

Apps nucleares



Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes
Año 5 julio-diciembre 2019

CICATRIZACIÓN A ALTA VELOCIDAD
| Aplicación clínica de plasmas no térmicos

REACTORES RÁPIDOS
| Diseño de una nueva generación de reactores nucleares

LA CIENCIA NUCLEAR EN LA CULTURA POP
| Mitos y realidades

REACTORES NUCLEARES NATURALES
| Antes de los dinosaurios y de la humanidad misma



SALUD



INDUSTRIA



CULTURA NUCLEAR



ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



Coordinación de Promoción y
DIVULGACIÓN
Científica

CONTENIDO

1 EDITORIAL

Coordinación de Promoción y Divulgación Científica

2 CULTURA NUCLEAR

LA CIENCIA NUCLEAR EN LA CULTURA POP

Mitos y realidades
Víctor Octavio Hernández Ávila

5 LA IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN EN NUESTRAS VIDAS

¿Por qué dices que le tienes miedo a la radiación?
Jorge Aguilar Balderas

SALUD

8 REPROGRAMAR LAS CÉLULAS

Fabricar órganos y tejidos a la medida
Daniel Luna Zaragoza

11 CICATRIZACIÓN A ALTA VELOCIDAD

Aplicación clínica de plasmas no térmicos
Rosendo Peña Eguiluz

INDUSTRIA

15 (RE)VISIÓN INTRAMUROS

Diagnósticos de durabilidad o vida útil del concreto armado
Ángeles del Consuelo Díaz Sánchez

18 LA OBSERVACIÓN COMO PUNTO DE PARTIDA

Acelerador de electrones Pelletron
Héctor López Valdivia

ENERGÍA

21 LOS ANCESTRALES REACTORES NUCLEARES NATURALES

Antes de los dinosaurios y de la humanidad misma
Miguel Balcázar García

24 REACTORES RÁPIDOS

Diseño de una nueva generación de reactores nucleares
Armando Miguel Gómez Torres

INFOGRÁFICO

28 CICLO DE COMBUSTIBLE EN REACTORES TÉRMICOS Y EN REACTORES RÁPIDOS

Armando Miguel Gómez Torres

Dr. Javier Cuitláhuac
Palacios Hernández
Director General

Dra. Verónica Elizabeth
Badillo Almaraz
Directora de Investigación Científica

M en C. José Ignacio
Tendilla del Pozo
Director de Investigación Tecnológica

Ing. José Walter
Rangel Urrea
Director de Servicios Tecnológicos

Lic. Graciano
Sánchez Espinosa
Director de Administración

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

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
Carlos Marlon Hernández
Freepik

Formación
Grupo Comersia,
por Angélica Balderrama

Año 5, número 10, julio-diciembre, 2019

APPS Nucleares es una publicación semestral de divulgación científica para jóvenes, editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Centro Nuclear "Dr. Nabor Carrillo Flores", Carr. México-Toluca, La Marquesa, s/n, Ocoyoacac, Estado de México, C.P. 52750. Tel. 5529 7219

Editora responsable Elizabeth López Barragán,
elizabeth.lopezbarragan@inin.gov.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 son responsabilidad de los autores. 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 2019, con un tiraje de 2 mil ejemplares.

Distribución gratuita.

EDITORIAL

“Siempre parece imposible hasta que se hace”.

Nelson Mandela

Los aniversarios siempre son fechas especiales, suelen llenarnos de emoción y expectativa, ya que representan un ciclo de esfuerzos y objetivos cumplidos, por eso casi siempre preparamos algo especial para celebrarlos. Puede ser desde un outfit nuevo, un regalo, una fiesta y por supuesto esforzarnos más para alcanzar nuevas metas.

Cumplimos **5 años** de publicar **APPS Nucleares**, lo que representa tener 10 números de la revista de divulgación y eso nos entusiasma, pues nos ha brindado la posibilidad de reinventarnos y esmerarnos como equipo de trabajo, para poner en tus manos una edición especial de aniversario.

Estamos congratulados de contar con diez números de **APPS Nucleares**. Cada aprendizaje acumulado en esta decena de números nos fortalece y renueva nuestra pasión por divulgar las aplicaciones nucleares y sus beneficios, además de exaltar nuestra convicción de darle continuidad a la ciencia.

Estamos conscientes de los tabúes y estigmas generados por la desinformación y la ficción sobre la ciencia nuclear, por lo que en este número nos propusimos romper algunos de los mitos sobre los superpoderes y además aprovechamos para dar a conocer nuestro nuevo espacio de “Crónicas atómicas”, que esperamos disfrutes.

En esta edición de aniversario comprobaremos nuevamente cómo la tecnología nuclear, desarrollada en el ININ, mejora la calidad de vida de las personas en el sector salud. Un ejemplo de ello es la cicatrización acelerada con plasmas médicos, logro palpable que hoy se ve consolidado después de muchos años de trabajo del equipo de Física de Plasmas del ININ.

También conoceremos cómo se desarrollan órganos o tejidos a partir de células madre, algo que antes sólo era imaginable y ahora es una alternativa cada vez más real para todas aquellas personas que esperan anhelantes el milagro de recibir la donación de un órgano.

Ante el reto que ha involucrado y preocupado al mundo entero con respecto a la generación de electricidad mediante fuentes más sustentables y limpias, una vez más la tecnología nuclear ofrece una opción segura y eficiente para lograr el abastecimiento energético con reactores rápidos o de cuarta generación. Te decimos cómo funcionan y porqué son la mejor opción.

Celebramos contigo un nuevo comienzo con este **número 10, edición especial del 5° aniversario de APPS Nucleares**, esperando que la encuentres interesante, valiosa y divertida.



ININmx



@inin_mx



gob.mx/inin



ININmx



ININmx

VÍCTOR OCTAVIO HERNÁNDEZ ÁVILA

El conocimiento científico ha facilitado el entendimiento de nuestro entorno, además de mejorar sustancialmente nuestra calidad de vida. La divulgación es una parte fundamental de la ciencia, pues si el conocimiento no llega a la población comienzan a generarse mitos y desinformación. Por ello, es sustancial acercar la ciencia a la sociedad para poder estar en posibilidad de distinguir la realidad de la ficción o lo verdadero de lo falso.



La ciencia nos ha permitido romper límites inespereados y alcanzar nuevas fronteras. De pronto llegar a la luna, bucear a profundidades máximas, curar múltiples enfermedades y generar energía de una forma sustentable dejaron de ser una utopía y se convirtieron en una realidad.

La ciencia es una extensión humana. Para comprender adecuadamente los efectos del progreso científico y tecnológico en la percepción, y comportamiento de la sociedad es necesario considerar múltiples aspectos, como los acontecimientos políticos y la cultura popular o "pop".

El término inglés pop deriva de la palabra popular. Hace referencia a las expresiones culturales y manifestaciones artísticas consumidas por las clases populares.



El término cultura popular o mejor conocido como "cultura pop", se acuñó en las primeras décadas del siglo XX con la aparición de los medios de comunicación masivos como la televisión, la radio, el cine, la prensa (incluidas las tiras cómicas o cómics) y posteriormente el internet. La cultura pop se define como un conjunto de expresiones culturales y manifestaciones artísticas, consumidas por las clases populares. Se caracteriza por su capacidad para transmitir datos de forma masiva, accesible y que tiene como fin el entretenimiento.

Un ejemplo de la relación de la ciencia con la cultura pop, en la literatura, son las novelas del escritor Julio Verne, quien es considerado el precursor del género de la ciencia ficción.

Sin embargo, en la ciencia ficción no sólo se ven reflejados las ideas más imaginativas o creativas, también se reproducen una buena dosis de preocupaciones y reflexiones sobre el desarrollo científico y tecnológico. Por ejemplo, la novela *Un mundo feliz* del escritor Aldous Huxley, publicada en 1932, aborda temas como la ingeniería genética y la inseminación artificial, pero principalmente la preocupación por una sociedad jerarquizada y excesivamente estimulada por la tecnología. Una distopía.

Es importante destacar que las expresiones de la cultura pop no siempre se basan en información verídica. En algunos casos las referencias de la cultura pop tienen fundamento científico, pero en otros son tergiversadas e incluso exageradas.

MITOS Y REALIDADES DE LA CIENCIA NUCLEAR EN LOS CÓMICS

	MITO	REALIDAD
<p>Fuerza descomunal</p>	<p>Convertirse en un ser con una fuerza descomunal como El increíble Hulk debido a la exposición a radiación gamma.</p>	<p>Este tipo de radiación es bastante penetrante. La exposición de un organismo vivo a altos campos de radiación de este tipo, sin protección alguna, sería mortal. En la vida real, los científicos han conseguido crear aplicaciones benéficas como la irradiación de alimentos (método de conservación) y de esterilización de materiales desechables médicos. La fuerza de esta energía permite destruir las cadenas de ADN más débiles, como lo son las de bacterias y organismos patógenos. En la vida cotidiana nunca nos exponemos a una dosis de radiación tan alta.</p>
<p>Crecimiento monstruoso</p>	<p>La idea fantástica que existe sobre la mutación se caracteriza por ser "grotesca y espontánea", es decir, que genera cambios radicales en los organismos. Por ejemplo, en la historia original de Godzilla se argumenta que una colonia de iguanas se expuso a radiación ionizante y creció de manera gigantesca.</p>	<p>Lo cierto es que las mutaciones son cambios en la secuencia del ADN que producen una variación en las características del organismo en cuestión. La idea fantástica de mutaciones y cambios radicales en los organismos mediante la exposición a la radiación ionizante es completamente falsa.</p>
<p>4 cualidades sobrehumanas</p>	<p>En la ficción Los 4 Fantásticos se exponen a la radiación cósmica en el espacio y obtienen superpoderes.</p>	<p>Los seres vivos estamos expuestos a la radiación cósmica que se compone de partículas subatómicas procedentes del espacio exterior, cuya energía es elevada. Debes estar tranquilo, ya que la atmósfera nos protege al interactuar con la energía de los rayos cósmicos, pues la debilita al grado de volverla inofensiva para nosotros. Gracias al conocimiento adquirido sobre la radiación cósmica se han fortalecido diversas áreas del conocimiento, por ejemplo, la protección radiológica.</p>
<p>Superpoder arácnido</p>	<p>El hombre araña adquirió habilidades y características extraordinarias al ser mordido por un insecto, que estuvo expuesto a radiación ionizante.</p>	<p>Si una araña expuesta a radiación ionizante te muerde no tendrás ni más fuerza o agilidad sobrehumanas. ¿Qué sucedería? En realidad no pasaría mucho, solamente los síntomas normales de la mordedura de una araña, como la picazón, enrojecimiento, dolor y en algunos casos pérdida del conocimiento.</p>



LA IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN EN NUESTRAS VIDAS

| ¿Por qué dices que le tienes miedo a la radiación?

En ese sentido, la ciencia nuclear ha sido el centro de atención de la cultura pop durante décadas, especialmente porque la radiactividad es un elemento casi de ciencia ficción.

La cultura pop es tan avasalladora que ha influido en la opinión de múltiples generaciones e incluso ha modificado la percepción que tienen algunas personas sobre la ciencia.

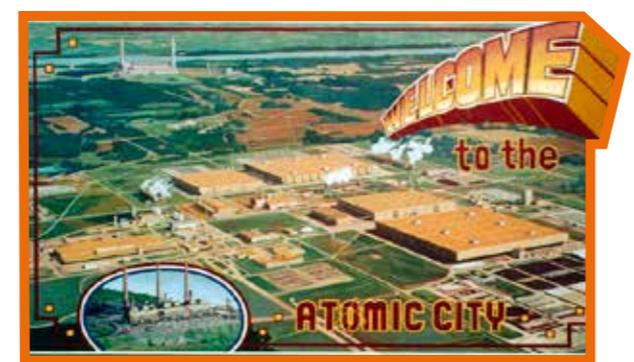
Es claro que la cultura pop mantiene un lazo estrecho con los acontecimientos científicos y políticos del mundo. En el caso de la ciencia nuclear, la cultura pop no sólo reflejó los sucesos que ocurrían en su respectivo tiempo, sino que especuló sobre las posibles aplicaciones y efectos de la tecnología nuclear, de tal forma que le dio rienda suelta a las expectativas y miedos de la población. El temor a la ciencia nuclear ha experimentado avances y retrocesos, sobre todo porque ha estado ligado a un desconocimiento general sobre el tema y a la ausencia de información rigurosa.

Aunque en 1953, el entonces presidente estadounidense Dwight Eisenhower presentó el discurso Átomos para la paz, en el cual habló sobre los usos benéficos de la tecnología nuclear. Esta campaña tuvo una fuerte influencia en el cine y en la literatura y propició una percepción favorable sobre la ciencia nuclear.

Han pasado varios años de que la cultura pop utilizara a la ciencia nuclear como un recurso y creara variadas historias de ciencia ficción. Pero vale la pena recordar que somos los lectores los responsables de los contenidos que consumimos y debemos informarnos adecuadamente (con fuentes legítimas) para construirnos un criterio, sin sesgos ideológicos, que nos permita discernir la realidad de la ficción.



Ante la ola de popularidad de la energía nuclear, un pueblo ubicado en Idaho, Estados Unidos de América, cambió su nombre de Midway a Atomic City en la década de 1950.



VÍCTOR OCTAVIO HERNÁNDEZ ÁVILA

Estudió la Licenciatura en Comunicación en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Cursó el diplomado Apropriación social de la ciencia, impartido por el Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (Comecyt) y el seminario permanente en *Comunicación de la Ciencia*, por la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc).

Está orgulloso de toda la gente que aprecia, por su esfuerzo constante para ser mejores. Le tiene miedo a las alturas. Si pudiera pedir un deseo sería que la gente fuera mucho más empática. De esa manera la calidad de vida e integridad de todos se vería sumamente beneficiada. Sus libros favoritos son *¿Por quién doblan las campanas?* de Ernest Hemingway y *El lobo estepario* de Hermann Hesse. Admira a Martin Luther King por la valiente lucha social que realizó en contra de la pobreza, la guerra y el racismo. Disfruta de leer, jugar videojuegos y conversar. Actualmente es redactor y desarrollador de contenidos en la Coordinación de Promoción y Divulgación Científica del ININ.



JORGE AGUILAR BALDERAS

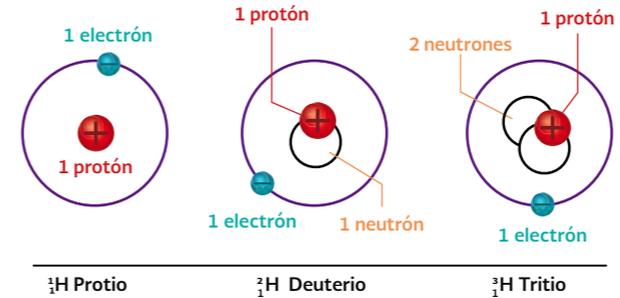
Cuando escuchamos la palabra radiación es posible que la relacionemos con el concepto peligro. Sin embargo, vivimos inmersos en todo tipo de radiaciones, ya sean naturales o artificiales, y la vida en la Tierra como la conocemos no sería posible sin la interacción de la radiación y de todos los seres vivos que habitan en el planeta.



Diariamente y de manera constante interactuamos con radiaciones. Por ejemplo, las radiofrecuencias y frecuencias celulares de los teléfonos móviles con los que nos comunicamos o las microondas de los hornos con las que calentamos nuestros alimentos. Sin embargo, este tipo de radiación no tiene la energía que pudiera causar algún daño por ionización.

Existe un tipo de radiación con mucha energía, llamada radiación ionizante. Este tipo de radiación es responsable de que muchos procesos en la naturaleza sucedan y permite que la vida en la Tierra sea posible. Cabe recordar que la materia se compone de átomos, de acuerdo al número de protones que contenga cada átomo le damos nombre a los elementos, y que con ellos se forman moléculas, materiales y organismos.

Podemos tomar cualquier elemento en la tabla periódica. Por ejemplo, el hidrógeno. En la naturaleza encontramos tres tipos de hidrógeno: Protio (H_1), Deuterio (H_2) y Tritio (H_3). Estas especies son llamadas isótopos y son las únicas que tienen un nombre en particular (a pesar de ello todas ellas son hidrógeno). Químicamente se comportan igual pero nuclearmente son diferentes.



Si observas bien lo único que cambia es su núcleo. Un núcleo con mayor masa significa un núcleo con mayor nivel energético.

En la naturaleza casi todos los átomos son energéticamente estables debido a la proporción entre el número de neutrones y protones en su núcleo. Ello se traduce en un equilibrio entre la fuerza nuclear fuerte y la fuerza de repulsión eléctrica. Y conforme el número de nucleones aumenta la inestabilidad energética también lo hace.

Así como los seres humanos buscamos estabilidad (emocional o económica), los átomos también pretenden ser estables energéticamente y lo logran mediante decaimientos radiactivos o reacciones nucleares. En cualquiera de los casos, los núcleos que van de un nivel energético mayor a uno menor tiene como consecuencia la emisión de radiación o radiación ionizante.

Si un núcleo tiene un exceso de masa y un número de protones y neutrones no equilibrados, entonces es un isótopo inestable o radionúclido. Para que un radionúclido tenga estabilidad emite radiación ionizante, ya sea en forma de radiación electromagnética (rayos gamma) o en forma de partículas (alfa, beta, neutrones). El tritio, por ejemplo, es un emisor de radiación beta.

Entre otros isótopos inestables que se forman en nuestra atmósfera están: Carbono 14 (^{14}C), Berilio 7 (7Be), Berilio 10 (^{10}Be), Sodio 22 (^{22}Na), Sodio 24 (^{24}Na). A estos radionúclidos se les conoce como radionúclidos cosmogénicos.

El ^{14}C , al igual que el tritio, se forma en la atmósfera y luego entran a la biosfera, ya que el comportamiento químico de los isótopos es el mismo, posteriormente forman enlaces moleculares con los diversos átomos en la naturaleza. En el caso del tritio forma agua, llamada agua tritiada (HTO), así

que podemos encontrar trazas de tritio o deuterio en cualquier efluente de agua. Finalmente, el ^{14}C formará $^{14}\text{CO}_2$ lo que indica que podríamos respirarlo e incluso podría formar parte de las cadenas moleculares de nuestros alimentos.

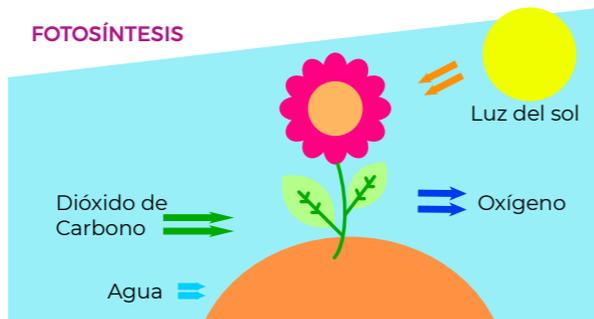
En las estrellas y supernovas se producen los átomos. Varios de estos átomos tienen núcleos inestables y se encuentran en decaimiento radiactivo hasta por miles de millones de años atrapados en la corteza de los planetas, como son los casos del Potasio 40 (^{40}K), Uranio 238 (^{238}U) y el Torio 232 (^{232}Th), los cuales son llamados radionúclidos primordiales.

Los radionúclidos productos del decaimiento de estos, como son el Torio 234 (^{234}Th), Radón 222 (^{222}Rn) o el Radio 226 (^{226}Ra), son productos del decaimiento del uranio y se encuentran en los materiales de construcción. De hecho, el ^{222}Rn es el gas radiactivo que más inhalamos, ya que se encuentra en los materiales de construcción de nuestros hogares.

Los radionúclidos que se forman en la naturaleza pasan a nuestra biosfera, particularmente a las plantas, pues absorben minerales o agua a través de sus raíces y estos materiales pueden contener trazas de material radiactivo, y después pasar a la cadena alimenticia. Es el ^{40}K el radionúclido de mayor importancia en el consumo de alimentos, el cual es emisor de radiación gamma.

Otra forma de radiación es la que genera una partícula cargada en movimiento. La partícula emitirá radiación electromagnética. Gracias a ello tenemos equipos de diagnóstico y tratamiento médico. Seguro conoces la importancia de una radiografía.

Si te queda duda de la importancia de la radiación en nuestras vidas te diré que vivimos inmersos en todo tipo de radiaciones y hemos evolucionado con esas pequeñas cantidades de material radiactivo. De hecho, respiras gracias a la luz del sol, ya que este tipo de radiación electromagnética interacciona con la clorofila que contienen las plantas



y la descomponen en el oxígeno que respiramos y el azúcar que nos comemos.

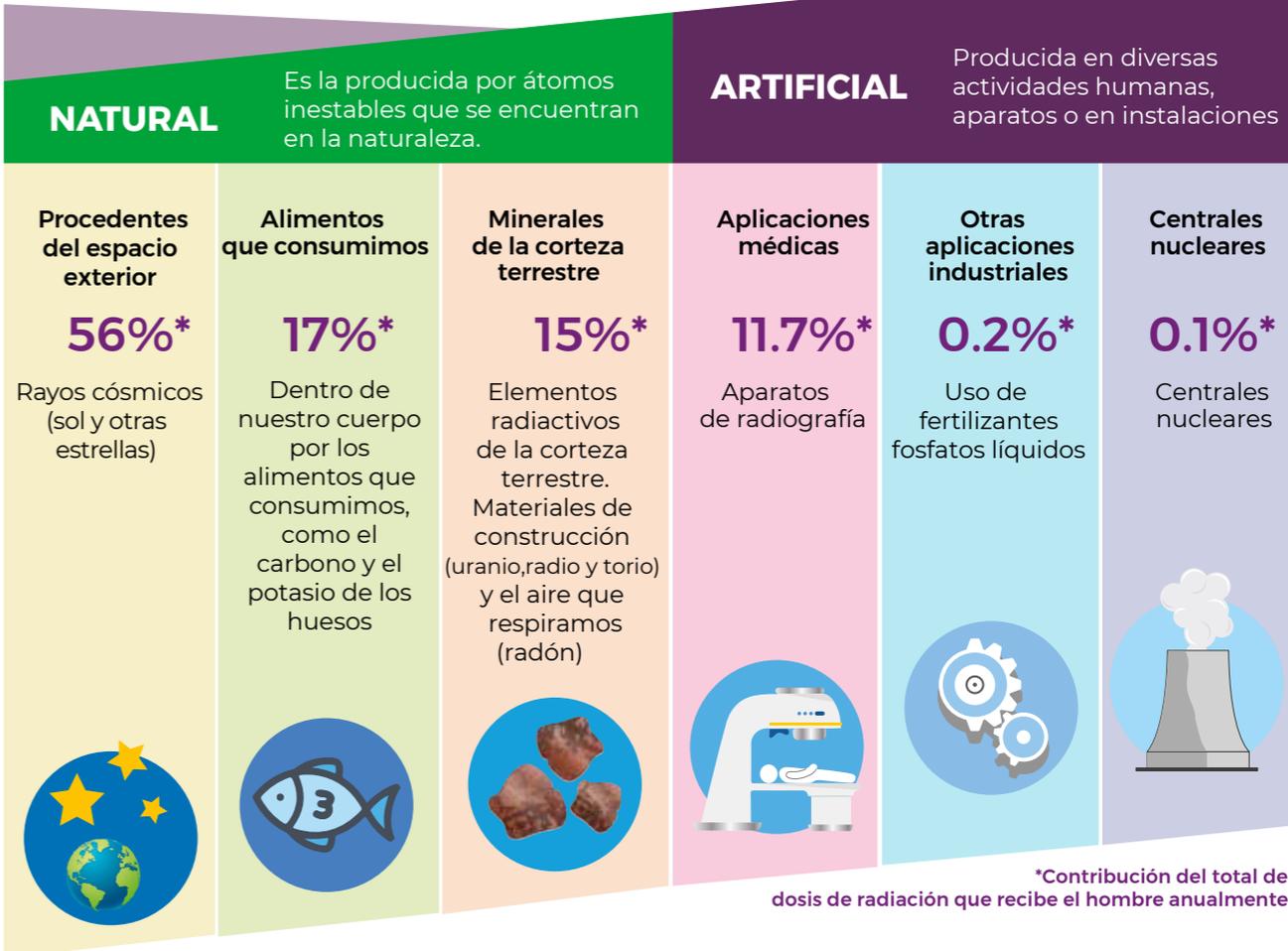
Todos nosotros absorbemos cierta cantidad de energía procedente de las fuentes naturales y artificiales de radiación. La cantidad de energía absorbida (también llamada dosis) se mide en la unidad conocida como gray (Gy). La dosis recibida dependerá de muchos factores, como la composición de la corteza terrestre, la latitud, longitud y la altura sobre el nivel del mar. Otros factores son los hábitos de entretenimiento, alimentación, lugar de trabajo, tipo de tratamiento médico que se reciba y de la actividad física del individuo.

El daño biológico causado por la energía absorbida se conoce como equivalente de dosis y se mide en sievert (Sv). En México, el Reglamento General de Seguridad Radiológica establece que el valor de equivalente de dosis al público es de 5mSv por año. En total tenemos un valor aproximado de 3mSv por año, el cual está por debajo del límite establecido.

Como podrás observar, el equivalente que recibimos es mayor por las fuentes de radiación natural que por las creadas por el hombre. Además, la radiación siempre ha sido una pieza clave para la vida en la Tierra. Ahora que conoces más de ella puedes dejar de tenerle miedo y conocer más del fascinante mundo de la ciencia y tecnología nuclear. Así que ya lo sabes, gracias a la radiación el día de hoy podemos estar leyendo este artículo.

Conocer más sobre la radiación, la manera en que se produce y cómo interactúa con la materia nos ha permitido protegernos y usarla para nuestro beneficio en muchas aplicaciones provechosas para la sociedad.

FUENTES DE RADIACIÓN



Referencia: HERNÁNDEZ, A. M. et. al (2012) ¡Un Mundo Radiactivo!. Naturalis, 19, 7



JORGE AGUILAR BALDERAS

Estudió la Licenciatura en Física y Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), y la Maestría en Ciencias en Ingeniería de Materiales en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

Le tiene miedo a no poder vencer sus temores. Su mayor deseo es que pudiera viajar y conocer el mundo entero. Sus caricaturas favoritas eran los *Thundercats* y los *Transformers*. También disfrutaba de *El príncipe del Rap* y hasta la fecha le gusta la saga de *Star Wars*. Su lugar favorito es junto a su familia, está agradecido de contar con una gran familia. Disfruta mucho de una buena cerveza y de un sabroso plato de cochinita pibil. Admira a Michael Faraday. Actualmente, colabora en el Departamento de Educación Continua.



SALUD

REPROGRAMAR LAS CÉLULAS

| Fabricar órganos y tejidos a la medida

DANIEL LUNA ZARAGOZA

Actualmente, existen más de 21 mil pacientes en lista de espera que necesitan órganos o tejidos y todos los días esta lista va en aumento debido a que las donaciones en México son bajas. Pero la tecnología nuclear nos ha abierto un abanico de posibilidades para ayudar en este ámbito de la salud y mejorar la calidad de vida de muchas personas.



El cuerpo humano es un organismo sumamente complejo, compuesto de múltiples elementos. Primero se encuentran los sistemas, como el caso del muscular, que se encarga de la mecánica del movimiento del cuerpo humano. Estos sistemas cuentan con órganos que llevan a cabo funciones específicas, como el corazón, cuya función es bombear la sangre a todo el cuerpo. Los órganos a su vez están compuestos por tejidos como el hueso, el cual contiene dos fases: una orgánica y otra inorgánica (esta última está formada de un mineral llamado hidroxapatita). Finalmente, los tejidos están compuestos por células.

En la fase orgánica de los tejidos existen células que producen los diferentes materiales que las rodean dándole forma al tejido. Este material se

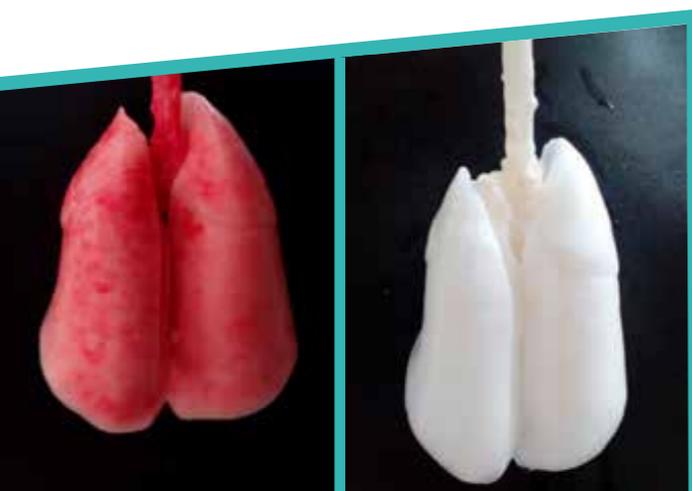
llama material extracelular, también conocido como andamio o biomaterial, y está compuesto de proteínas (como el colágeno), de proteínas no colagenosas e hidratos de carbono.

En el cuerpo humano existen células indiferenciadas, **también llamadas células troncales o células madre**, capaces de evolucionar en los 200 tipos de células diferenciadas, es decir, como células óseas o sanguíneas, entre otras.

Hasta hace poco el mecanismo de diferenciación era desconocido, pero ahora se sabe que existen ciertas proteínas en el cuerpo, llamadas factores de crecimiento, que pueden inducir la diferenciación de las células troncales. Un ejemplo son las células óseas, que pueden ser obtenidas a partir de una célula indiferenciada (célula troncal mesenquimal) y una proteína llamada proteína morfogenética ósea (BMP por sus siglas en inglés).

Se creía que las células indiferenciadas una vez que se diferenciaban ya no podrían regresar a su estado inicial. Sin embargo en 2006, el científico japonés Shinya Yamanaka utilizó cuatro proteínas en células de piel de ratón y logró transformar una célula diferenciada (célula de piel) en célula indiferenciada. ¡Lo que se creía imposible! Y en 2007 logró lo mismo pero con células humanas.

Gracias a sus investigaciones, Shinya Yamanaka obtuvo el Premio Nobel de Medicina en 2012 y abrió la puerta para realizar investigaciones en la fabricación de órganos y tejidos a la medida. Impresionante, ¿verdad?



Pulmón de conejo

Pulmón de conejo descelularizado

Es un hecho que la creación de órganos y tejidos a la medida mejora sustancialmente la calidad de vida de los seres humanos. Como te comenté en **APPS Nucleares #1**, el trasplante de órganos es la única y última solución para miles de personas que sufren un deterioro irreversible debido a enfermedades o accidentes.

El tipo de donación más común se da cuando la causa de fallecimiento del donador es por muerte cerebral. La necesidad de trasplantes es tan alta que para que un paciente pueda conseguir un órgano de donadores fallecidos debe estar en una larga lista de espera, dependiendo del órgano.

Debido a la alta demanda de órganos y tejidos a nivel mundial nació un área llamada **ingeniería de tejidos**, la cual parte del desarrollo de biomateriales y se basa en la combinación de andamios, células y moléculas bioactivas para crear órganos o tejidos funcionales. El objetivo de esta área es reparar, reemplazar, mantener o mejorar la funcionalidad de los órganos o tejidos de un organismo.

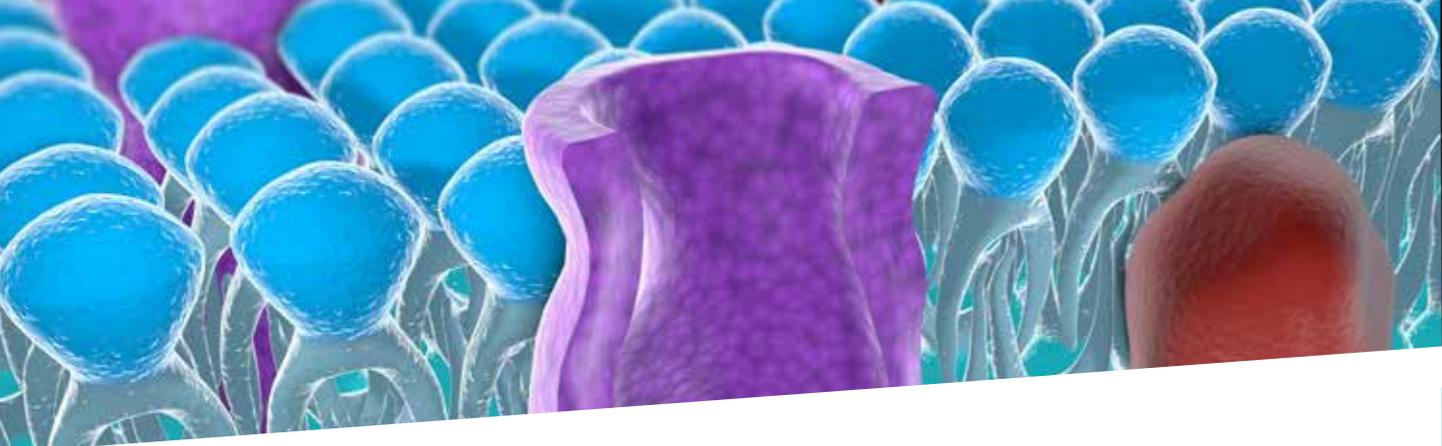
Actualmente, se fabrican órganos laminares como la piel, utilizando una mínima fracción de esta, mediante técnicas digestivas (enzimáticas). Se separan las células presentes, posteriormente se concentran las células troncales de queratinocitos y con medios de cultivo en condiciones estériles, las células troncales se hacen crecer en frascos de cultivo sobre andamios y factores de crecimiento. Es así como de una mínima fracción de piel se pueden obtener grandes áreas de piel.

También se están desarrollando órganos tubulares como arterias, venas y tráqueas. Incluso, se ha iniciado la preparación de órganos huecos como la vejiga, el esófago y el útero de modo similar a los tubulares, en lugar de frascos de cultivo se utilizan bioreactores porque los órganos son voluminosos. El siguiente reto es la fabricación de órganos sólidos mediante ingeniería de tejidos, como el corazón, el pulmón, el riñón, el hígado y el páncreas.

Por otro lado, se está trabajando con impresoras en tercera dimensión para obtener andamios y ór-

FABRICACIÓN DE UN ÓRGANO O TEJIDO A LA MEDIDA





CICATRIZACIÓN A ALTA VELOCIDAD

| Aplicación clínica de plasmas no térmicos

ganos con resultados alentadores. Sin embargo, la obtención de órganos sólidos para trasplantarse en humanos todavía tomará algún tiempo.

El Banco de Tejidos Radioesterilizados (BTR) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se dedica al procesamiento de tejidos biológicos para trasplante, como amnios, piel, hueso, fascia lata, tendones y ligamentos, los cuales son esterilizados con radiación gamma de cobalto-60. También se están investigando varios biomateriales, en donde se combinan fases orgánicas e inorgánicas para desarrollar compósitos que pueden funcionar como sustitutos de hueso. Otro biomaterial es la escama de pescado, la cual es similar al hueso (a), nada más que su contenido de la fase inorgánica es menor. Cuando se elimina esta fase

inorgánica se obtiene colágeno de escama (b). Sobre esta última se han sembrado fibroblastos para obtener apósitos biológicos con potencial para curar quemaduras (c).

Se ha colaborado con otras instituciones para obtener piel por ingeniería de tejidos, en donde se usan como andamios colágeno de escama, amnios y piel porcina, posteriormente se hacen crecer fibroblastos (célula residente del tejido conectivo) o queratinocitos (células predominantes de la epidermis) en condiciones controladas, para su potencial aplicación en quemaduras de piel de segundo grado profundo.

Otras investigaciones que se realizan en el BTR del ININ se enfocan en descelularizar órganos de animales pequeños (por procedimientos biotecnológicos), con el fin de obtener andamios de órganos específicos, como corazón, pulmón, hígado y riñón, para que en un futuro cercano se pueden sembrar las células correspondientes y obtener órganos por ingeniería de tejidos.

La donación de órganos es una acción necesaria para salvar vidas. Por ello en el ININ realizamos múltiples investigaciones y esfuerzos en la fabricación de órganos y tejidos a la medida para salvaguardar la integridad y la salud de la población.



DANIEL LUNA ZARAGOZA

Estudió la Licenciatura en Química y la Maestría en Ciencias Nucleares en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), posteriormente realizó el Doctorado en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Toluca.

Está orgulloso de ser mexicano, ha conocido diferentes lugares de nuestro país y considera que "como México no hay dos". Si pudiera pedir un deseo sería que el ser humano pudiera vivir sin enfermedades. Su película favorita es *Avatar*. Su comida favorita es el coctel de camarones y la bebida chiapaneca tascalate. Disfruta practicar squash y coleccionar cactáceas. Actualmente, colabora en la Gerencia de Aplicaciones Nucleares en la Salud.



ROSENDO PEÑA EGUILUZ

En APPS Nucleares #2 te conté sobre los superpoderes de los plasmas médicos y la posibilidad de desarrollar métodos y técnicas aplicando el plasma no térmico para reestablecer la salud de pacientes sin causar efectos adversos, además de acelerar los procesos naturales de cicatrización de las heridas. Ahora te revelo que ya existe el desarrollo tecnológico de un generador de plasma no térmico aplicado en medicina, que puede cumplir con todo lo que habíamos previsto.



La realidad siempre supera a la ficción. En el caso de nuestras investigaciones en plasma enfocadas en la salud hemos logrado lo que en algún momento parecía muy lejano. Mediante la aplicación de la tecnología de plasmas es posible cicatrizar heridas en un tiempo reducido de curación. ¡Tal como lo hacía Superman!

En el Laboratorio de Física de Plasmas del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se han desarrollado desde hace más de una década diversos reactores para la generación de plasmas no térmicos. Uno de los últimos prototipos para aplicaciones médicas, que es el más versátil y ergonómico, del cual tramitamos, en mayo de 2019, la solicitud de registro de patente nacional y de diseño industrial, ya aparece en la Gaceta de la Propiedad Industrial.



Modelo industrial de reactor para aplicación puntual de plasma no térmico a presión atmosférica.

CARACTERIZACIÓN DEL PLASMA



1 Caracterizar las especies químicas generadas a partir de las diversas interacciones del plasma con las moléculas del aire, por lo que es necesario la obtención del espectro de emisión.

2



Identificar los diversos átomos y moléculas que al cambiar de un estado de mayor energía a otro de menor energía emiten un fotón a una frecuencia específica. La frecuencia está directamente relacionada con la diferencia de energía que existe entre los dos estados de energía mencionados, de manera que el espectro resultante es la huella tanto de los átomos como de las moléculas resultantes

3



Estudiar las posibles aplicaciones en diversos laboratorios alrededor del mundo, entre ellos, el Laboratorio de Física de Plasmas y el Departamento de Radiobiología del ININ. En donde se ha demostrado la capacidad del plasma no térmico para desactivar diversos tipos de microorganismos, tales como bacterias Gram-negativas y Gram-positivas, esporas, virus e, inclusive, células cancerosas, en tiempos de exposición del orden de los segundos.

4



Estudiar los efectos del plasma no térmico al interactuar con células y tejidos. Para continuar con su aplicación en pequeñas especies y finalizar con aplicaciones en pacientes. Esto último soportado en protocolos de investigación médica.



Mediante la aplicación de la tecnología de plasmas es posible cicatrizar heridas en un tiempo reducido de curación.

En contadas instituciones en el mundo se están realizando investigaciones médicas del plasma no térmico como terapia para tratar diversos tipos de heridas en humanos. En nuestro caso, los resultados obtenidos de los estudios realizados son impresionantes con respecto de la seguridad y beneficio de su aplicación.

Al aplicar plasma no térmico en una herida practicada en quirófano los resultados han sido sorprendentes. En la **figura 1** se muestra que la herida después de 24 horas no presenta problemas ni de infección ni de abertura espontánea. Además, los pacientes han manifestado



Figura 1. Aplicación de plasma no térmico en una herida practicada en quirófano

sentir muy poca incluso, ninguna sensación de dolor en la herida tratada con plasma, pocas horas después de la intervención quirúrgica. Las heridas tratadas requieren mucho menor tiempo para sanar en comparación con métodos tradicionales de sutura.

En el caso del protocolo médico de heridas crónicas como es el “pie diabético”, se han obtenido resultados que entusiasman a propios y extraños, ya que pacientes que tienen un pronóstico de curación para un periodo de más de un año han sido sanados en tres meses. Los tratamientos se realizaron de lunes a viernes con una sola aplicación de menos de cinco minutos, previa limpieza de la herida y posterior sesión de aplicación de plasma no térmico.

En la **figura 2** se puede observar un caso de “pie diabético” al que se le aplicaron 22 sesiones de plasma no térmico en el transcurso de 45 días, al término de los cuales el paciente fue dado de alta. La primera imagen muestra una herida localizada en la parte media superior de la planta del pie izquierdo que cubre hasta un tercio del ancho de dicha extremidad y que presenta en sus bordes una biopelícula (tapiz o tapete biobacteriano) que impide la formación de tejido sano. En la segunda imagen se muestra una reducción considerable de la biopelícula, una disminución del tamaño de la herida y un cambio evidente de la coloración del tejido expuesto, denotando una mejoría considerable del flujo sanguíneo. Finalmente, la tercera imagen muestra la última etapa de un proceso de cicatrización adecuado.



En contadas instituciones en el mundo se están realizando investigaciones médicas del plasma no térmico como terapia para tratar diversos tipos de heridas en humanos.



Figura 2. Evolución de herida crónica en planta del pie izquierdo

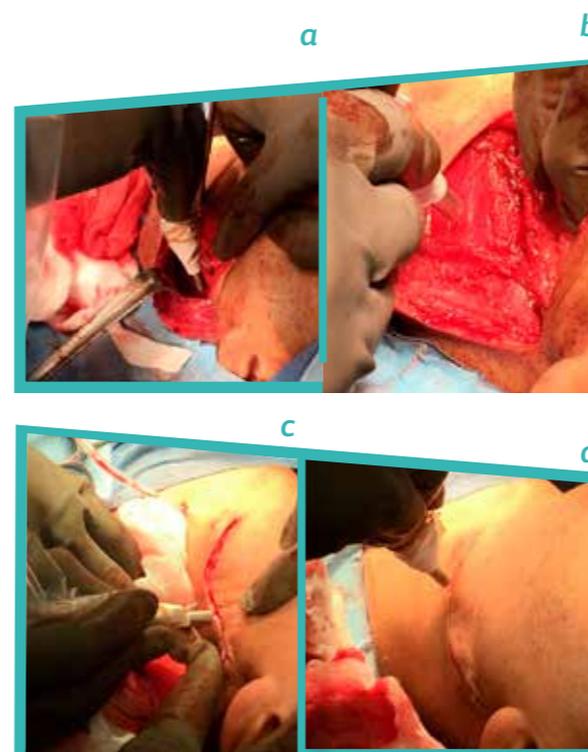


Figura 3. Proceso quirúrgico asistido con plasma no térmico aplicado

A finales de 2018 fue aprobado por el Comité de Investigación en Salud y Ética en Investigación Médica del Instituto de Seguridad Social del Estado de México y Municipios (ISSEMyM) un tercer protocolo de investigación médica con el título “Aplicación del plasma no térmico como tratamiento adyuvante en pacientes post-operados de drenaje de abscesos profundos de cuello”. En este

caso, una vez que se extirpa el tumor se aplica el plasma no térmico desde el lecho, después se cierra el músculo y se aplica el plasma por segunda ocasión, posteriormente se realiza una sutura subdérmica y finalmente se realiza una última aplicación del plasma hasta que los extremos de la incisión tienden a unirse, cerrando totalmente la herida del paciente. Después de este proceso el paciente está prácticamente listo para retirarse a su domicilio, si así lo considera conveniente el cirujano. En las imágenes de la **figura 3** se pueden apreciar las diferentes etapas del tratamiento.

A inicios de 2019 se autorizó otro protocolo médico denominado “Reparación tisular posterior a la toma de biopsia de tejidos blandos y como tratamiento de úlceras recurrentes en cavidad bucal utilizando el plasma no térmico”, avalado por el Comité de Investigación en Salud y Ética en Investigación Médica de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). En este protocolo, que se desarrolla en las instalaciones de la Clínica Orocentro de la Facultad de Odontología de la UAEM, los resultados han sido espectaculares, ya que los pacientes con sólo dos aplicaciones del plasma no térmico, en dos días, quedan totalmente sanados.



La aplicación del plasma no térmico como terapia para tratar diversos tipos de heridas es una alternativa favorecedora para los pacientes, ya que no representa ningún riesgo de infección o complicación.



INDUSTRIA

(RE)VISIÓN INTRAMUROS

| Diagnósticos de durabilidad o vida útil del concreto armado



ÁNGELES DEL CONSUELO DÍAZ SÁNCHEZ

La vida útil de los materiales es variable y depende de las condiciones en las que trabaje. Por ejemplo, un foco puede rendir hasta mil horas y un celular inteligente tiene dos años en los cuales su rendimiento es óptimo. ¿Te has preguntado qué ocurre en el caso de las estructuras de los edificios? Mediante el uso de técnicas electroquímicas es posible apoyar la evaluación de la durabilidad de estructuras de concreto armado.

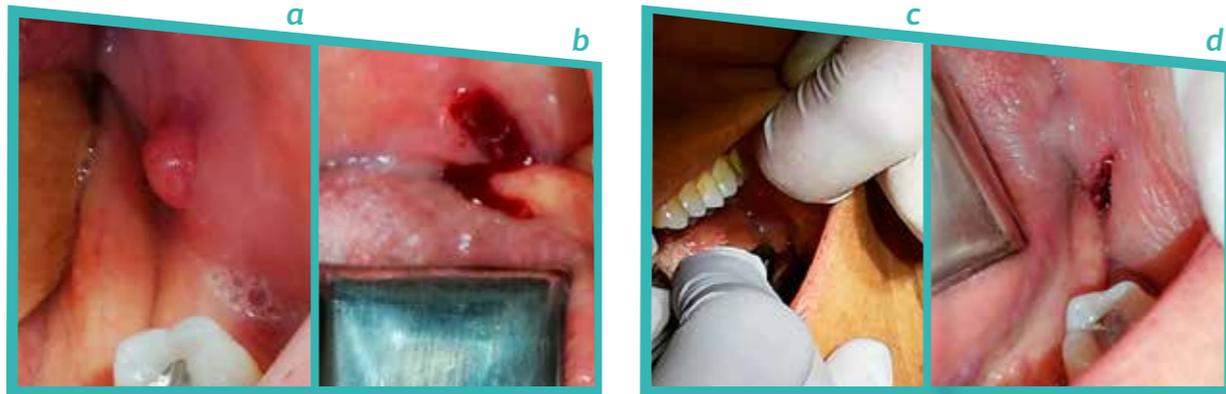


Figura 4. Proceso simplificado de extirpación de úlceras

En las imágenes de la figura 4 se muestra el caso de un paciente sufriendo de una úlcera en la mucosa bucal localizada en la parte inferior izquierda detrás del tercer molar, después de haber sido extirpada dicha úlcera se provocó una hemorragia localizada y sobre la herida producida se aplicó el plasma no térmico, el cual detiene la hemorragia en cuestión de segundos y al mismo tiempo acelera el proceso de cicatrización de la mucosa bucal.

Gracias a la investigación desarrollada en el ININ, en el Laboratorio de Física de Plasmas en colaboración con el Departamento de Radiobiología, se ha logrado beneficiar a diferentes áreas de la medicina, fortaleciendo el sector salud con una propuesta de tecnología nacional eficiente y que compite con tecnología internacional de vanguardia.



La aplicación del plasma no térmico se caracteriza por ser segura y beneficiosa para el paciente.

ROSENDO PEÑA EGUILUZ

Estudió la Ingeniería y la Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Toluca, y el Doctorado en Ingeniería Eléctrica en el Institut National Polytechnique de Toulouse, Francia.

Le tiene miedo a las alturas. Su película favorita de la adolescencia es *Volver al futuro*. Disfruta mucho de estar con su familia. Su comida favorita son los chiles en nogada, las acamayas fritas, su bebida la cerveza oscura. Admira mucho a sus padres y a sus hijos. Colabora en el Departamento de Física del ININ.



Uno de los principales mecanismos de daño que afecta la durabilidad de las estructuras del concreto armado es la corrosión. Mantener la seguridad de la integridad de las estructuras o edificaciones, ya sean civiles e industriales, es muy importante. Por ello, cuantificar el daño estructural del concreto armado se ha vuelto un tema cada vez más relevante y de interés en los años recientes.

Universidades como la Universidad Politécnica de Valencia, en España, y la Universidad de Sanclay, en Francia, han realizado propuestas de evaluación de estructuras en edificios y construcciones específicos de su entorno. Sin embargo, actualmente se está realizando un esfuerzo muy importante para el desarrollo de parámetros y procedimientos generales e internacionales que permitan determinar las condiciones de una estructura, de manera preventiva, así como la generada después del efecto de eventos externos, como el de un movimiento telúrico o sismo.

En el caso de países que se encuentran en zonas con actividad sísmica alta es muy necesario verificar la vulnerabilidad de los edificios, a través de actividades de inspección y diagnóstico por parte de equipos multidisciplinarios, que permitan establecer el estado y la conservación general de estructuras en funcionamiento. Para ello se aplican Ensayos No Destructivos como técnicas electroquímicas, mismas que se han consolidado como una de las principales herramientas de análisis.

Para describirte las técnicas electroquímicas debo hablarte, primero, de los elementos que componen las estructuras de una construcción. El concreto u hormigón es una mezcla de cemento, arena y agua, que se caracteriza por su capacidad para resistir



La corrosión del acero de refuerzo en concreto es reconocida hoy en día como un problema tecnológico y económico creciente.

grandes esfuerzos de compresión. El concreto en conjunto con el acero (que tiene gran resistencia a la flexión y a la tracción) recibe el nombre de concreto armado, y es uno de los principales materiales usados en la industria de la construcción.

El concreto de una estructura armada, le da al acero una protección de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que protege al acero del entorno y, por otro lado, debido a su estructura porosa, le permite ser portador de la humedad requerida para formar un óxido estable y protector en la superficie del acero de las varillas.

Las variaciones en el entorno (temperatura, humedad, sustancias químicas o elementos agresivos como iones cloruro, dióxido de carbono, entre otras) pueden promover fenómenos de corrosión capaces de dañar la estructura metálica del concreto armado. Por ejemplo, la presencia de cloruros



PROCESO PARA REALIZAR MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS



Existen diferentes métodos para evaluar el estado y durabilidad de las estructuras de concreto armado. Los métodos relacionados con técnicas electroquímicas son una fuente importante de obtención de resultados para establecer un diagnóstico de durabilidad o de vida útil.

puede producir el rompimiento de la película pasiva del acero e iniciar procesos de corrosión localizada, como picaduras. En general, las consecuencias adversas relacionadas con la corrosión son:

- Disminución de la sección transversal de la varilla.
- Fisuras o agrietamiento en el concreto.
- Disminución en la adherencia de la interface varilla-concreto.

Para que el fenómeno de la corrosión del acero se manifieste existen dos mecanismos principales:

- Disminución de la alcalinidad del concreto (reducción del pH básico del concreto o por reacción con el dióxido de carbono del ambiente).
- Formación de celdas electroquímicas: ánodos, cátodos en presencia de elementos agresivos como el ión cloruro.



Las consecuencias de fenómenos de degradación relacionadas con la corrosión pueden ser la reducción del diámetro o de la sección transversal de la varilla, la fisuración o agrietamiento, entre otros.

El Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés) es una organización líder en el desarrollo de normas y recomendaciones técnicas relacionadas con el concreto armado. Esta entidad define el concepto durabilidad del concreto armado como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión y cualquier otro proceso físico, químico o biológico, propio de la condición de servicio.

En México, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (NTCC, RCDF) establecen que las estructuras para edificios deben tener una vida útil de al menos 50 años, aunque lo ideal es que se extienda el mayor tiempo posible.

Se considera que una estructura mantiene las características de diseño mientras la degradación no alcance los valores límites definidos. Por ello, el término de vida residual se establece como el tiempo a partir del momento en el que la estructura alcanza el límite aceptable. Durante el tiempo residual se pueden realizar reparaciones o acciones que restituyan las condiciones de seguridad, funcionalidad o estética. Cuando la estructura es reparada se establecen los requisitos mecánicos, estructurales y ambientales que se han considerado para realizar la reparación, informando de los tiempos de referencia para el cálculo de la vida útil que se espera después de dicha reparación.

Existen diferentes métodos para evaluar el estado y durabilidad de las estructuras de concreto armado. Los métodos relacionados con técnicas electroquímicas (especialmente aquellos relacionados con la determinación de la velocidad de corrosión uniforme) son una fuente importante de obtención de resultados para establecer un diagnóstico de durabilidad o de vida útil.

Este tipo de diagnósticos son parte del proyecto desarrollado por el Departamento de Tecnología de Materiales, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en colaboración con el Or-

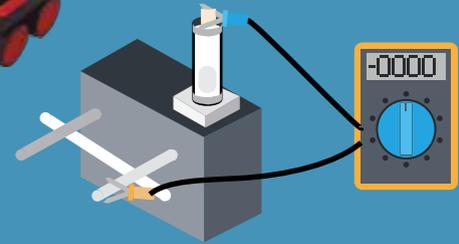
1

A partir de la información documental recopilada y estudiada (planos estructurales), con el uso de equipos específicos, como un pacómetro, se establece la ubicación de las varillas, el diámetro de las mismas y el espesor del recubrimiento o del concreto.



2

Se selecciona la superficie a evaluar, con acceso a una sección de la varilla de refuerzo. Se requieren cables conectores, un medio conductor de corriente (esponja y agua), un electrodo de referencia de fácil manipulación y un voltímetro de alta impedancia.



3

El potencial de corrosión electroquímica de la varilla se determina en relación al electrodo de referencia y en condiciones de circuito abierto. La interpretación deberá conjuntar la información y particularidades asociadas al sistema que se está evaluando, tal como humedad, calidad del concreto, tipo de ambiente, entre otros.



ganismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). El proyecto "Tecnologías avanzadas de ensayos no destructivos para la inspección de estructuras civiles e industriales" tiene como objetivo la creación de un laboratorio regional de evaluación de estructuras de concreto para apoyar a países latinoamericanos, mediante la participación personal calificado, así como con los equipos e instrumentos necesarios para realizar dichas inspecciones.

La seguridad, funcionalidad, presupuesto y requerimientos específicos de cada estructura determinan el nivel de evaluación requerida. La determinación de los efectos de la corrosión mediante técnicas electroquímicas, independientemente de los posibles modelos y condiciones específicas de diagnóstico, son un valioso parámetro complementario para determinar la durabilidad e integridad de estructuras de concreto reforzado.



ÁNGELES DEL CONSUELO
DÍAZ SÁNCHEZ

Estudió Ingeniería Química Metalúrgica en la Facultad de Química en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Maestría en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA) y el Doctorado en Ingeniería de Materiales en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

Se siente orgullosa de su participación en proyectos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Si pudiera pedir un deseo sería que los seres humanos valoraran, respetaran y se integraran de mejor manera al entorno natural en que vivimos. Su lugar favorito para estar es la playa durante un atardecer. Disfruta del bife de chorizo y del vino tinto. Admira mucho a su madre, a quien considera el ser humano más íntegro, valiente, sincero y comprometido que ha conocido. Actualmente está iniciando el estudio del idioma hebreo. Colabora en el Departamento de Tecnología de Materiales del ININ.

LA OBSERVACIÓN COMO PUNTO DE PARTIDA

| Acelerador de electrones Pelletron

HÉCTOR LÓPEZ VALDIVIA

Analizar las entrañas de la materia nos ha permitido comprender mejor la realidad y la ciencia misma. Gracias a los aceleradores de partículas se han fortalecido y desarrollado múltiples disciplinas científicas. Entérate del segundo acelerador de electrones diseñado y construido en México.



“La observación es el punto de partida del espíritu que razona. La experimentación es el punto de apoyo del espíritu que hace deducciones”. Esta reflexión realizada por el científico multifacético Claude Bernard describe acertadamente la importancia del análisis y de la observación en la ciencia.

Gracias a la tecnología ha sido posible tener una mejor perspectiva de la realidad para comprenderla mejor. Una fascinante herramienta que ha permitido esto son los aceleradores de partículas. Estas máquinas utilizan voltajes elevados para producir radiación artificial en forma de haces de partículas energéticas. Son más versátiles y seguros que las fuentes radiactivas porque pueden variar la energía y la corriente del haz de partículas. Además cuando se apaga el acelerador se interrumpe la emisión de radiación.



Acelerador Pelletron

Un acelerador de partículas es un dispositivo que utiliza campos electromagnéticos para acelerar partículas cargadas a altas velocidades para hacerlas colisionar con otras partículas. En su forma más básica, una máquina de este tipo acelera partículas y luego las impacta contra un material (blanco). Los hay de muy poca energía, como la televisión tradicional, y de muchísima energía, como el Gran Colisionador de Hadrones, que está cerca de Ginebra, en la frontera franco-suiza. Pero todos funcionan mediante el mismo concepto: la atracción y repulsión de cargas eléctricas.

Los aceleradores de electrones de corriente directa (CD) difieren entre sí dependiendo de cómo se genera la carga eléctrica que se deposita en el interior de la terminal de alto voltaje, pero en general todos los aceleradores de electrones tienen varias características similares como son la transportación de carga eléctrica a una terminal de alto voltaje, la emisión de electrones mediante un cátodo caliente.

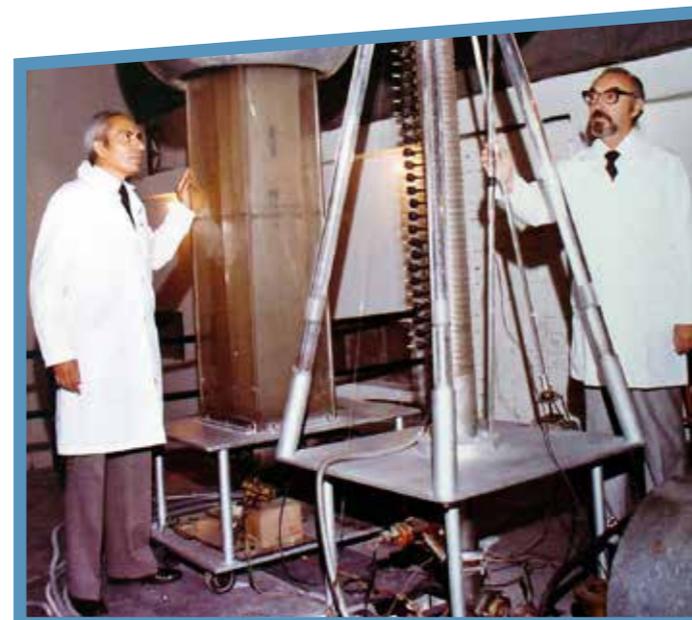
Para la aceleración de los electrones se instala, dentro de la terminal de alto voltaje, un cañón de electrones que contiene el cátodo emisor de los electrones y éste es acoplado a un tubo acelerador con alto vacío. El tubo acelerador está constituido por platos o electrodos metálicos con orificio central, separados por cilindro aislantes y se colocan resistores entre ellos para establecerse un gradiente entre el máximo voltaje de la terminal y tierra, permitiendo la aceleración y el enfoque del haz de electrones. El haz de electrones pasa al aire a través de una lámina delgada de titanio, la cual

forma una barrera entre el vacío y la presión atmosférica, el haz de electrones es utilizado en el acelerador para colisionar con los materiales.

En el caso del acelerador de electrones Pelletron, la carga eléctrica se transporta a la terminal de alto voltaje por medio de cilindros metálicos “pellets”, separados entre sí por un material aislante formando una cadena. Esta carga eléctrica es depositada a los cilindros metálicos por medio de inducción.

A principios de la década de los sesenta se construyó el primer acelerador de electrones en México, ubicado en la Universidad de Guanajuato, gracias a la iniciativa del investigador y visionario, ingeniero Armando Cuauhtémoc López Martín del Campo.

El segundo acelerador de electrones se diseñó y construyó bajo la dirección del Ingeniero Armando Cuauhtémoc López Martín del Campo y del Dr. Fernando Alba Andrade Director de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, actualmente Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). El ingeniero López además fue pionero en las aplicaciones de los radioisótopos en la industria y es quien origina el proyecto y da inicio de la construcción de la Planta de Gammas Industrial del ININ.



A la izquierda está el ingeniero Álvaro García Torres y a la derecha el ingeniero Armando Cuauhtémoc López Martín del Campo.

ALGUNAS DE LAS APLICACIONES REALIZADAS Y POTENCIALES DEL ACELERADOR PELLETRON



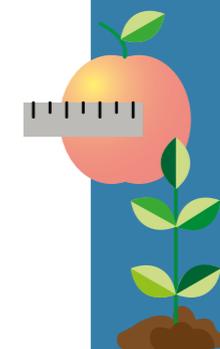
Estudios de modificación y mejoramiento de materiales para la investigación.

Desarrollo tecnológico e industria en las áreas eléctrica, electrónica, textil metalmecánica, de autopartes, papel, madera, plásticos, hules, tintas etiquetas, medios magnéticos.



Estudios de daño en materiales por altas dosis de radiación, simulando envejecimiento de partes y componentes de dispositivos, equipos y sistemas. Por ejemplo, el estudio de la pintura utilizada en las paredes interiores de un reactor como el BWR y de otros materiales especiales que son sometidos a altas dosis de radiación.

Estudios para reducción de la contaminación ambiental, como compuestos químicos y microorganismos patógenos presentes en aguas, gases y lodos residuales de origen industrial y municipal.



Pruebas de esterilización de productos de uso médico, irradiación de alimentos para su preservación, reducción de cuenta bacteriana, inhibición de brotes, desinfestación de granos, control de hongos, eliminación de salmonella en huevo, cárnicos, frutos, entre otros.



LOS ANCESTRALES REACTORES NUCLEARES NATURALES

| Antes de los dinosaurios y de la humanidad misma



El diseño, construcción y puesta en operación del acelerador Pelletron fue realizado por un grupo multidisciplinario, con la colaboración de las áreas de Talleres Generales, Electrónica y Mantenimiento. Aquí una parte del equipo de trabajo del acelerador Pelletron.

mica, biología, materiales, electrónica, ambiente, salud, alimentos, agricultura, dosimetría y patrimonio cultural, entre otras aplicaciones.

El Pelletron fue el primer acelerador en obtener la licencia de operación en México, otorgada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). En 1980 se construyó un edificio para la instalación de dos aceleradores, el Pelletron y un acelerador de electrones con capacidad industrial que actualmente es ocupado por el acelerador de iones Tandetrón.

El 14 de marzo de 1986 se obtuvo por primera vez un haz de electrones del acelerador Pelletron, diseñado y construido en el ININ, cuya alta razón de dosis y la versatilidad le permiten variar la energía desde 150keV hasta 0.8MeV y la corriente desde un microamper (μA) hasta decenas de microamperios. El haz de electrones puede aplicarse en materiales que se encuentren en estado sólido, líquido o gaseoso.

El acelerador Pelletron es un parteaguas en la historia de la ciencia y la tecnología en México, que además de fortalecer la investigación en múltiples áreas de la ciencia ha permitido desentrañar los misterios de lo más pequeño y comprobar que observar lo más elemental nos permite comprender mejor la realidad.

El acelerador de electrones *Pelletron* inició operación en 1986. Su objetivo fue formar recursos humanos, de todos los niveles, para adquirir experiencia en la tecnología de aceleradores de electrones y producción de rayos X. Así como a su aplicación en investigación básica, aplicada y en el desarrollo tecnológico de áreas, como física, química,

HÉCTOR LÓPEZ VALDIVIA

Estudió Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad de Guadalajara. Recibió el Premio "Nabor Carrillo Flores" en 1988 por el desarrollo tecnológico del diseño, construcción y operación del acelerador de electrones *Pelletron* de 1.5MV. Ha sido miembro del SNI como Investigador Nacional nivel 1 de 1992 a 1995, 1996 a 1999, 2002 a 2005 y de 2006 a 2009. Fue coordinador nacional del proyecto *Aplicaciones Industriales de la Tecnología Nuclear*, del Programa de Acuerdos Regionales para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina (ARCAL). También presentó un trabajo sobre factibilidad técnico-económica de la irradiación de alimentos para la FAO. Fue invitado por la Universidad de Bolonia, Italia, al IX centenario de su fundación, donde presentó el trabajo *Diseño, construcción y operación de un acelerador de electrones tipo Pelletron* en el Seminario de Aceleradores de Electrones y Haces de Sincrotrones, y cuenta con una patente para tratamiento de aguas residuales.

Su lugar favorito para estar es Guanajuato. Admira mucho a su padre, Armando Cuauhtémoc López Martín del Campo, a Nikola Tesla y a Leonardo da Vinci.



MIGUEL BALCÁZAR GARCÍA

México, como seguramente sabes, tiene dos reactores nucleares en Laguna Verde, Veracruz, que funcionan con uranio en su interior y producen energía eléctrica. Lo que quizá no sepas es que mucho antes de que apareciera la humanidad sobre la Tierra, antes incluso de que aparecieran los dinosaurios, hace casi 2 mil millones de años nuestro planeta construyó de manera natural 17 reactores nucleares que estuvieron funcionando durante 150 mil años. Entérate cómo sucedió.

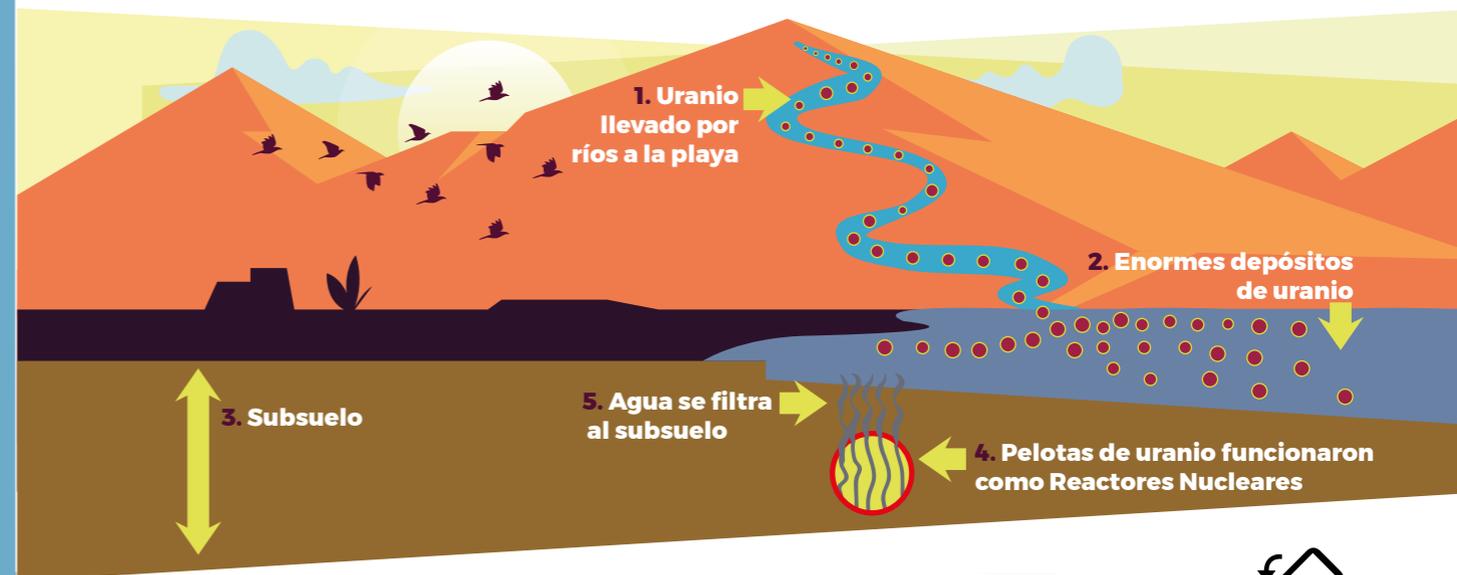


En unas colinas cercanas a una costa oeste del África, en lo que ahora es un país llamado Gabón, en esas colinas existían, inmóviles en el suelo, partículas de uranio. Hace casi 2 mil millones de años, la Biología nos relata que se crearon las primeras algas azul verdes, importantes porque con ayuda del sol realizaron la fotosíntesis y el planeta se llenó de oxígeno. Entonces, la química ayudó a que esas partículas de uranio atraparan oxígeno y se disolvieran las partículas de uranio en el agua. Las lluvias y los ríos arrastraron esas abundantes partículas de uranio (**punto 1 de la ilustración**) hasta acumular enormes depósitos de uranio en una pequeña bahía en la playa (**punto 2**).

A esa bahía llegaron desechos orgánicos, y la química hace nuevamente su labor y los desechos orgánicos le roban el oxígeno al uranio, que ya no queda disuelto en el agua y ahora se va al fondo de la bahía formando grandes acumulaciones de uranio. Algunas acumulaciones tienen la forma de pelotas de uranio casi del tamaño de bolas de boliche.

La geología, esa causante de sismos y vulcanismos, entra en acción y mueve la tierra y sepulta al subsuelo (**punto 3**) esa bahía a unos cuantos miles de metros de profundidad, con todo y las pelotas de uranio que sufren pequeñas fracturas (**punto 4**). El agua se filtra a esas profundidades (**punto 5**), penetra por las fracturas de las pelotas de uranio y entonces la física inicia reacciones nucleares en cadena. Los reactores nucleares, las pelotas de uranio (**punto 4**) generan energía calorífica que calienta el agua hasta temperaturas de 200 a 300 grados, sin hacerla hervir debido a la gran presión por la profundidad a la que se encuentran. Ante el incremento de la temperatura el agua contenida en las pelotas de uranio se evapora y entonces las reacciones nucleares en cadena disminuyen, hasta que los reactores nucleares se apagan después de haber funcionado durante 30 minutos.

El agua continúa filtrándose (**punto 5**) hasta esas profundidades del subsuelo (**punto 3**), las fracturas de las pelotas de uranio (**punto 4**) se llenan nuevamente de agua y la física hace que las re-





acciones nucleares en cadena pongan a funcionar nuevamente a los reactores nucleares, repitiéndose este ciclo una y otra vez durante 50 mil años, hasta que el uranio (uranio-235) como combustible de los reactores nucleares se agota y dejan de funcionar.

Bueno, aquí seguramente ya te estarás preguntando: “¿y cómo es que sabemos todo esto?”. La explicación viene a continuación.

Mineros estaban explorando en 1972 si había uranio en una mina llamada Oklo en esta región de Gabón. Al analizar las muestras del mineral extraído de esa mina para verificar el contenido de uranio, los investigadores de un laboratorio francés midieron el contenido de los dos componentes principales del uranio, el uranio-238 y el uranio-235 (recuerda que este último es el que se utiliza como combustible en los reactores nucleares). Con gran sorpresa encontraron que la proporción esperada del uranio-235 era menor que la que debía ser. Midieron repetidas veces y enviaron muestras a otros laboratorios, y el resultado fue el mismo: había desaparecido uranio-235. Y adicionalmente se llevaron otra gran sorpresa en



sus mediciones: las muestras de uranio contenían además otros elementos. ¡Elementos que solo se encuentran en el combustible gastado de los reactores nucleares actuales! (como es el caso del neodimio).

¿Cómo era posible encontrar combustible gastado de reactores nucleares en una mina recién abierta y explorada de uranio?! Las suposiciones fueron varias. Hubo una ¡tan fantástica!, como suponer que extraterrestres visitaron nuestro planeta en la prehistoria y encontraron uranio y lo usaron en sus naves interplanetarias, dejando atrás el combustible gastado de uranio.

La comunidad científica internacional fue informada de este descubrimiento y varios investigadores en el mundo utilizaron sus conocimientos para analizar las muestras de esa mina de uranio para determinar la presencia del combustible gastado. Y sí, todos los investigadores encontraron los mismos elementos, es decir, los que sólo se forman en los reactores nucleares cuando se consume el uranio-235 y la presencia de combustible gastado.

Fue necesaria la participación de investigadores de diferentes especialidades en física, ingeniería nuclear, química, geología, geofísica y biología, así como las matemáticas, para realizar los cálculos necesarios. De esta forma se pudo dar una explicación basada en los resultados de los investigadores de múltiples disciplinas de la ciencia, corroborando que ¡la naturaleza había construi-

do reactores nucleares! Se hicieron excavaciones cuidadosas en la mina y se lograron encontrar 17 pelotas de uranio.



La mina de Oklo ha mantenido una estabilidad geológica impresionante, resistiendo la separación del súper continente Pangea.

Es importante aclarar que esa mina Oklo en lo que ahora es el país africano Gabón permaneció estable durante casi 2 mil millones de años. No tuvo eventos volcánicos, como el que tiene ahora el Popocatepetl. Tampoco tuvo grandes sismos, como los que ha tenido la Ciudad de México. Ni tuvo grandes fallas geológicas, como la de San Andrés que destruyó la ciudad de San Francisco, en los Estados Unidos, a principios del siglo pasado. Incluso Gabón permaneció estable geológicamente



Antes de que apareciera la humanidad sobre la Tierra, e incluso de que aparecieran los dinosaurios, hace casi 2 mil millones de años, nuestro planeta construyó de manera natural 17 reactores nucleares que estuvieron funcionando durante 150 mil años.

cuando se separaron los continentes de la Pangea, hace 225 millones de años. Si esa mina Oklo, en Gabón, hubiese tenido alteraciones bruscas geológicas, los reactores nucleares que construyó la naturaleza hace casi 2 mil millones de años y su combustible gastado se hubiesen movido de ahí, desplazándose grandes distancias y esparciéndose en grandes áreas, por lo que no hubiera sido posible encontrarlos.

La estabilidad geológica de la mina de Oklo por tantos miles de millones de años nos muestra que existen sitios estables en nuestro planeta para depositar el combustible gastado de los reactores nucleares actuales.

Este es uno de los tantos casos fascinantes de investigación científica que muestra que para entender la naturaleza se requiere de todas las disciplinas de la ciencia. Y es muestra, a su vez, de que la humanidad es imparable en su curiosidad por entender y explicar lo desconocido.



Mina de Oklo, ubicada en Gabón

MIGUEL BALCÁZAR GARCÍA



Estudió la Licenciatura en Físico-Matemático en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional, así como el Doctorado en Física en la Universidad de Birmingham, Inglaterra. Está orgulloso de sus raíces, ya que lo hacen escudriñar y apreciar la vida.

Le tiene miedo al conformismo. Si pudiera pedir un deseo sería hacer realidad la canción de John Lenon *Imagine*. Una de sus historias favoritas es la de Alejandro Magno. Su lugar favorito para estar es París, Francia.

Disfruta de los licuados y de los mariscos. Sus pasatiempos favoritos, son visitar museos, el front tenis y dibujar. Colabora en el Departamento de Estudios del Ambiente del ININ.

REACTORES RÁPIDOS

| Diseño de una nueva generación de reactores nucleares

ARMANDO MIGUEL GÓMEZ TORRES

Existen diversas clasificaciones para los reactores nucleares. Tal vez la más importante es dividirlos en reactores rápidos y reactores térmicos. Actualmente existen diseños de reactores rápidos y térmicos en todo el mundo. Te mostramos cuál es la diferencia entre ambos diseños.



Tanto los reactores rápidos como los térmicos están relacionados con la velocidad o energía que deben tener los neutrones obtenidos de la fisión para producir otra fisión. Como te platicué en APPS Nucleares #1, la energía almacenada en el núcleo de un átomo es enorme y cuando el núcleo se parte (APPS Nucleares #8) los productos de fisión y los neutrones que emiten salen a velocidades muy altas.

En el caso de los reactores rápidos se utilizan los neutrones (resultado de los productos de fisión) con las altas velocidades con las que son emitidos, para causar nuevas fisiones. Los reactores térmicos usan neutrones térmicos, es decir, a los que se les ha reducido la velocidad con un medio “moderador”. Para describir la diferencia entre los reactores rápidos y térmicos te contaré la forma en que se reduce la velocidad de los neutrones, mediante una simple analogía con el famoso juego de billar.

Quando estamos por ganar una partida de billar tenemos que meter la bola negra en la buchaca, con cuidado de no meter la bola blanca con la que la golpearemos, pues perderíamos. Existen varias técnicas para evitar que esto suceda. Una es golpeando la parte inferior de la bola blanca para que ésta le transmita casi toda su energía a la bola negra y quede prácticamente detenida después del choque. Para ello es fundamental que las dos bolas sean del mismo tamaño. De esta forma, la energía que tenía la bola blanca puede ser transferida casi por completo a la bola negra. Si la bola blanca tuviera que empujar a una bola veinte veces más grande que ella, lo más seguro es que no podría moverla y regresaría a nosotros con la misma energía con la que fue golpeada.

El principio físico mencionado en la analogía es la base de las dos tecnologías de reactores nucleares. Si queremos neutrones térmicos es necesario un medio “moderador” con el que puedan chocar y disminuir sus energías. Este medio deberá contener núcleos casi del mismo tamaño que los neutrones para que con unos cuantos choques su energía disminuya. Si usamos agua como moderador (la cual contiene gran cantidad átomos de hidrógeno) aseguraremos que la energía de los neutrones disminuirá, ya que su núcleo contiene un protón casi del tamaño del neutrón. Si queremos que los neutrones permanezcan rápidos, entonces evitaremos poner un medio moderador.

En el diseño de un reactor, ya sea térmico o rápido, hay un elemento adicional que debe ser considera-

do: **el refrigerante**. En el caso del reactor térmico, el agua puede jugar el papel de moderador y de refrigerante. En un reactor rápido, el asunto es más complejo, ya que no podemos utilizar agua como refrigerante, debido a que también actúa como moderador y en un reactor rápido no es necesario.

Para no disminuir significativamente la energía de los neutrones es necesario utilizar materiales más pesados que el hidrógeno, que puedan estar en forma líquida y usarse como refrigerante para sacar el calor del núcleo del reactor sin moderar a los neutrones. Por ello, son utilizados metales líquidos como el plomo o el sodio, que son aproximadamente 207 y 23 veces más pesados que el neutrón mismo. De esta forma, la energía de los neutrones al chocar con estos núcleos no disminuirá de forma significativa. Además, estos metales en su forma líquida extraerán el calor del núcleo del reactor. Así pues, **los reactores rápidos usan metales líquidos como refrigerante o en algunos casos un gas, que dada su baja densidad, tampoco sirve para moderar**.

Para diseñar un reactor es importante saber cuántos neutrones tendremos disponibles para causar fisiones y tener una reacción en cadena autosostenible que genere energía de manera constante. Esto es conocido como “economía neutrónica”. Todos los neutrones que nacen de la fisión son rápidos por lo que, si los usamos en un reactor rápido prácticamente tendremos a todos los neutrones recién nacidos disponibles para generar más fisiones.

En un reactor térmico los neutrones tendrán que entrar en un proceso de reducción de energía, pasando por una gran cantidad de “obstáculos”, pues en su intento por llegar a energías térmicas se pueden fugar del sistema o ser absorbidos por otros materiales. Esto nos dejaría con un número menor de neutrones térmicos disponibles para causar fisiones.

Entonces, ¿para qué se diseñan reactores térmicos si pierden muchos neutrones? Cuando los neutrones tienen energías térmicas aumentan las posibilidades de causar fisiones en los isótopos del uranio (U) o del plutonio (Pu). En un reactor rápido se tienen mucho más neutrones disponibles para la fisión, se pueden usar con las energías con las que nacen, pero hay me-

Refrigerante: medio encargado de sacar el calor producido por las fisiones y llevarlo a un sistema que convertirá este calor en trabajo en una turbina y después en electricidad en un generador eléctrico.

nos posibilidades de fisión con esa energía. En un reactor térmico hay menos neutrones disponibles para la fisión, pero hay más posibilidades de fisión.

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, los reactores rápidos son la tecnología más apropiada, pues se aprovecha mejor el recurso natural usado como combustible. Además, representan una solución viable a la problemática asociada con los desechos radiactivos.

El uranio en su forma natural está compuesto de dos isótopos: uranio 238 (U-238) en un 99.3% y uranio 235 (U-235) en un 0.7%. En los reactores térmicos se usa principalmente el U-235 (menos del 1% del recurso natural en un ciclo sin reciclaje y de 2% a 5% en un ciclo con reciclaje), mientras que en un reactor rápido se puede usar hasta el 70% del uranio natural, por las siguientes razones:

1. Los reactores rápidos tienen la capacidad de criar su propio combustible (por lo que también son conocidos como reactores de cría), además de usar óptimamente el material extraído de la mina.

En el núcleo de un reactor rápido se combinan elementos de combustible (usualmente plutonio) y elementos con material fértil (generalmente U-238) en la periferia. En operación normal el plutonio fisiona y genera calor, mientras que el U-238 de la periferia captará neutrones, que después de algunos decaimientos se transformará en nuevo plutonio. Cuando el plutonio de la región central se agota los elementos fértiles que originalmente tenían U-238 tendrán grandes cantidades de plutonio, por lo que después de un procesamiento se podrán construir nuevos combustibles del mismo para la región central. Así, el uranio es utilizado de forma más eficiente que en los reactores térmicos en los cuales únicamente el U-235 es de utilidad.

COMPARATIVO PARA GENERAR 1 AÑO DE ELECTRICIDAD

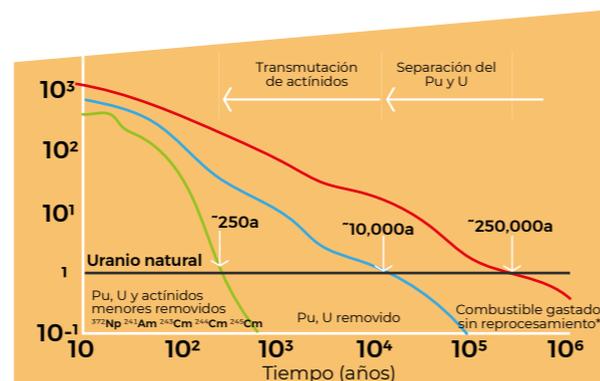
2. El plutonio usado como combustible para la región central de un reactor rápido puede ser extraído de los combustibles gastados de los reactores térmicos mediante un reprocesamiento, es decir, creación de combustible MOX (mezcla de óxidos de uranio y plutonio). Esta técnica de reprocesamiento es fundamental para solucionar el problema de la radiotoxicidad de los combustibles gastados de los reactores térmicos. Mediante este proceso el plutonio contenido en el combustible gastado puede generar energía, algo así como sacar energía de la basura. Esta técnica también se aplica en algunos reactores térmicos que utilizan combustible MOX. Sin embargo, el uso de este tipo de combustible en estos reactores es limitado por cuestiones de seguridad a no más de un reciclaje y a no más de una tercera parte del núcleo con combustible MOX. En un reactor rápido, el núcleo completo puede utilizar combustible MOX además de reciclar las veces que sean necesarias para sacar el máximo provecho del recurso natural.

3. Los reactores rápidos también pueden eliminar a otros elementos radiotóxicos, **actínidos menores** como el americio (Am) o curio (Cm), de los combustibles gastados que aumentan su radiotoxicidad. Estos actínidos menores se pueden extraer de los combustibles gastados y acomodar en algunas posiciones dentro del núcleo de un reactor rápido o de un ADS (acelerador acoplado a un reactor rápido) para que sean transmutados (transformados en otros elementos mediante un proceso de fisión a altas energías) y así contribuir aún más con la gestión segura de los combustibles gastados de un reactor nuclear.

Actínidos menores: Radionúclidos que se forman en cantidades relativamente pequeñas en el combustible de los reactores nucleares por capturas neutrónicas sucesivas y constituyen el inventario radiotóxico dominante.

Ejem: Neptunio-237, Americio-241, Americio-243, Curio-243, Curio-244 y Curio-245.

RADIOTOXICIDAD RELATIVA



Con estas estrategias de operación, la radiotoxicidad de los combustibles gastados se reduce considerablemente.

Si tomamos en cuenta todas las ventajas que tienen los reactores rápidos ¿por qué la mayoría de los reactores nucleares en operación no son de este tipo? El reto de la tecnología de reactores rápidos se relaciona con la ciencia de los materiales. ¿Te imaginas el tipo de sistemas y condiciones que deben tener los reactores rápidos para mantener en estado líquido un metal? o ¿el tipo de instrumentación para poder medir a través de un medio opaco, como lo es un metal líquido? Si el agua causa erosión y corrosión, imagínate tener plomo líquido (mucho más denso que el agua) friccionando de manera constante los materiales que componen al reactor nuclear.

En el caso del sodio líquido, éste es incompatible químicamente con el agua y el aire, lo que puede causar reacciones explosivas si entran en contacto. En el diseño de un reactor nuclear lo más importante es la seguridad, por lo que todos estos aspectos deben ser resueltos para contar con un diseño de reactor rápido que sea lo suficientemente seguro de operar. La investigación actual se enfoca en el diseño de una nueva generación de reactores nucleares, denominados de cuarta generación (GIF IV), que incluye seis diseños de reactores altamente sustentables, y cuatro de estos diseños son reactores rápidos.



Los planes estratégicos en el sector Energía de los países con crecimientos acelerados basan su producción de electricidad limpia y sustentable en reactores rápidos. Algunos países con planes más visionarios son China, India, Rusia y Francia.

Esta tecnología permitiría contar con recursos naturales para miles de años y beneficiaría de forma valiosa a múltiples generaciones, ya que es capaz de producir energía y reducir sustancialmente los daños al ambiente.

ARMANDO MIGUEL GÓMEZ TORRES



Estudió la Licenciatura en Física y Matemáticas, la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Nuclear en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (ESFM-IPN) y obtuvo el Doctorado en Ingeniería Nuclear en la Universidad Técnica de Múnich con magna cum laude.

Está orgulloso de sus hijos Vero y Hannes, del equipo de trabajo del proyecto AZTLAN Platform y de ser el representante mexicano en el grupo técnico internacional de reactores rápidos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Le tiene miedo a la mediocridad y al conformismo, a tener un país eternamente tercermundista. Una de sus historias favoritas es Robin Hood y los relatos de la edad media. Su lugar favorito para estar son los pueblos mágicos de México y el mundo, en especial los pueblos históricos de Europa con construcciones medievales.

Su bebida predilecta es la cerveza y disfruta mucho la comida típica oaxaqueña y yucateca. Le encanta correr, leer y turistar. Colabora en el Departamento de Sistemas Nucleares del ININ.

Ciclos de combustible en REACTORES TÉRMICOS y en REACTORES RÁPIDOS

por Armando Miguel Gómez Torres



1. En un ciclo de **combustible abierto**, los combustibles gastados se almacenan definitivamente, primero internamente en la misma central nuclear y después en algún centro de disposición final de residuos radiactivos de alto nivel.
2. En un ciclo de **combustible parcialmente cerrado con reactores térmicos**, se puede extraer plutonio de los combustibles gastados y fabricar combustibles MOX (Mezcla de óxidos de U y Pu) y alimentar nuevamente al reactor térmico. Este ciclo puede repetirse únicamente una o dos veces y después se tendrá que hacer un almacenamiento de los combustibles gastados sobrantes.
3. En un **ciclo parcialmente cerrado con reactores térmicos y rápidos**, el uranio y el plutonio de los combustibles gastados de los reactores térmicos se reprocessa y se usa como combustible en un reactor rápido. Este combustible se usa en el reactor rápido y se puede reprocessar, y reutilizar todas las veces que sea necesario en un ciclo cerrado. El Uranio-238 en un reactor rápido se usa como material fértil para generar más plutonio.
4. En un **ciclo totalmente cerrado**, los actínidos menores también se extraen de los combustibles gastados de ambos reactores y se introducen en el reactor rápido para que, mediante neutrones de altas energías, puedan también ser fisionados. Esto reduce la radiotoxicidad del combustible gastado de manera significativa.



En un **ciclo totalmente cerrado** con reactores rápidos y térmicos, los residuos finales son únicamente productos de fisión de vidas medias no tan largas y que pueden ser usados en aplicaciones médicas o industriales.

Existen diferentes mitos alrededor de la ciencia. Estos suelen expresar esperanzas, miedos o explicaciones improvisadas sobre sucesos naturales.

Te presentamos estas Crónicas Atómicas para que conozcas algunos datos curiosos y reales de la ciencia nuclear.



LO MÁS RADIATIVO QUE TE PUEDES COMER

De acuerdo con datos de la Comisión Reguladora Nuclear de Estados Unidos, las semillas del árbol *Bertholletia excelsa*, mejor conocidas como nueces amazónicas, son el alimento más radiactivo del planeta, sin que esto represente un peligro para la salud de los seres vivos.



LOS RAYOS X EN TUS ZAPATOS

Tras el descubrimiento de los rayos X, el 18 de enero de 1927 se registró la patente denominada "Método y medios para determinar visualmente el ajuste de calzado". Este invento consistía en un aparato que mediante rayos X mostraba la imagen de los huesos del pie y el contorno del zapato del usuario. Pero en 1957 se prohibió su uso, pues es recomendable que una persona se exponga a 10 placas de rayos X como máximo por año.



FORENSES RADIATIVOS

Durante mucho tiempo se consideró que la muerte de Napoleón Bonaparte se debió a un envenenamiento. Sin embargo, mediante la medición de isótopos de arsénico radiactivos en el cabello de los restos de Napoleón fue posible determinar que la causa de su muerte fue cáncer de estómago.



UNA SONRISA LUMINISCENTE

En la década de los 20 del siglo pasado se popularizó la pasta de dientes Doramad, que según su publicidad se anunciaba como radiactiva y beneficiosa para los dientes y encías. Su publicidad decía: "Clínicamente probada y preferida por hermosas mujeres de todo el mundo, Doramad es el último grito de la moderna higiene bucal. Su radiación aumenta la defensa de los dientes y de las encías. Las células son cargadas con nueva energía de vida, las bacterias se ven obstaculizadas en sus efectos destructivos. Suavemente pule el esmalte, volviéndolo blanco y brillante".

El componente de la pasta era nada menos que Torio. Por suerte poco tiempo después la pasta dejó de fabricarse.

