluetooth* y una batería de 9 voltios (v).



El ININ ha diseñado un módulo que permite usar un teléfono celular o una tableta como un monitor de radiación de bajo costo para la detección y medición de la radiación: una aplicación en protección radiológica al alcance de la mano.





El detector de radiación es tipo Geiger-Muller (detector gaseoso usado para medir niveles de radiación). Se compone de un tubo de metal, un filamento de acero inoxidable (que se encuentra en el centro del tubo) y una ventana de mica. Las partículas que detecta pasan únicamente a través de la ventana de mica que está enfrente del detector y los fotones pueden penetrar por cualquier parte del tubo. También contiene gas neón a baja presión, pues cuando la radiación interacciona con el gas puede ionizarlo (liberar algunos electrones de sus átomos) y de esta manera producir pulsos eléctricos.

La tarjeta Arduino incorpora un microcontrolador que es fácil de programar, por lo que tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de proyectos electrónicos. La tarjeta tiene la función de contar el número de pulsos en el monitor de radiación, provenientes del circuito acondicionador en un intervalo de tiempo definido (por segundo o minuto) y después envía el dato a un dispositivo móvil mediante una conexión inalámbrica.

Al igual que las computadoras personales, los dispositivos móviles tienen un sistema operativo que se encarga del manejo de las funciones y programas propios del teléfono o la tableta. La aplicación para el monitor de radiación se desarrolló en el

lenguaje de programación Java para dispositivos móviles con sistema operativo Android, debido a su popularidad y por ser de código abierto (libre).

Lo que hace a este módulo más versátil para detectar la radiación es su capacidad de mostrar gráficamente la información recolectada, gracias a la capacidad de procesamiento, tanto del módulo como de los *gadgets* portátiles utilizados. También hace posible medir la radiación en diferentes unidades, además de realizar conversiones fácilmente. Es aproximadamente 60% más pequeño que otros monitores y es capaz de detectar partículas (radiación alfa y beta) o fotones (gamma).

La tecnología móvil pasa por un momento importante, debido a su portabilidad, accesibilidad y bajo costo, y por supuesto a las variadas y múltiples aplicaciones que existen para ellos. Por ello, el ININ ha desarrollado este módulo para detectar y medir radiación en el ambiente a través de uno de estos populares dispositivos móviles.



Luis Mondragón Contreras

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

El libro *Ética para Amador* es uno de sus preferidos. Le gusta la comida mexicana y el pan de dulce. Su signo es Piscis. En su infancia le gustaban *Los Picapiedra*, *Don gato* y *su pandilla* y *La liga de la justicia*. Disfrutaba de salir a correr e ir al cine. Admira a Thomas Alva Edison.



Inteligencia artificial

José Armando Segovia de los Ríos

Los robots y sistemas automatizados se han vuelto fundamentales en prácticamente todas las industrias y en múltiples laboratorios de investigación. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) cuenta con un robot semiautónomo capaz de cumplir con las misiones que le sean encomendadas.



El término “robot” fue usado por primera vez en 1920 en el teatro, en una obra llamada *Robots Universales Rossum* (R.U.R.) de Karel Capek, que trata sobre seres artificiales y su interacción con el mundo, aunque la idea —como casi todo en nuestra civilización— data de la antigua Grecia y se ha mantenido vigente en novelas como *Yo robot* de Isaac Asimov. En la realidad, los primeros trabajos con robots industriales se llevaron a cabo en laboratorios nucleares, como el de Oak Ridge y Argonne National Laboratories de Estados Unidos, por la necesidad de manipular de forma segura materiales radiactivos.

Aunque se ha popularizado la imagen de la semejanza física entre robots y seres humanos, no necesariamente son así. Un robot puede ser una máquina tan simple como un brazo manipulador o tan raro como un gran perro sin cabeza, como el “BigDog”.



Los robots son de una variedad muy amplia en cuanto a forma y capacidades se refiere. Se pueden clasificar en dos grupos: manipuladores y móviles.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) hace uso de sistemas automáticos y robotizados, debido a que trabaja con sustancias radiactivas en sus actividades de investigación, en los servicios que ofrece y en el almacenamiento o supervisión de los desechos radiactivos. Por tales razones, el ININ cuenta con el Departamento de Automatización e Instrumentación, que pertenece a la Gerencia de Ciencias Aplicadas, para el desarrollo de este tipo de sistemas.

Los robots son de una variedad muy amplia en cuanto a forma y capacidades se refiere. Se pueden clasificar en dos grupos: manipuladores y móviles. Los manipuladores son máquinas que desarrollan un trabajo a partir de un punto fijo y son usados en diversas aplicaciones de la industria, como rociador de pintura, soldadura de puntos y de arco, montaje de partes automotrices y manejo de materiales, entre muchas otras. Por su parte, los robots móviles desarrollan su trabajo a través de desplazamientos sin tener un punto de anclaje y normalmente se desenvuelven en ambientes no estructurados, por lo cual su inteligencia debe ser mayor para enfrentarse a situaciones no previstas, y son usados en el transporte de todo tipo de objetos, supervisión de sitios y vigilancia.

En el ININ se transportan frecuentemente materiales radiactivos, con la finalidad de que puedan ser procesados o trasladados a su lugar de resguardo. Por ejemplo, se produce yodo (^{131}I) mediante la desintegración radiactiva de telurio (^{131}Te) y telurio metaestable ($^{131\text{m}}\text{Te}$), los cuales se obtienen de dióxido de telurio (TeO_2) irradiado en el reactor nuclear TRIGA MARK III. Antes, el producto obtenido se depositaba en un contenedor de plomo de forma cilíndrica de aproximadamente 200 kilogramos (kg) para proteger al personal encargado de su manejo, posteriormente se colocaba en un carro de tres ruedas para ser transportado hasta las celdas de procesamiento.



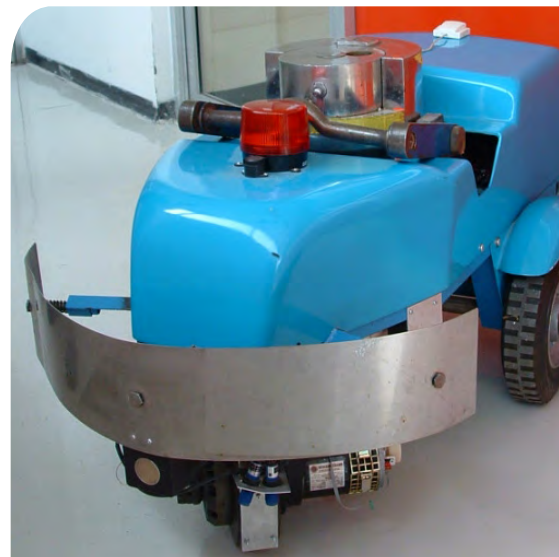
(que tienen las condiciones adecuadas de blindaje). El recorrido era de 200 metros (m). El carro que cargaba la fuente radiactiva era tirado por un operador y empujado por otro.

Como imaginarás, para mejorar la seguridad en su transporte se propuso el diseño y construcción de un vehículo robotizado que pudiera ser operado a distancia. Este robot debía ser capaz de ejecutar las órdenes recibidas mediante teleoperación (acción que permite controlar la dirección y velocidad del robot), así como contar con algunas capacidades de autonomía. El objetivo era ofrecer mayor comodidad y seguridad en el transporte, por lo que se equipó al robot móvil de sensores ultrasónicos, para la detección de posibles obstáculos, y de sensores fotoeléctricos, para seguir la trayectoria de una línea guía y facilitar el desplazamiento autónomo. Esta técnica conocida en robótica móvil como seguimiento de línea dio origen al robot TRASMAR (Transportación Asistida de Materiales Radiactivos).

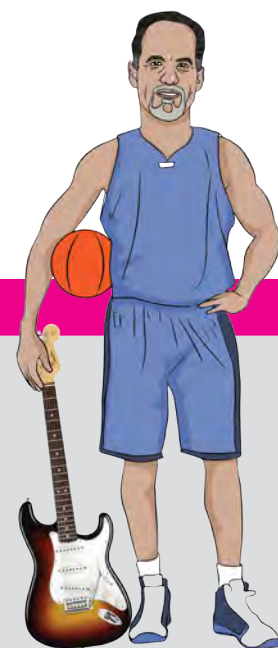
El robot fue diseñado a partir de una estructura de movimiento tipo triciclo, empleando para la rueda delantera un conjunto motriz Schabmuller que cuenta con dos motores de corriente directa, uno de 500 watts (w) para la motricidad y otro de 100 w para la dirección. Las dos ruedas traseras están fijas a un eje y son capaces de girar libremente.

Originalmente la teleoperación del TRASMAR era manipulada por un dispositivo de control remoto (como el de los televisores) y hace poco se cambió por un mando similar a los usados en videojuegos, que se conecta con el robot mediante *blue-tooth*. De esta manera, el control del robot se realiza desde cualquier punto dentro de un radio de 10 m, que es el alcance brindado por este tipo de conexiones inalámbricas, lo que representó mayor flexibilidad para su uso.

Sin duda, el progreso realizado en robótica le echa una muy buena mano al desarrollo e innovación de múltiples industrias.



Se equipó al robot móvil TRASMAR (Transportación Asistida de Materiales Radiactivos) de sensores ultrasónicos, para la detección de posibles obstáculos, y de sensores fotoeléctricos, para seguir la trayectoria de una línea guía y facilitar el desplazamiento autónomo.



José Armando Segovia de los Ríos

Estudió Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT), Maestría en Ciencias en el Instituto Tecnológico de la Laguna y el Doctorado en Control de Sistemas con especialidad en Robótica Móvil en la Université de Technologie de Compiègne, Francia.

Uno de sus libros favoritos es *Dr. Zhivago* de Borís Pasternak, Premio Nobel de Literatura en 1958. Admira a Julio Verne y a Leonardo Da Vinci. Le habría gustado ser músico. Le gusta tocar la guitarra y practicar basquetbol y voleibol.



Por siempre joven

Martha Patricia Cruces Martínez

El exceso de radicales libres en las células genera estrés oxidante, un proceso que puede resultar dañino para los organismos al acelerar el envejecimiento, dañar al material genético y causar diversas enfermedades degenerativas. Evitar dicho proceso puede ser la clave para mantenerse en plenitud ¿no crees?



¿Alguna vez has pensado en ser joven por siempre? La eterna juventud ha sido objeto de interés de todo mundo a lo largo de la historia y motivo de múltiples películas y libros, como el *Retrato de Dorian Gray*. Fue el historiador griego Heródoto quien narró la primera referencia conocida sobre la eterna juventud en el siglo IV a.C. ¡Piénsalo! Mantener nuestras capacidades físicas y mentales en plenitud es un ideal, algo así como acceder a la eterna juventud ¿no te parece?

El envejecimiento se caracteriza por una disminución de los procesos fisiológicos y un incremento en los procesos degenerativos. Aunque existen múltiples factores que lo aceleran, la teoría de los radicales libres nos dice que la acumulación del daño provocado por éstos en las macromoléculas es el principal responsable del envejecimiento.

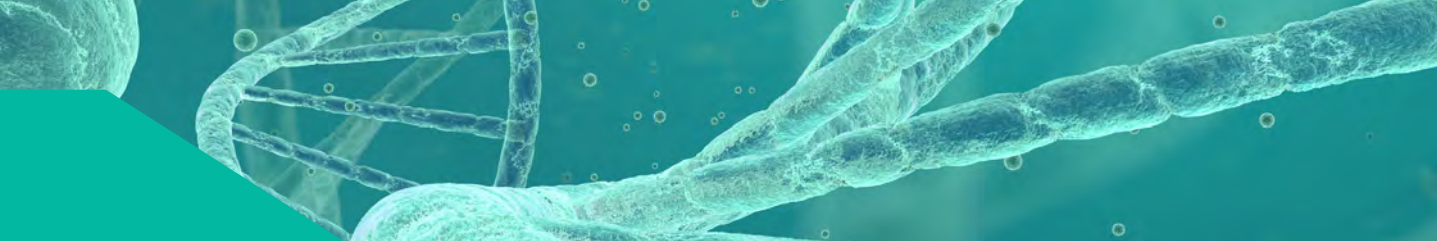
Los radicales libres son moléculas inestables porque han perdido electrones y su exceso causa estrés oxidante, es decir, desequilibrio entre las defensas antioxidantes de las células y la cantidad de radicales libres generados. Éstos provienen de diferentes fuentes, como el cigarro, el ambiente y la radiación ionizante (proveniente de los rayos cósmicos o de radiografías o tomografías para diagnósticos médicos). Los radicales libres en exceso son los responsables del envejecimiento y son capaces de causar daño al material genético, las proteínas y los lípidos. Además, están relacionados con el incremento de enfermedades degenerativas como Parkinson, Alzheimer, cáncer y artritis.

Es importante mencionar, no obstante, que los radicales libres no son siempre perjudiciales. Por el contrario, la célula los necesita para llevar a cabo diferentes funciones entre las que destaca la respuesta inmunológica. El problema surge cuando existe una producción exagerada de ellos.

Aunque las aplicaciones de la radiación son muy útiles, en grandes dosis pueden generar radicales libres en exceso, afectando a las biomoléculas (moléculas orgánicas importantes para la vida de los organismos, como proteínas, ácidos nucleicos, ami-



Los radicales libres no son siempre perjudiciales. Por el contrario, la célula los necesita para llevar a cabo diferentes funciones entre las que destaca la respuesta inmunológica. El problema surge cuando existe una producción exagerada de ellos.



noácidos y otros) de dos formas: por un lado, el efecto directo que genera cambios químicos en las biomoléculas (causado por la incidencia directa de la radiación) y, por otro, el efecto indirecto ocasionado por la radiólisis (ruptura de los enlaces químicos por la acción de la radiactividad) de otras moléculas.

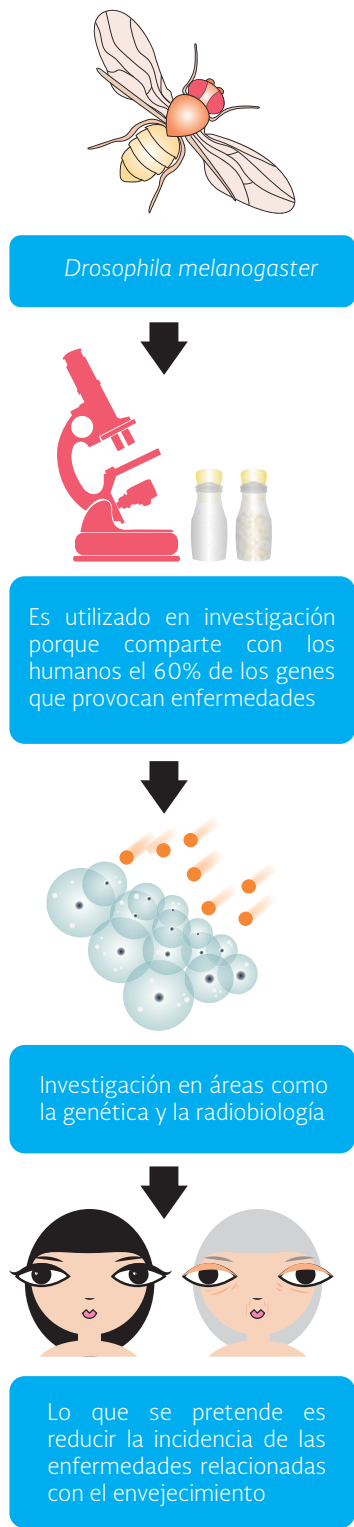
En este último sentido, debido a que los sistemas biológicos se componen principalmente de agua se produce la radiólisis de esta. Los principales productos de la descomposición del agua son los iones hidroxilo (OH^+), superóxido (HO_2^+), hidronio (H^+) y por reacciones subsecuentes, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales libres como el radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$). Todas estas especies son muy reactivas y pueden afectar a cualquiera de los componentes de las células modificando su estructura y, por lo tanto, sus funciones.

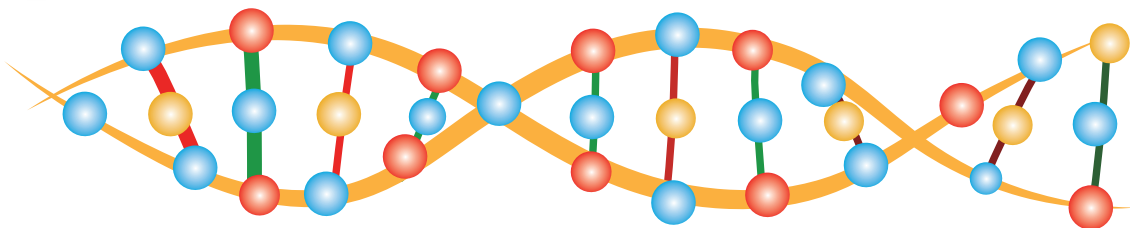
Las investigaciones de productos antioxidantes (capaces de inactivar a los radicales libres, para evitar que dañen a las células o sus componentes) y de compuestos químicos que nos protejan de los efectos nocivos de la radiación en exceso se comenzaron a estudiar desde mediados del siglo XX.

En el laboratorio de *Drosophila* del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) nos enfocamos en evaluar la actividad radioprotectora y antimutagénica (sustancia capaz de inhibir la acción de un agente que puede dañar el material genético) de diferentes compuestos de origen natural, como agentes antioxidantes. Es el caso de la Clorofila y su derivado soluble la Clorofilina (algunos derivados del grupo Hemo: Protoporfirina y Billirrubina y el Trolox; un análogo soluble de la vitamina E). En los estudios realizados se ha demostrado que muchos de los compuestos que se encuentran en las plantas son fundamentales para la disminución del daño genético ocasionado por la radiación ionizante.

El laboratorio de *Drosophila*, establecido desde diciembre de 1960, estudia además los efectos biológicos de la radiación empleando como modelo a *Drosophila melanogaster*, también conocida como la mosca de la fruta. Este insecto es utilizado en investigación porque comparte con los humanos el 60% de los genes que provocan enfermedades. Por ello, es de suma utilidad para realizar investigación en diversas áreas como la genética y la radiobiología, entre otras.

La investigación realizada en el laboratorio está encaminada a determinar los mecanismos a través de los que los compuestos como la Clorofilina, Protoporfirina y Billirrubina pueden actuar en las células para disminuir el daño provocado por radiación ionizante y algunos agentes químicos.





Muchos de los compuestos que hemos estudiado tienen actividad antioxidante, es decir, pueden inactivar a los radicales libres evitando que dañen a las células o sus componentes. Es importante mencionar que la identificación de compuestos con actividad antioxidante no tiene el objetivo de incrementar la longevidad ni lograr la juventud eterna. Lo que se pretende es reducir la incidencia de las enfermedades relacionadas con el envejecimiento para mejorar nuestra calidad de vida, además de mantener en plenitud nuestras capacidades físicas y mentales.

Uno de los objetivos del laboratorio de *Drosophila* del ININ es el estudio y aplicación de técnicas para la reducción de los radicales libres, y los resultados obtenidos son sumamente útiles para contribuir a disminuirlos.

Tal vez ahora mismo no es posible conseguir la eterna juventud, pero este tipo de investigaciones nos dan la pauta para mejorar nuestra calidad de vida, al mantener en plenitud nuestras capacidades físicas y mentales.



La identificación de compuestos con actividad antioxidante no tiene el objetivo de incrementar la longevidad ni lograr la juventud eterna. Lo que se pretende es reducir la incidencia de las enfermedades relacionadas con el envejecimiento para mejorar nuestra calidad de vida, además de mantener en plenitud nuestras capacidades físicas y mentales.



Martha Patricia Cruces Martínez

Estudió la Licenciatura, Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su mayor logro es su hijo.

Admira a Gabriel García Márquez, le gustan todas sus novelas. Disfruta mucho de la gastronomía mexicana. Su signo zodiacal es Tauro. Le habría gustado estudiar Derecho, pero se decidió por Biología. Su programa de televisión favorito era *Don Gato* y su pandilla, ahora es fanática de la serie *The Big Bang Theory*.



Viaje fantástico por la radiación



Eva Leticia Rojas Calderón

La medicina nuclear ha producido novedosos tratamientos para combatir múltiples padecimientos. La investigación en tecnología nuclear para el diagnóstico temprano y tratamiento de enfermedades es realmente sorprendente. Hasta parece de ciencia ficción.

¿Alguna vez has imaginado viajar dentro del cuerpo de un ser humano para examinarlo o curarlo de una enfermedad? Esta idea se popularizó desde una película realizada en los años sesenta por Richard Fleischer llamada *Un viaje alucinante*, que se basó en la novela homónima de ciencia ficción de Isaac Asimov, en la que un grupo de científicos se adentraban en el cerebro de un hombre para deshacer un tumor. Eso suena además de fantástico algo aventurado ¿no te parece?, ¿qué tal si durante el viaje por el interior del organismo se afecta algún otro órgano? Por eso la medicina nuclear ha desarrollado procedimientos para diagnosticar y tratar las zonas enfermas específicamente sin afectar las sanas.

El desarrollo de la investigación en tecnología nuclear para el diagnóstico temprano y tratamiento de enfermedades es realmente sorprendente. Los avances que benefician a la sociedad hoy en día son fruto de múltiples estudios e investigaciones.

Desde las primeras investigaciones en ciencia nuclear se establecieron recomendaciones, reglamentos y normas internacionales para el uso correcto del material radiactivo y sus aplicaciones, que por supuesto se han ido afinando y actualizando a través del tiempo. Estos protocolos han regulado y estandarizado los usos de la tecnología nuclear en todo el mundo.

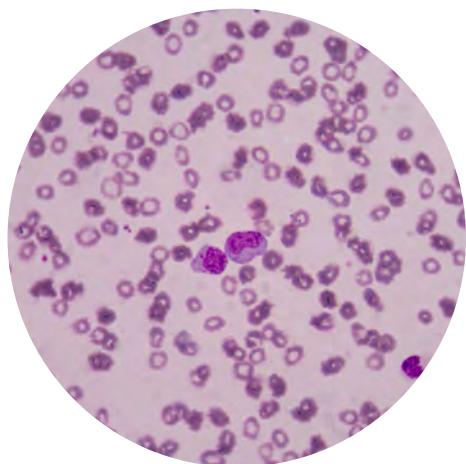
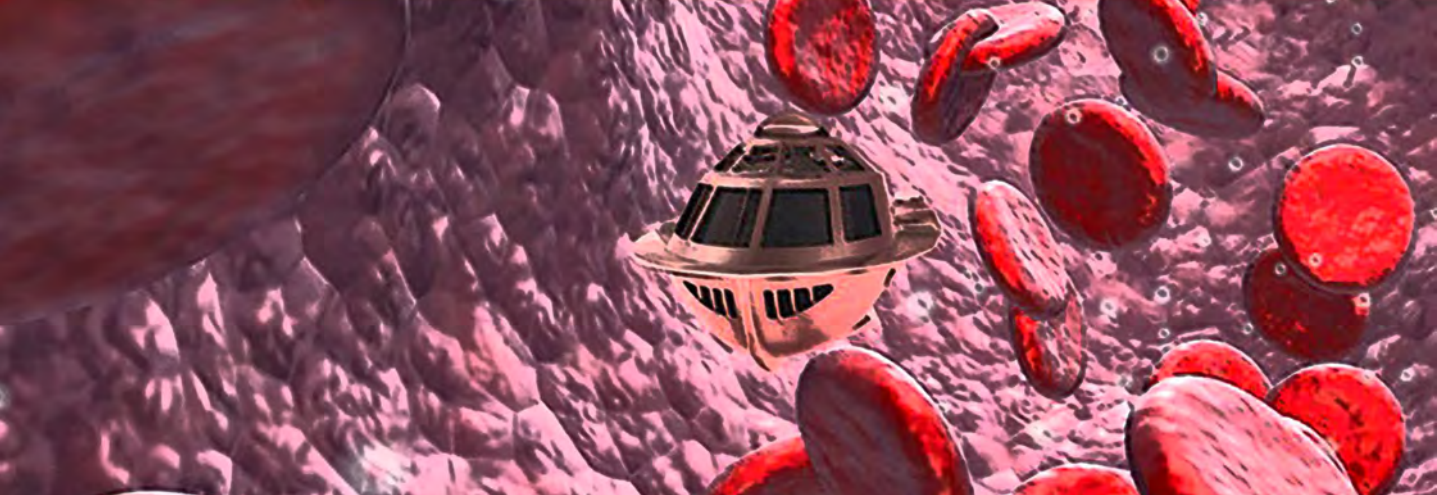
Por ejemplo, la medicina nuclear necesita de precisión en el cálculo de la dosis de radiación para sacar mayor provecho de su uso y asegurar su efectividad. Entre los métodos que nos permiten ser más precisos al trabajar con las radiaciones se destaca el “Monte Carlo”, un procedimiento numérico utilizado en múltiples áreas para resolver problemas de naturaleza estadística, que incluso también ha sido usado en los juegos de azar de los casinos, como la ruleta. Las simulaciones del método están basadas en las leyes de la física y funciones de probabilidad.



Aplicado al área de las radiaciones, este método simula la interacción de la radiación con los materiales para obtener valores y analizar las variables físicas a partir de las cuales podemos calcular magnitudes, como la dosis absorbida en los núcleos y en otras estructuras de las células. También permite realizar experimentos teóricos sobre reactores nucleares. Las simulaciones de la radiación por medios físicos y biológicos siguen las teorías físicas modernas de la interacción de la radiación con la materia.

Investigadores de los Álamos en Estados Unidos (LALN, por sus siglas en inglés), la Universidad de Barcelona (UB) y la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en inglés), entre muchos otros, han desarrollado software que integra esas teorías para que sean aplicadas de manera eficiente y amigable por otros científicos de diversas áreas, incluyendo la física médica.

Dentro de las aplicaciones del método Monte Carlo está el cálculo de la dosis de radiación en modelos de células cancerosas tratadas con radiomoléculas (moléculas que tiene adicionado un radioisótopo) para cuantificar qué valor es necesario para destruirlas preservando las células sanas.



Dentro de las aplicaciones del método Monte Carlo está el cálculo de la dosis de radiación en modelos de células cancerosas tratadas con radiomoléculas (moléculas que tiene adicionado un radioisótopo) para cuantificar qué valor es necesario para destruirlas preservando las células sanas.



En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) hemos trabajado en cálculos de dosis para modelos de células de cáncer de mama y próstata utilizando el método Monte Carlo. El procedimiento es una simulación por computadora del paso de la radiación por modelos de células con estructura geométrica (tomada de fotografías de células de cáncer in vitro con microscopios potentes) con la composición química similar a células reales.

Para ilustrar de forma más clara el proceso de la simulación, imagina que viajas dentro de una cápsula, que en realidad es la radiación, y así podrías ver hacia dónde se mueve, con qué colisiona, hacia dónde se desvía y la cantidad de energía que va dejando en cada interacción. El resultado de la simulación de miles o millones de eventos posibles nos permite obtener los valores esperados de las variables físicas de interés para calcular la dosis de radiación.

Esta aplicación de la simulación del paso de la radiación en medicina se ha utilizado en proyectos de diseño y desarrollo de bioradiomoléculas, útiles para calcular la dosis en modelos de células cancerosas de mama y próstata, y eliminar las células dañadas sin afectar los tejidos sanos circundantes.

Algunas de esas moléculas de reconocimiento específico para diagnóstico y terapia han sido patentadas y aplicadas en hospitales con éxito. La investigación en materia de medicina nuclear ilumina el trayecto hacia métodos más eficaces para asegurar nuestra salud.

Eva Leticia Rojas Calderón

Es doctora en Física Médica por parte de la Universidad de Granada, España. Ha participado en proyectos como fabricación de ensambles combustibles para la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde y en el desarrollo de radiofármacos para diagnósticos con fines terapéuticos para cáncer y otros padecimientos.

Su libro favorito es *Momo* de Michael Ende. Admira a Marie Curie y su signo zodiacal es Géminis. En su infancia veía la *Señorita Cometa* y ahora su serie favorita es *Once Upon a Time*.

El universo parlante



Mario Alberto Rodríguez-Meza

En 1916 Albert Einstein predijo la existencia de las ondas gravitacionales, pero tuvieron que pasar 100 años para detectarlas. Se necesitó de una maquinaria extremadamente sensible para ello. Y ahora sabemos que no sólo podemos ver el espacio, también lo podemos escuchar.

Imagina que una noche estás dormido en casa y de repente escuchas un rechino de llantas y después el sonido que para ti, no hay lugar a dudas, es el choque entre dos vehículos. ¿Podrías decir, sin ir al lugar del accidente, si los vehículos chocaron de frente, de lado, o si iban patinando y dando vueltas como trompos?

Algo similar sucedió recientemente el 14 de septiembre de 2015. Un grupo de científicos escucharon un sonido que salió de su aparato de detección. Primero, se excitaron muchísimo. Después, ya calmados, se pusieron a analizar con mucho cuidado la señal registrada, que en realidad eran dos: una provenía de una antena en Hanford, Washington, y la otra de una antena a 3,000 kilómetros (km) en Livingston, Louisiana. Ambas ciudades de Estados Unidos.

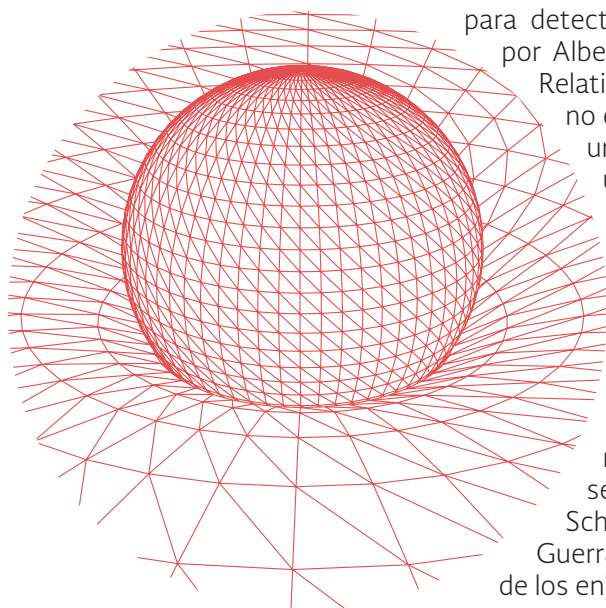
Las antenas eran dos interferómetros gemelos, como el que Albert Michelson inventó para detectar el éter, pero enormes, con tubos al vacío de 4 km de largo donde un haz de luz láser se la pasa rebotando como 280 veces para entonces producir un patrón de interferencia.

¿A qué correspondían esas señales? Las antenas son los dispositivos que el grupo de científicos del proyecto LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) diseñaron para detectar las ondas gravitacionales que fueron predichas por Albert Einstein en 1916 como parte de su teoría de la Relatividad General. Esta teoría nos dice que la gravedad ya no es más una fuerza como Newton lo pensaba, sino es una deformación del espacio y el tiempo —que fueron unificados en una sola entidad: el espacio-tiempo— producida por los cuerpos.

La Relatividad General resultó estar basada en un aparato matemático muy complicado: hay que resolver 10 ecuaciones diferenciales parciales no lineales acopladas con miles de términos, las cuales nos dicen cómo se deforma el espacio-tiempo en presencia de materia. Imposibles de ser resueltas en general. Pero, pocos meses después de ser presentadas al mundo, el astrónomo alemán Karl Schwarzschild, que andaba de artillero en la Primera Guerra Mundial, logró una solución, por cierto, precursora de los enigmáticos agujeros negros: esos objetos que atrapan



Las ondas gravitacionales significan que el espacio-tiempo puede ser perturbado produciendo unas ondas como las que uno observa moverse en un estanque de agua, al arrojar una piedra en él.





todo lo que está a su alcance, incluso la luz. De ahí su nombre. Y curiosamente en ese mismo año, Einstein logró encontrar otro caso en el que las ecuaciones de la Relatividad General podían ser resueltas. Y este fue el caso que predice la existencia de ondas gravitacionales, que significa que el espacio-tiempo puede ser perturbado produciendo unas ondas como las que uno observa moverse en un estanque de agua al arrojar una piedra en él.

Así, los físicos se estuvieron preguntando por más de 50 años si podrían “observar” un agujero negro y medir las ondas gravitacionales. Puse entre comillas observar porque si el hipotético agujero negro se traga todo lo que pasa cerca de él, incluida la luz, pues no se puede observar nada. Pero podemos medir sus efectos gravitacionales en el medio circundante. Ahora sabemos que un agujero negro puede nacer al morir una estrella, y que antes de morir se colapsa dramáticamente, apretujándose en sí misma, sin dejar rastro ni de su materia ni de sus manchas y prominencias, desaparece como el gato Cheshire en *Alicia en el país de las maravillas*, dejando tan solo su sonrisa, la atracción gravitacional.

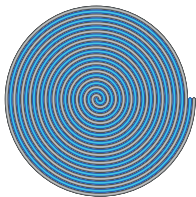
Los agujeros negros resultan ser objetos muy masivos. El único rastro que deja un cuerpo o la luz al ser engullidos por él, cuando tienen el infortunio

de cruzar su superficie de no retorno, el horizonte de eventos, es que el agujero negro engorda aumentando su masa y en consecuencia también el radio del horizonte. El récord Guinness para el agujero negro de mayor masa jamás encontrado es de poco más de mil millones de veces la masa del Sol y fue descubierto por un mexicano y sus colegas en 2014.

Un caso de mucho interés astrofísico es el problema de dos cuerpos, como el sistema combinado Sol-Tierra, Tierra-Luna o estrellas binarias, por ejemplo. En la Física de Newton este problema es fácil de atacar, pero no así conforme la Relatividad General. Una vez que se logró entender más la física de un solo agujero negro, el paso natural era considerar un sistema de dos agujeros negros orbitando uno alrededor del otro. No hay solución analítica para un sistema binario en Relatividad General. Además tiene la complicación adicional de que hay emisión de ondas gravitacionales haciendo que el sistema pierda energía y momento angular. Y lo que es peor: no hay un problema de “dos-cuerpos”. Es más bien el cálculo de un espacio-tiempo, el asociado a los dos. El horizonte de eventos individual (o las fronteras de cada objeto) sólo se conocería hasta que se conociera el espacio-tiempo combinado. Este fue el gran reto al que se enfrentaron los astrofísicos por más de 50 años y fue conocido

¿Qué son las ondas gravitacionales?

Son distorsiones u ondulaciones en el tejido del espacio-tiempo, causadas por algunos de los procesos más violentos y energéticos del Universo



¿Cómo se forman?



1

Dos objetos masivos acelerados (como estrellas de neutrones o agujeros negros) que orbitan entre sí, perturban el espacio tiempo, irradiando una distorsión espacial en forma de onda

2

Estas “ondas” viajan a través del Universo a velocidad de la luz y llevan consigo información sobre el evento que las originó y sobre la naturaleza de la gravedad



como la búsqueda del Santo Grial. Hasta que en 2005 un joven relativista numérico, Frans Pretorius, logró resolver la colisión y coalescencia de dos agujeros negros, y encontró ese Santo Grial, un *breakthrough*.

Al mismo tiempo otros grupos de científicos andaban con las ondas gravitacionales, tratando de detectarlas con los aparatos que hacían y también llevaban como 50 años en eso.

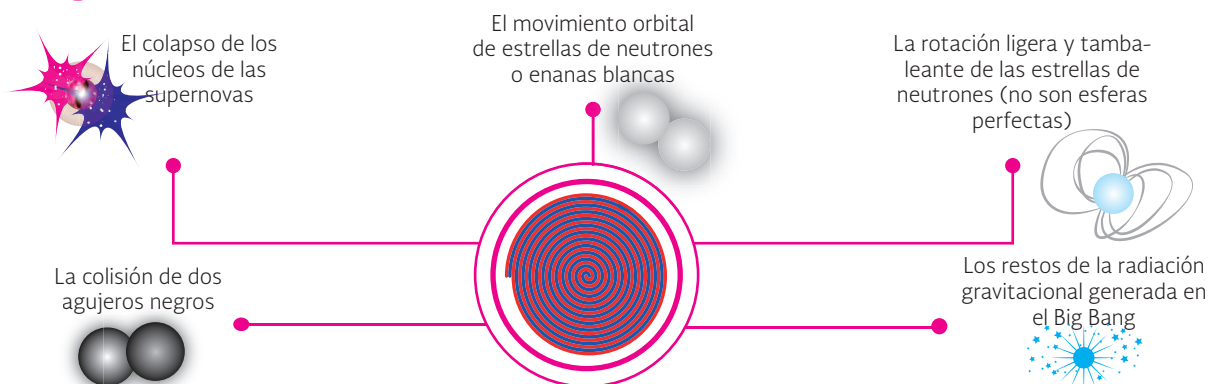
Habiendo resuelto la colisión de dos agujeros negros ¿qué siguió? Simple, hacer todas las simulaciones posibles variando los parámetros geométricos y físicos de la colisión. Con esto se logró tener un buen catálogo de escenarios posibles de la colisión de dos agujeros negros: varios casos de parámetros de impacto, diferentes masas, diferentes valores de espín, diferentes distancias de observación, etc. Por lo que se logró conocer con mucho detalle las señales que llegarían a la Tierra para cada uno de los casos catalogados. Eran señales muy débiles. Pero sabiendo qué buscar es mucho más fácil encontrarlo entre el ruido de fondo de los aparatos de medición. Es como tratar de localizar a un amigo en un estadio de fútbol repleto de aficionados, todos gritando, incluyendo el amigo. Difícil ¿verdad? Pero si sabemos más o menos en qué zona buscar y dado que conocemos

el timbre de su voz podremos ir discerniendo poco a poco; mientras el amigo no deje de gritar, claro.

Finalmente, el 14 de septiembre del 2015 los aparatos registraron una señal que puesta en una bocina (literalmente) emitió apenas un gorjeo. Se detonó la alarma. El Universo había hablado. Cuando el físico Marco Drago en Hannover, Alemania, miró las señales que había recibido por correo electrónico no tuvo dudas: eran señales ondulatorias que habían sido originadas por la colisión dramática y coalescencia de dos agujeros negros masivos, uno de 29 veces la masa del Sol y el otro de 36 veces, que ocurrió hace 1,300 millones de años —la vida en la Tierra comenzaba apenas— y casi tres veces la masa del Sol fue transformada en una onda gravitacional en tan sólo una fracción de segundo. El evento, al que se le llamó GW150914 (no se quebraron la cabeza para nombrarlo), duró 20 microsegundos. El pico de la potencia emitida fue 50 veces la de todo el Universo visible.

¿Pueden darse cuenta que los científicos no tuvieron que ir al lugar del accidente para saber qué originó la señal que sus aparatos detectaron? Esta detección está trayendo como consecuencias dos cosas: 1) la observación de la colisión de dos agujeros negros, predicha ya pero nunca

5 eventos que pueden producir ondas gravitacionales de máxima intensidad





El 14 de septiembre del 2015 los aparatos registraron una señal que puesta en una bocina (literalmente) emitió apenas un gorjeo. Se detonó la alarma. El Universo había hablado.

observada, y 2) la detección por primera vez de una onda gravitacional.

Otra consecuencia “colateral” es que abre paso a una nueva astronomía, la astronomía de las ondas gravitacionales. Con el éxito de LIGO, el experimento eLISA (Evolved Laser Interferometer Space Antenna) cobra fuerza. Son tres naves espaciales distribuidas espacialmente formando un triángulo equilátero con lados de un millón de kilómetros viajando en una órbita heliocéntrica detrás de la Tierra. Los brazos de los interferómetros de LIGO tienen una longitud de 4 km, para aumentar su resolución hay que aumentar su longitud. eLISA es un interferómetro espacial, una antena triangular con lados enormes. Su lanzamiento está planeado para 2034.

Cuando Michelson era todavía un adolescente, en 1865, Julio Verne publica su novela *De la Tierra a la Luna*, que después se completa con *Alrededor de la Luna*. Es muy probable que Michelson leyera

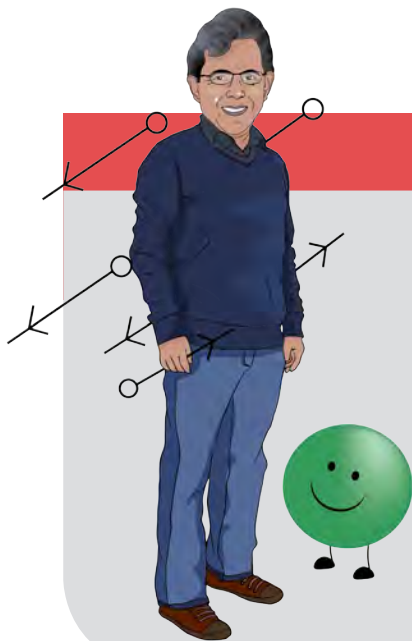
a Verne, pero es muy improbable que pudiera imaginar que su invento, que usó con Edward Morley para detectar el viento del éter, el interferómetro, podría ser puesto en órbita y en forma de antena gravitacional comenzar a enviarnos las voces de un Universo parlante, abriendo paso a una nueva astronomía basada en las ondas gravitacionales que, a diferencia de las ondas electromagnéticas, cruzan el espacio impunemente sin hacer caso de las estructuras de materia.

En el Departamento de Física del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) existe un grupo dedicado a la investigación de los fenómenos que ocurren en el cielo. En particular, se realizan simulaciones de galaxias y de formación de grandes estructuras que agrupan miles y miles de galaxias. Además, se investigan dos enigmas en el Universo: la energía oscura y la materia oscura que ocupan más del 90% del inventario cósmico (lo que prácticamente significa que casi todo el Universo es desconocido).

Mario Alberto Rodríguez-Meza

Es licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Obtuvo el grado de doctor en Ciencias (Física) en la Universidad Autónoma de Puebla, siendo el primer graduado de Doctorado en ese estado de la República.

Entre sus autores preferidos están José Saramago, Franz Kafka, Enrique Vila-Matas, Julio Cortázar, Efrén Hernández, Juan Rulfo y Mario Vargas Llosa. Le gusta el mezcal, el tequila y la cerveza artesanal. Dice que si alguien logra encontrar la marca de tequila *El orín del diablo* que le avise, pues recibirá una recompensa a cambio. No tiene personaje favorito, salvo los que él inventa, como el “profesor Bogolyubov” o el “doctor Sesos”. Para quitarse la tensión acumulada es locutor en la BBGKY, *La Ininita*, su estación favorita.





Frenar al efecto invernadero



Francisco Granados Correa

Las altas concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico han provocado un fenómeno conocido como efecto invernadero, cuyas consecuencias en la naturaleza son deshielos, altas temperaturas, lluvias torrenciales y desertificación. Gracias a la investigación científica se están generando alternativas para frenar este fenómeno y cuidar al ambiente.

¿Has notado que hace más calor? Esto es debido a la acumulación de gases de invernadero. Y aunque pueden componerse de diversas fuentes naturales, gran parte de su composición se debe a fuentes artificiales. Cuando el ser humano comenzó a utilizar los combustibles fósiles como modelo energético, las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y otros gases comenzaron a aumentar exponencialmente.

El efecto invernadero es un fenómeno en el que ciertos gases retienen energía emitida por el suelo, después de haber sido calentados por la radiación solar, produciendo una elevación de la temperatura, similar a lo que ocurre en un invernadero. La acumulación de CO_2 es culpable del aumento de sequías e inundaciones, mayor frecuencia de huracanes, deshielo progresivo de los polos y otros fenómenos climatológicos.

De acuerdo con datos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) se estima que cada año se emiten en el mundo más de 30 mil millones de toneladas de CO_2 a la atmósfera. Esto se debe a la quema excesiva de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) en plantas industriales o generadoras de energía eléctrica.

Una medida para contrarrestar los efectos de las concentraciones de CO_2 es evitar su acumulación en la atmósfera. Por ello, se ha hecho énfasis en su captura en fuentes estacionarias, es decir, donde se produce, como las chimeneas de las plantas generadoras de electricidad, de vidrio, cementeras y

otras grandes industrias. Con este procedimiento pueden ser capturadas importantes cantidades de CO_2 de una manera segura y confiable al hacer pasar los gases producidos a través de una columna.

Te preguntarás ¿qué es una columna? Es una unidad de captura de grandes dimensiones empacada con material absorbente, que bajo óptimas condiciones de presión y temperatura, captura o absorbe el CO_2 para liberarlo posteriormente y almacenarlo con el fin de utilizarlo después en diversas industrias, como en la gasificación de refrescos, elaboración de polvos para extinguir fuegos, preparación de aspirinas efervescentes y otras aplicaciones.

El proceso con el que funcionan las columnas es conocido como absorción, un fenómeno fisicoquímico donde las partículas de un contaminante se acumulan sobre la superficie (la sustancia que se absorbe se denomina absorbato y el material sobre el que lo hace es el absorbente). La absorción se distingue de la adsorción porque esta última implica la acumulación de la sustancia sólo en su superficie. Entonces ¿necesitamos absorbentes? ¡Por supuesto! debido a que son capaces de absorber el CO_2 , ya sea en su superficie, mediante interacciones (débiles o fuertes) entre el absorbente y el absorbato, o dentro de sus poros, mediante la difusión de las moléculas de CO_2 .

La tecnología para capturar CO_2 se está volviendo popular. Algunos de los absorbentes preferidos son carbones naturales o activados, obtenidos a par-





El CO₂ capturado puede ser utilizado en diversas industrias, como en la gasificación de refrigeradores, elaboración de polvos para extinguir fuegos, preparación de aspirinas efervescentes y otras aplicaciones.



tir de desechos agroindustriales. Los materiales estudiados tienen ventajas y desventajas de acuerdo con su eficiencia, selectividad y economía. De forma ideal deben tener múltiples poros de reducido diámetro y gran volumen, contar con muchos sitios activos en su superficie donde se absorberá el gas, ser resistentes a altas temperaturas, a la humedad y a los cambios químicos. Un ejemplo de ellos son los nanomateriales con propiedades morfológicas más pequeñas que una micra (milésima parte de un milímetro) y que se han vuelto herramientas fundamentales para la captura de CO₂.

El Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), mediante el proyecto “Quimisorción de CO₂ en óxidos metálicos de aluminio (Al), magnesio (Mg) y calcio (Ca) nanocrystalinos y en sus compositos de hierro (Fe) y níquel (Ni) obtenidos por molienda mecánica”, realiza investigaciones sobre la captura de CO₂ en nanomateriales basados en óxidos de aluminio, magnesio y calcio, y en sus respectivas mezclas metálicas de hierro y níquel.

La cantidad de CO₂ adsorbido se determina usando un equipo llamado termogravímetro (aparato que mide la pérdida de masa de un material cuando es sometido a un intervalo de temperatura), que está unido a un espectrómetro de masas encargado de identificar que la pérdida de masa sea la del gas CO₂.

Los resultados han sido muy satisfactorios y han mostrado que estos nanomateriales capturan eficazmente el CO₂ con óptimos parámetros de absorción (temperatura, presión y tiempo de saturación del gas). En el ININ estamos generando soluciones para frenar el efecto invernadero, al aportar información muy valiosa sobre la captura de CO₂ en importantes óxidos metálicos con forma de nanomateriales. Los resultados obtenidos en las investigaciones contribuirán a abatir la seria problemática del calentamiento global y ayudarán a cuidar el planeta.



Francisco Granados Correa

Es Químico Farmacéutico Biólogo por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), maestro en Seguridad e Higiene Ocupacional por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social del Gobierno del Estado de México, y doctor en Ciencias (Química) por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), donde recibió la Medalla al Mérito Universitario al mejor promedio de su generación.

Su libro preferido es *Cien años de soledad* de Gabriel García Márquez. Le apasiona correr. Le gusta mucho el mango con chile y limón. Admira a Alejandro Magno e Isaac Newton. Además disfruta mucho viendo la serie *Game of Thrones*.



El costo real de las energías



**Eva Margarita Melgar Paniagua
Elizabeth Vega Rangel**

¿Te imaginas las implicaciones sociales y los efectos ambientales que representa encender un foco en tu casa o tener electricidad para cargar tu celular o jugar tus videojuegos o simplemente sentarte a ver tu película favorita en la televisión?

La ciencia, además de iluminar el camino del conocimiento, ha facilitado las actividades cotidianas de la humanidad mediante las herramientas de la tecnología. Sin embargo, algunas veces estos avances tienen consecuencias en nuestro entorno.

El paso del hombre por la Tierra ha dejado huella, debido a las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. Has reflexionado ¿cuánta energía gasta un hogar promedio al día? Supongamos que estás estudiando y al mismo tiempo escuchas música (75 watts o w), en otro lado de tu casa tu familia ocupa la computadora (150 w), ve la televisión (150 w), usa la lavadora (375 w) o calienta comida en el horno de microondas (1,200 w), además de los focos (100 w), el refrigerador (575 w) y en algunos casos el aire acondicionado (2,950 w) que se mantienen trabajando todo el tiempo. En este escenario se gastan 5,575 w equivalentes a 3,575 kilogramos de dióxido de carbono (CO₂) ¡sólo en una hora!

Además de la energía consumida en casa, se producen emisiones directas de CO₂ provenientes de vehículos automotores y de la generación de energía eléctrica. Esta última puede ser generada por diferentes tecnologías, aunque hasta ahora ha predominado el uso de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón. Estos combustibles producen contaminación en la atmósfera, el agua y el suelo (por desecho de aceites quemados), y propician al calentamiento global.

Existen múltiples alternativas para generar electricidad, por ejemplo, las de tipo renovable, que utilizan combustibles inagotables a escala humana. El origen de todas las energías renovables es el Sol, su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos (energía eólica), también ordena el ciclo del agua, causa la evaporación que forma nubes y por ende lluvias, alimenta a los cuerpos de agua (energía hidráulica), ayuda a las plantas a realizar el proceso de fotosíntesis, y se aprovechan directamente las energías solares, tanto en la térmica como en la fotovoltaica. También existen las energías limpias, llamadas así porque su recurso principal no es renovable y son amigables con el medio ambiente. Un ejemplo es la energía nuclear.



El cálculo de las externalidades nos ayuda a determinar qué opciones de tecnología son más amigables con el ambiente, ya que evalúa los impactos positivos y negativos de la provisión de un bien o servicio.





Ante la variedad de opciones de tecnología amigable con el ambiente, ya sea de energías renovables o de energías limpias ¿cómo podemos saber cuál es más amigable con la naturaleza y el ser humano? El cálculo de las *externalidades* nos ayuda a determinarlo, ya que evalúa los impactos positivos y negativos de la provisión de un bien o servicio. Imagínalo como una balanza que es el costo pagado por un bien o servicio (ejemplo: electricidad, gasolina, gas LP), en uno de sus lados se encuentran los daños (enfermedades, deterioro del ambiente, daños materiales) y en el otro los beneficios (confort, calidad de vida) en términos económicos, sociales, ambientales y de salud que involucra su producción y consumo.

Las externalidades evalúan todos los aspectos del ciclo de vida de una planta de energía, desde su desarrollo o planeación, construcción y operación hasta su desmantelamiento o cierre. Los daños se estiman considerando la población expuesta, el tipo de daño a evaluar, la concentración del conta-

minante y la función exposición-respuesta (relaciona un cambio en la concentración del contaminante con un cambio en la incidencia de las enfermedades o mortalidad). En México, se han estimado las externalidades ambientales asociadas a las diferentes tecnologías utilizadas para la producción de energía eléctrica. En una planta nuclear las externalidades incluyen la pequeña cantidad de emisiones de CO₂, de otros contaminantes del aire y las emisiones radiactivas originadas durante la operación de la planta. En el caso de la generación de electricidad con tecnología nuclear, las externalidades son considerablemente inferiores comparadas con el uso de combustibles fósiles y en términos generales muy similares al uso de energías renovables.

La necesidad de evaluar externalidades ambientales es fundamental para optimizar recursos y para cuidar el ambiente. Por ello, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), a través de la Gerencia de Ciencias Ambientales, realiza estudios de evaluación de las externalidades ambientales generadas por contaminantes atmosféricos y de gases efecto invernadero. Los daños al ambiente nos preocupan a todos, por lo que contar con herramientas para la toma de decisiones en cuanto a producción y consumo de energía en México son fundamentales para un mejor futuro.



Eva Margarita Melgar Paniagua

Estudió Ingeniería Química Petrolera en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del IPN, y Doctorado en Ciencias con especialidad en Toxicología Ambiental del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN).

De niña disfrutaba los programas *Tierra de gigantes* y *el Túnel del tiempo*. El libro que más le ha gustado es *Miguel Strogoff* de Julio Verne, quien es su escritor predilecto. Admira a Leonardo da Vinci. Su postre favorito es el pay de queso y su signo zodiacal es Acuario.

Descubrir nuevos materiales



Rafael Basurto Sánchez

Todos los artefactos que se encuentran a nuestro alrededor están hechos de materiales específicos, con el propósito de funcionar mejor y de resistir diferentes condiciones. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) trabaja en el análisis y desarrollo de materiales para descubrir nuevas formas de revolucionar al mundo.

¿Has reflexionado la importancia de los materiales que componen los aparatos que usas? Desde el teflón que hay en los sartenes para evitar que se peguen los alimentos hasta los circuitos que están dentro de la televisión para que la energía pase, han sido escogidos minuciosamente para su funcionamiento adecuado.

En la actualidad, el estudio de los materiales ha tomado mayor relevancia, lo que ha provocado que se desarrollen grupos interdisciplinarios en busca de nuevos y mejores materiales relacionados con síntesis (proceso por el que se obtiene una sustancia compuesta mediante elementos químicos o sustancias simples) y caracterización (establecimiento de las características de un material determinado a partir del estudio de sus propiedades), particularmente en el estudio de la superficie de los materiales.

La superficie de un material es la parte más externa de un cuerpo, es la frontera que lo separa del medio que lo rodea. Desde un punto de vista nanométrico (la mil millonésima parte de un metro), las superficies son capas discontinuas de material que comprenden también parte de la atmósfera que lo rodea. Las primeras tres capas atómicas de material forman la superficie de un cuerpo sólido, eso es aproximadamente el primer nanómetro, y conforme se avanza hacia el interior del material, la composición química va cambiando hasta llegar a la del primer micrómetro, donde se estima que comienza la composición del resto del material.

Determinar la superficie de un material nos ayuda a encontrar nuevas posibilidades de uso y aprovechar sus características. Por ejemplo, el vidrio refractario (material que resiste elevaciones o disminuciones bruscas de temperatura) es capaz de usarse para calentar líquidos o alimentos en un microondas, ya que sus propiedades permiten aumentar la temperatura de la sustancia dentro

del contenedor (taza, plato, etc.) sin que este último se caliente, a diferencia del vidrio normal que aumenta su temperatura rápidamente.

Existen pocas técnicas para poder analizar superficies a nivel microscópico de forma detallada y precisa. La espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) es una de ellas y se basa en el efecto fotoeléctrico (emisión de electrones por un material al incidir sobre él una radiación electromagnética) aplicado en la superficie de los materiales. La información obtenida por esta técnica puede ser aplicada para analizar los átomos de los sólidos antes y después de procesos superficiales, y evaluar el grado de efectividad de ellos. El análisis más básico de una superficie realizado en XPS puede proporcionar información cualitativa y cuantitativa de todos los elementos presentes, excepto del hidrógeno (H) y helio (He). Con aplicaciones más sofisticadas de la técnica se produce información detallada de la organización atómica y la composición química de la superficie. Así, mediante el análisis definitivo es posible determinar qué síntesis es más efectiva para las necesidades que se buscan cubrir.

El desarrollo de síntesis y nuevos materiales se aplica en múltiples industrias, en el caso de las pantallas *touch* significó un salto tecnológico. Las pantallas capacitivas utilizadas en aparatos táctiles son aquellas que funcionan mediante una superficie generalmente de cristal sobre la que actúa un campo magnético, cuando algún objeto entra en contacto con la superficie se distorsiona el campo magnético y esa distorsión determina la posición de la pantalla.

Algunas de las áreas donde ha sido aplicada la espectroscopía fotoelectrónica de rayos X es en medicina, ya que facilita el estudio de la superficie de polímeros para tubos de acero inoxidable que son insertados en las venas para expandirlas y facilitar procedimientos en ella,



En la actualidad, el estudio de los materiales ha tomado mayor relevancia, lo que ha provocado que se desarrollen grupos interdisciplinarios en busca de nuevos y mejores materiales.



también en aditamentos de uso médico, injertos para hueso y otras aplicaciones. Además es utilizada para analizar y sintetizar materiales para el funcionamiento efectivo de múltiples dispositivos y procedimientos, como el flujo de energía o el recubrimiento de materiales (en utensilios médicos, de cocina o circuitos). Por ello, esta técnica resulta de mucho valor para la industria automotriz, nuclear, aeronáutica, espacial y eléctrica.

La industria aeronáutica desde su inicio ha hecho uso de las posibilidades que le brindan los nuevos materiales. ¿Has pensado cómo los aviones son capaces de soportar vuelos a más de 25 mil pies de altura, temperaturas menores de 50 grados centígrados y el peso de más de 700 pasajeros? Esto no es una coincidencia, las aeronaves están fabricadas de diferentes materiales, el principal es el aluminio que ofrece ligereza, resistencia y alta conductibilidad eléctrica y térmica. También se compone de aleaciones (por ejemplo, en las zonas del aparato que trabajan a tracción) para el recubrimiento de las alas que se compone de aluminio y cobre. Otros materiales utilizados son titanio, níquel, zinc y magnesio.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) cuenta con un espectrómetro de fotoelectrones inducidos por rayos X Thermo Scientific modelo K-Alpha para estudiar el contenido elemental y los estados químicos superficiales de muestras sólidas, secas, no magnéticas y no radiactivas. Con esta técnica se han realizado diversas investigaciones que innovan en la producción científica y tecnológica, pero sobre todo que son capaces de garantizarnos una mejor calidad de vida.

Rafael Basurto Sánchez

Estudió Ingeniería Metalúrgica en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Actualmente, estudia la Maestría en Ciencia de Materiales en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Los pasatiempos que más disfruta son ver cine, leer y jugar voleibol. Uno de sus libros favoritos es *México Bárbaro* de John Kenneth Turner, pues inició su gusto por la lectura. Su personaje favorito es *Genovevo de la O*, porque considera que él inspiró la carrera militar de Emiliano Zapata.



Acelerar la salud alimentaria



Rubén Gómez Cervantes



Hoy día, además del cuidado en la producción de alimentos existe una nueva necesidad: que los alimentos estén libres de bacterias y de microorganismos dañinos para la salud. Con tecnología nuclear podemos garantizar desbacterización, sanitización e inocuidad de los alimentos.

“¡Acábate esa comida!, ¡no ves que hay muchos niños en el mundo que no tienen qué comer!”. Este es uno de los dichos más populares de las mamás para que sus hijos se acaben el plato de comida. Lamentablemente esta expresión resulta muy cierta en varios sentidos. Abastecer de alimentos a los habitantes del planeta es una ardua tarea, que además implica muchos aspectos, entre ellos mantener los alimentos libres de microorganismos patógenos, en un componente de la labor conocida como *seguridad alimentaria*.

En la actualidad es necesario asegurar mejores condiciones para la producción y consumo de alimentos. Esta es una meta que diversos países e instituciones esperan cumplir. Por ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) han presentado alertas mundiales con respecto a la seguridad alimentaria.

Las perspectivas para mejorar la seguridad alimentaria a largo plazo se sustenta, entre otros factores, en el papel que la tecnología pueda realizar. Por ejemplo, existen diversos métodos para producir alimentos limpios a través del uso de la tecnología nuclear. Para explicarla es conveniente definir dos conceptos básicos: radiación e irradiación.

La radiación es una forma de manifestación de energía que se transmite a través del espacio en forma de partículas u ondas electromagnéticas (por ejemplo, la luz, el calor, los rayos X y los rayos gamma). La irradiación es el proceso mediante el cual se expone un material intencionalmente y de forma controlada a una fuente de radiación, mediante la aplicación de rayos gamma o un haz de electrones (ambas aplicaciones producen radiación que sirve para eliminar microorganismos patógenos o insectos de los productos agrícolas o dispositivos médico-desechables).

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) cuenta con una Planta de Irradiación desde 1980, con la que ofrece servicios para diversos productos como alimentos deshidratados, dispositivos médico-desechables, farmacéuticos, cosméticos, herbolarios, etc. Su efectividad es tan alta que en los últimos años ha tenido que incrementar en un 40% la capacidad del proceso para cumplir con la demanda de sus servicios. La irradiación con rayos gamma es uno de los procedimientos más efectivos para la conservación de alimentos, comparable con la pasteurización, enlatado o congelación. La naturaleza de esta energía rompe las cadenas de ADN de microorganismos dañinos y logra atravesar el empaque del producto sin que altere su estructura interna o externa. La radiación gamma que genera la planta proviene de una fuente radiactiva de Cobalto 60.

Un **acelerador** puede con:

DOSIS BAJA

Desinfestar carnes, frutas frescas y vegetales, además de retardar su maduración

Desinfestar



DOSIS MEDIA

Eliminar microorganismos patógenos presentes en alimentos deshidratados y herbolarios naturistas

Desbacterizar



DOSIS ALTA

Liberar de cualquier microorganismo patógeno presente en dispositivos médico-desechables

Esterilizar





Por otra parte, existen alternativas capaces de fortalecer la producción de alimentos inocuos y sanos, una de ellas es el uso del acelerador de haz de electrones. Este utiliza energía eléctrica para producir electrones (en una terminal de alto voltaje), que después son acelerados con electroimanes y dirigidos al tubo del haz de altas velocidades por la ventana de salida, para guiarlos hacia el material en exposición. La razón de dosis que genera es de 360 mil kGy/h (unidad que mide la rapidez de la dosis de radiación ionizante absorbida por un material determinado), lo que la hace más efectiva que los rayos gamma que producen 10 kGy/h, ¡imagina la gran diferencia!

El uso del acelerador de haz de electrones ha estado en constante crecimiento. Es mejor aceptado por la sociedad debido a que no utiliza material radiactivo ni genera desechos del mismo tipo, tiene alta eficiencia y es capaz de adaptarse a procesos de manufactura y, al contrario de la irradiación gamma, la operación puede interrumpirse cuando se requiera.

El proyecto “Acelerador de Haz de Electrones para Irradiar Productos Industriales” surge de la excesiva demanda de trabajo de la Planta de Irradiación Gamma, que opera a su máxima capacidad en los últimos cinco años. La apertura de esta instalación generará beneficios como el abarcar mercados emergentes, destacar la presencia tecnológica de México en Latinoamérica, fortalecer la infraestructura científica y tecnológica del país e incrementar el potencial exportador de fruta irradiada de México.

El proyecto ha despertado interés en diversos ámbitos, tanto públicos como privados. Cuenta con el respaldo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para la promoción, capacitación y divulgación de la tecnología en México. Estamos buscando otras formas de colaboración con gobiernos estatales para la construcción de un centro de irradiación que promueva el uso de esta tecnología en el ámbito industrial, agroalimentario y académico. Con el desarrollo de proyectos como este, el ININ cuenta con las herramientas y métodos para contribuir a cumplir los objetivos de una alimentación más sana.



Algunos beneficios de la irradiación

No aumenta la temperatura del producto



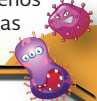
Libera al ambiente de fumigantes y conservadores químicos



Se trata en su envase final. Prolonga la vida anaquel.



Libera al alimento de microorganismos patógenos sin introducir sustancias extrañas



El producto puede ser puesto a la venta inmediatamente después de ser irradiado



Ofrece tratamiento para el control fitosanitario de alimentos frescos



Rubén Gómez Cervantes

Estudió Ingeniería Industrial en la Escuela Militar de Ingenieros. Uno de sus logros personales más importantes fue asistir al intercambio profesional en la Academia Militar “West Point” de Estados Unidos.

Su libro favorito es *Cien años de soledad* de Gabriel García Márquez, su signo zodiacal es Tauro. El personaje que más admira es José María Morelos y Pavón por haber sido un estratega militar por excelencia. Su caricatura favorita era *La Pantera Rosa*.



POLVO DE ESTRELLAS

Jorge Aguilar Balderas



Tal vez alguna noche te has preguntado cuál es el origen de las estrellas y los planetas. Y seguramente también de qué estamos hechos.

Después del Big Bang las partículas elementales crearon grandes cantidades de hidrógeno que fueron esparcidas por el universo. Si existen condiciones de equilibrio entre presión y gravedad, los átomos de hidrógeno se comenzarán a acercarse para formar nuevos núcleos con más protones. Esto ocurre por la interacción de la fuerza nuclear fuerte en un proceso denominado fusión nuclear.

El núcleo de los átomos se conforma por nucleones (**protones y neutrones**).

El número de protones determina las propiedades y características del elemento, además de su nombre.

Todos los núcleos de los átomos, excepto el del hidrógeno (H_1), contienen **cierto número de neutrones**. Gracias a esto es posible tener nuevos elementos, de otra forma, todo el universo sería H_1 .

Los **protones** tienen cargas iguales (positivas +) y al acercarse tienden a repelerse. Entonces para que puedan estar juntos, es necesario que la fuerza nuclear fuerte venza a la fuerza electromagnética.

Así, la **fuerza nuclear** fuerte es la responsable de mantener unidos a los nucleones en el núcleo de un átomo. Para que esta fuerza actúe es necesario que los núcleos de los átomos se acerquen mucho.

¿De qué estamos hechos?

Compuestos de átomos



Si nosotros estamos compuestos de átomos, significa que una vez fuimos parte de una estrella. Tal vez ahora comprendas por qué eres un ser tan especial.

Cuando los elementos esenciales para la vida quedan atrapados en la atmósfera del planeta, y se combinan con las condiciones ambientales adecuadas (además de otros factores), pueden originar organismos unicelulares o pluricelulares, que podrían evolucionar para adaptarse a las condiciones de su entorno y, **tal vez, después de miles de millones de años de haber nacido de alguna estrella, puedan estar leyendo esta infografía.**

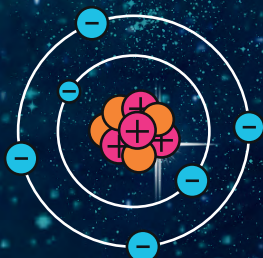
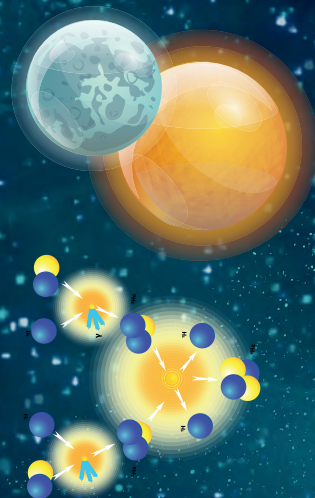
Núcleo de los átomos



Proceso de fusión



En una estrella el **proceso de fusión** se repite hasta que sus núcleos son tan pesados como el hierro. Cuando el material que hace posible la fusión se agota, la fuerza gravitacional hace que la estrella colapse volviéndola más inestable. En algunos casos, se producirá una explosión llamada **supernova**, en la cual se producirán núcleos más pesados que saldrán disparados hacia el universo, para formar **nuevas estrellas, sistemas solares o planetas**.



● electrón
● protón
● neutrón

"Los seres orgánicos, que nos llamamos seres humanos estamos hechos de la misma materia que las estrellas", Harlow Shapley



Visitas guiadas

Conoce las instalaciones
del centro nuclear
de investigación de México.

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



5329 7200,
exts. 11260 y 11262



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



Estancias y servicio social



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

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



5329 7200
exts. 15294 y 15295

www.inin.gob.mx
Sección vinculación



ININmx



@inin_mx



instituto nacional de
investigaciones nucleares