

Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes
Año 3, agosto-diciembre, 2017

26

La aplicación tangible de la ciencia nuclear

Aplicaciones para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Aplicaciones nucleares para lograr los ODS

Medir bien es estar bien

Patrones de medición en medicina nuclear

La media naranja del agua

Remoción de metales del vital líquido

Vigilantes móviles

Tecnología robótica y drones

Caballos de batalla

De los videojuegos al análisis de reactores nucleares

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



instituto nacional de investigaciones nucleares

DIRECTORIO

Dra. Lydia Paredes Gutiérrez
Directora General

Dr. Federico Puente Espel
Director de Investigación Científica

Dr. Pedro Ávila Pérez
Director de Investigación Tecnológica

Ing. José Walter Rangel Urrea
Director de Servicios Tecnológicos

M.A. Hernán Rico Núñez
Director de Administración

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

Dr. Julián Sánchez Gutiérrez
Secretario Técnico

Concepción creativa y coordinación editorial
Mtra. Elizabeth López Barragán
Coordinadora de Promoción y Divulgación Científica

Asistencia de redacción
Lic. Víctor Octavio Hernández Ávila

Fotografía
Pável Azpeitia de la Torre
Armando Iturbe German
123RF

Ilustraciones
Angélica Balderrama

Formación
Grupo Comersia, por Karen Hernández

Año 3, número 6, agosto-diciembre, 2017

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

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

Los artículos presentados 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 31 de julio de 2017, con un tiraje de 2 mil ejemplares.

Distribución gratuita.

EDITORIAL

ELIZABETH LÓPEZ BARRAGÁN 1

SALUD

Medir bien es estar bien 2
Patrones de medición en medicina nuclear
OLGA CELIA GARCÍA DÍAZ

AMBIENTE

Devolverle el alma al aire 5
Análisis de contaminantes
BEATRIZ HERNÁNDEZ MÉNDEZ

La media naranja del agua 8
Remoción de metales del vital líquido
FERNANDO UREÑA NÚÑEZ

Otro ladrillo en la pared 11
Hornos ecológicos
ROSA HILDA CHÁVEZ TORRES

HORIZONTE NUCLEAR

La aplicación tangible de la ciencia nuclear 14
Aplicaciones para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible
LYDIA CONCEPCIÓN PAREDES GUTIÉRREZ

Caballos de batalla 17
De los videojuegos al análisis de reactores nucleares
ANDRÉS RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

INDUSTRIA

La corrosión nunca duerme 19
Gestión del envejecimiento de materiales
CARLOS ROSENDO ARGANIS JUÁREZ

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Vigilantes móviles 22
Tecnología robótica y drones
RAÚL MARIO VÁZQUEZ CERVANTES

La percepción del décimo hombre 25
Protocolos de seguridad para minimizar el riesgo
EDUARDO SÁINZ MEJÍA

INFOGRÁFICO

Funcionamiento de un reactor de potencia BWR 28
ARMANDO MIGUEL GÓMEZ TORRES

EDITORIAL



“Nada en esta vida debe temerse, sólo entenderse” | Marie Curie

La ciencia nuclear ha permitido el progreso de la humanidad en distintas áreas del conocimiento. Sin embargo, la escasa y muchas veces confusa información difundida en los medios, desde notas periodísticas hasta películas de ciencia ficción, ha propiciado mitos y estigmas que generan temor hacia la ciencia nuclear, dejando de lado los beneficios reales y cotidianos que recibimos de sus aplicaciones.

Es un hecho que “la ciencia que no se ve, no existe”, por ello las instituciones de investigación se fortalecen a través de la divulgación de su quehacer científico y tecnológico, lo que mejora su percepción y reconocimiento ante la sociedad. Las acciones enfocadas en la divulgación científica fomentan la visión informada de la ciencia nuclear y el ejercicio de un pensamiento crítico al respecto, que propician una cultura nuclear en el país.

Las aplicaciones nucleares buscan mejorar la calidad de vida de la población y resolver problemáticas en áreas como la agricultura, la seguridad alimentaria y la nutrición, la salud y el bienestar con el diagnóstico y tratamiento médico de una amplia gama de enfermedades o la esterilización de muchos productos de uso y consumo cotidiano, así como la generación de energía limpia y el cuidado del ambiente, por mencionar algunos.

Por ello, la ciencia nuclear desempeña un papel crucial para ayudar a los países a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de la agenda global, presentada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el año 2030. Estos objetivos, puestos en marcha a principios de 2016, simbolizan una colosal oportunidad para reorientar el desarrollo y lograr un cambio positivo en beneficio de las personas y el planeta. Son, parafraseando al entonces secretario general de las Naciones Unidas, Ban Ki Moon, un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, sin excluir a nadie, y crear un mundo digno para todos con ayuda de la ciencia.

ELIZABETH LÓPEZ BARRAGÁN

Estudió la Licenciatura en Publicidad en el Instituto de Mercadotecnia y Publicidad (IMP) y la Maestría en Comunicación Empresarial en la Universidad Latinoamericana (ULA), ambos grados obtenidos con mención honorífica. Cursó los diplomados en Apropriación Social de la Ciencia en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y en Producción Editorial en la Universidad del Claustro de Sor Juana (UCSJ).

Es la Representante Nacional de Comunicación ante el Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL). Se siente orgullosa de su hijo y de dar a conocer las aplicaciones nucleares que se desarrollan en el ININ, en múltiples medios, pero en especial como editora de la revista *Apps Nucleares*. Las catarinas y los petirrojos son de los animales que más le cautivan. *Dogville*, de Lars von Trier, es de sus películas favoritas. Gusta de los chiles rellenos y las tapas de queso mascarpone con higos y miel. Disfruta de hacer haikús, leer y dibujar con acuarelas. Admira a Sor Juana Inés de la Cruz, Milan Kundera, Juan José Arreola, Arthur Schopenhauer y Jorge Luis Borges, entre otros. Vivir en el planeta de *Tlön* (que menciona Borges) es su utopía.



ININmx



@inin_mx



gov.mx/inin



ININmx



ININmx

OLGA CELIA GARCÍA DÍAZ

Para que la ciencia médica sea precisa es necesario seguir procedimientos rigurosos en la aplicación y uso de fármacos o medicamentos para el tratamiento de enfermedades. La metrología apoya a la medicina nuclear para asegurar la calidad en la producción de radiofármacos y asegura el éxito de un tratamiento.



En algún momento todos nos hemos enfermado, ya sea por un virus, bacterias o lesiones. Cuando enfermamos lo más recomendable es ir con el médico para que nos recete los medicamentos que debemos tomar para aliviarnos. Pero aún más cuando requerimos un estudio o tratamiento especializado, con imagenología por ejemplo, las dosis de los medicamentos o fármacos que nos inyectan deben ser precisas, por lo que seguramente te preguntarás ¿cómo se calculan esas dosis o medidas?

La metrología es la ciencia encargada de las medidas, su función es obtener el valor de las magnitudes, empleando para ello equipos e instrumentos.

Un campo de aplicación bastante amplio para la metrología es la medicina nuclear, tanto en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades recurrentes en los seres humanos, como en el desarrollo de radiofármacos.

Para garantizar la medición correcta de las dosis de radiofármacos se utiliza un activímetro, este equipo mide la actividad de los radionúclidos en la formulación y dispensación de un radiofármaco al paciente.

En medicina nuclear se utilizan radiotrazadores o radiofármacos, que están compuestos por un medicamento o fármaco transportador y un isótopo radiactivo.

Los radiofármacos pueden ser aplicados en el cuerpo humano por diversas vías, la más utilizada es la intravenosa. Una vez que el radiofármaco está dentro del organismo, se distribuye por diversos órganos (dependiendo del tipo empleado).

La distribución del radiofármaco se detecta mediante un aparato llamado gammacámara (equi-

po que detecta la radiación gamma dentro del paciente y genera una imagen de los órganos).

Posteriormente, se procesa la información y se obtienen imágenes de todo el cuerpo o del órgano en estudio. En el caso de los diagnósticos, la dosis de radiación debe ser precisa, ya que una dosis demasiado alta produciría una exposición innecesaria de los órganos del paciente y una exposición baja dificultaría la calidad del estudio.

Por tal razón es importante que el activímetro proporcione una medida exacta de la dosis administrada para propósitos de diagnóstico y protección radiológica del paciente (especialmente en pediatría) y el personal en general.

En el Laboratorio de Patrones Radiactivos (LPR) del Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se realiza la calibración de los activímetros con trazabilidad a patrones internacionales (cuenta con un Patrón Nacional de Actividad PNM-02) y con un sistema de calidad reconocido internacionalmente por el Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

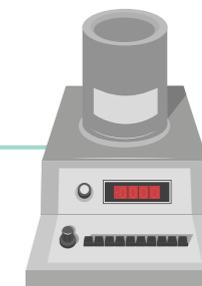
El LPR calibra activímetros en los radionúclidos utilizados en medicina nuclear como Tecnecio-99 (^{99m}Tc), Iodo-131 (^{131}I), Talio-201 (^{201}Tl), Galio-67 (^{67}Ga), Flúor-18 (^{18}F), Lutecio-177 (^{177}Lu), Samario-153 (^{153}Sm) y Molibdeno-99 (^{99}Mo).

Una de las características de los activímetros es que pueden ser calibrados en el sitio donde se utilizan sin tener que interrumpir su proceso o mover el equipo, evitando cualquier daño posible.

Pruebas de verificación recomendadas para asegurar la fiabilidad de las medidas realizadas en un activímetro

1

Exactitud: En activímetros se determina comparando la actividad medida de una fuente de actividad certificada, con la actividad teórica que debería tener en la fecha y, en su caso, la hora en que se realiza la medida.



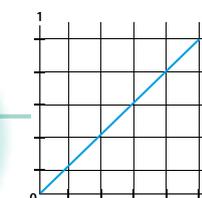
2

Precisión: Indica el grado de variabilidad de los valores obtenidos por un procedimiento de medida para una determinada magnitud.



3

Linealidad: Analiza la capacidad del activímetro para realizar medidas exactas en diferentes escalas y en un amplio rango de actividades.



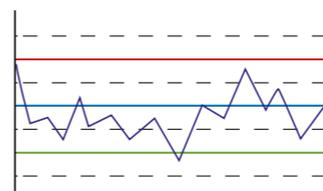
4

Geometría: Verifica las variaciones en la geometría de la muestra a medir que pueden afectar la exactitud de las medidas.



5

Estabilidad: Comprueba la constancia de funcionamiento de un equipo a lo largo del tiempo, para las diferentes condiciones de medida.



Devolverle el alma al aire

Análisis de contaminantes

BEATRIZ HERNÁNDEZ MÉNDEZ

El aire es el recurso vital más necesario para el ser humano. Respiramos desde el instante en que nacemos y prácticamente no dejamos de hacerlo hasta que morimos. Un adulto promedio requiere de 7.5 litros de aire en 1 minuto, lo que representan 450 en una hora y 10 mil 800 en un día. Aire que además requiere estar limpio, por lo que en el ININ nos esforzamos en desarrollar técnicas para su análisis.



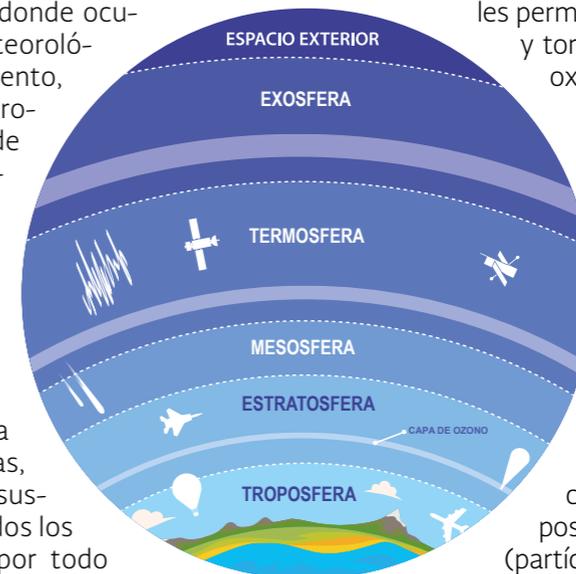
El aire es necesario para la vida en el planeta. Este vital recurso se encuentra en la atmósfera y en su estado puro contiene 78% de nitrógeno (N₂), 21% de oxígeno (O₂) y solamente un 1% de gases traza, como el dióxido de carbono, entre otros.

La troposfera, que es la capa más delgada y próxima al suelo de la atmósfera, es en la que cohabitamos los seres humanos con las plantas y los animales, y donde ocurren los fenómenos meteorológicos, como la lluvia, el viento, los huracanes, etc. La troposfera tiene una altitud de aproximadamente 7 kilómetros (km) en los polos y 17 km en el ecuador. Es dinámica y en ella el aire varía su densidad en función de la altura. Se mueve constantemente alrededor del globo cruzando océanos y tierra firme sin límite de fronteras, y permite que todas las sustancias contenidas, incluidos los contaminantes, circulen por todo el mundo.

Se consideran contaminantes, en un sentido práctico, a aquellas sustancias que en determinadas condiciones y concentraciones pueden causar daño al ambiente y a la salud del ser humano. Algunos contaminantes se forman a partir de otros mediante reacciones químicas y se denominan contaminantes secundarios (como el ozono que se forma a partir de reacciones de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia

de luz solar). A las sustancias que contaminan el aire se les agrupa en gases y partículas.

La peligrosidad de un contaminante depende de su composición química y en el caso de las partículas también de su tamaño, siendo importantes aquellas que “flotan” en el aire con dimensiones que van de una treintava hasta una quinta parte del diámetro de un cabello humano, lo que les permite penetrar en los pulmones y torrente sanguíneo igual que el oxígeno.



Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reportó que en el mundo mueren 6 millones de personas al año, y en México alrededor de 14 mil, por enfermedades asociadas a la contaminación del aire, en gran parte como consecuencia de los contaminantes secundarios. En particular, la exposición a largo plazo de PM2.5 (partículas suspendidas menores a 2.5 micras de diámetro) puede provocar aterosclerosis (endurecimiento de las arterias), efectos adversos en los partos y también se asocian a muertes por problemas cardiovasculares y respiratorios (según su composición química puede afectar al clima calentando o enfriando el planeta). Existe un grupo de 187 contaminantes del aire tóxicos (que pueden contar o no con un valor límite de concentración dependiendo de cada país) generalmente asociados con problemas mutagénicos, carcinogénicos, teratogénicos y neurológicos.

Para asegurar el funcionamiento adecuado de los activímetros se someten a diversas pruebas antes y durante su uso.

El LPR cuenta con la metodología para elaborar los estándares de referencia para cualquier radionúclido emisor gamma y ha participado, junto con diferentes países de América Latina, en la elaboración de un protocolo para el aseguramiento de la calidad de las mediciones en los activímetros.

En 2016 se emitió en México la norma NOM-040-NUCL-2016 “Requisitos de seguridad radiológica para la práctica de medicina nuclear”, la cual hace obligatorio en todo el país su aplicación en aquellos centros de medicina nuclear que utilicen un activímetro.

A partir de una calibración bajo norma y un adecuado cálculo de la incertidumbre se determina de forma adecuada la actividad de una fuente radiactiva, además de que también existen pruebas de control de calidad a las que deben ser sometidos los activímetros para asegurar su correcto funcionamiento.

El LPR cuenta con los procedimientos, la infraestructura y el personal calificado para proporcionar el servicio de control de calidad de activímetros y dar cumplimiento de la norma.

La investigación desarrollada en el LPR y su aplicación tiene un impacto positivo en la vida de la población, ya que permite garantizar tratamientos y diagnósticos con altos estándares de calidad gracias a los protocolos y procedimientos que siguen, y así salvan miles de vidas diariamente.



Para garantizar la medición correcta de las dosis de radiofármacos se utiliza un activímetro, este equipo mide la actividad de los radionúclidos en la formulación y dispensación de un radiofármaco al paciente.

OLGA CELIA GARCÍA DÍAZ

Estudió la Licenciatura en Química y la Maestría en Ciencias con especialidad en Física Médica, en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).

Está orgullosa de haber conseguido el reconocimiento internacional de las capacidades de medida en actividad. Su película favorita es *Diario de una pasión*, ya que le parece el ejemplo de un amor muy evolucionado. Disfruta mucho de hacer meditaciones guiadas y leer sobre el pensamiento holístico. Si pudiera tener un superpoder sería utilizar su energía para sanar cualquier enfermedad. Su utopía es que fuera posible que los seres humanos se enfocaran en sus emociones y en su lado espiritual.



El tipo de contaminante, toxicidad e interacciones químicas son sólo algunos aspectos a considerar para evaluar la contaminación del aire. Pero también existen otros valores, como las variaciones de las concentraciones respecto al tiempo y espacio, el tiempo de vida del contaminante en el aire y la diversidad de fuentes que los emiten (quema de combustibles en hogares, quema de desechos, vehículos ineficientes, industrias, etc.). Para evaluar la contaminación del aire hay que establecer los objetivos del estudio en escalas adecuadas de tiempo y espacio, definir qué, cómo, cuándo, dónde y con qué medir los contaminantes, así como las herramientas complementarias (condiciones meteorológicas, estimación y medición de las emisiones, modelos matemáticos, estadística simple y multivariada, entre otros).

Nuestra experiencia dentro del Departamento de Estudios del Ambiente del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), abarca tanto el sector gubernamental como la industria energética. Por ejemplo, hemos evaluado durante nueve años la contaminación del aire en poblaciones aledañas a las plantas que extraen y procesan el gas y aceite en la industria petrolera de toda la región norte de México. Gracias a estos estudios, la industria ha podido realizar esfuerzos de control, con la finalidad de mejorar las condiciones de salud de trabajadores y de la población.

Sin embargo, conocer las concentraciones en tiempo y espacio limitado no es suficiente. Por ello, se fortalecen los estudios aplicando modelos matemáticos de calidad del aire recomendados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), empleando datos de la zona para meteorología de superficie (hasta 10m de altura), radiosondeo (hasta 25km de altura) y elevaciones del terreno en formato digital (provisas por satélites de la NASA), para identificar en un solo proceso las concentraciones en áreas de riesgo a 1km a la redonda de las instalaciones, en sitios donde la medición no es suficiente o no puede llegar.

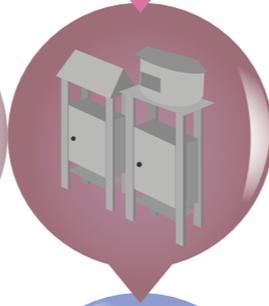
Estas herramientas fueron aplicadas para diseñar la primera red de medición de ácido sulfhídrico (H₂S), (contaminante tóxico con olor a huevo podrido) a bajas concentraciones (0.013 partes por millón) y

Aspectos para seleccionar y aplicar herramientas de evaluación de los contaminantes

Métodos pasivos, que no requieren bombear el aire, éste se difunde, absorbe o impregna (adsorbe) en un medio.



Métodos activos, que bombean un volumen conocido de aire en un medio o filtro. Este método y el anterior requieren el análisis posterior en laboratorio.



Analizadores automáticos, que miden cada minuto o menos la concentración de contaminantes. Estos son los que emplean las redes que informan a la población de la calidad del aire en zonas urbanas.



Analizadores ópticos de percepción remota, que miden a distancia, por ejemplo, pueden medir algunos gases en la fumarola de un volcán sin entrar en contacto con ella, pueden montarse en un globo, avión o hasta en un satélite.



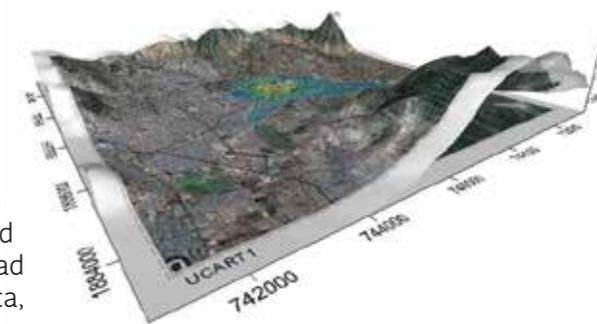
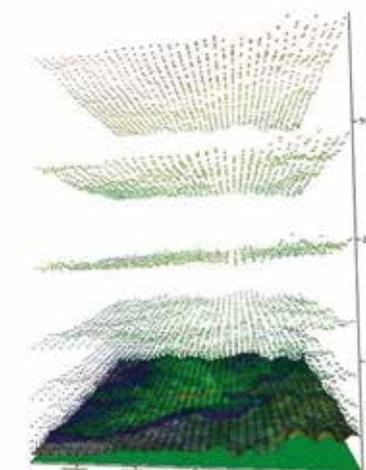
Medición de condiciones meteorológicas, que permite inferir si los contaminantes se alejan o acercan a través de la velocidad y dirección del viento, si se diluyen o acumulan en la altura, entre otras condiciones.



letal a (500 partes por millón), para el sector petrolero en México. La red fue diseñada para generar mediciones continuas en tiempo real para una cobertura representativa del posible impacto de la instalación. Para su diseño se consideraron los análisis de los resultados de las mediciones de contaminante y de los modelos matemáticos probados en diferentes escenarios de riesgo, los límites de protección a la salud de la población y límites normativos de protección a los trabajadores reportados en 8 países, la distribución georeferenciada de la población, su proyección de crecimiento a 10 años y características (sexo, edad, altura), así como modelos de estimación de emisiones propios de la industria. Paralelamente se diseñó el Sistema de Alerta Temprana para advertir con 36 horas una nube tóxica de H₂S.

La evaluación de la contaminación del aire ha permitido identificar problemas ambientales y tomar decisiones prácticas. Además, ha ayudado a conocer las pérdidas económicas por fugas en ductos petroquímicos, precisar la población afectada por emisiones de hornos ladrilleros, conocer las concentraciones previas a la instalación de nuevas industrias o probar alternativas de medición de emisiones vehiculares relacionadas con el "Hoy no circula". Cada una de estas acciones nos ayuda a forjar un mejor futuro para todos, basado en la sustentabilidad ambiental, que en palabras de Al Gore: "Sustentabilidad implica más que medio ambiente; implica ética, colaboradores, cadena de valor y más".

Modelación del transporte y dispersión de contaminantes



BEATRIZ HERNÁNDEZ MÉNDEZ

Estudió Ingeniería Industrial en Química en el Instituto Tecnológico de Veracruz (ITV) y la Maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Veracruzana (UV).

Se enorgullece de su padre y de formar parte del ININ. Su animal favorito es el lobo. Disfruta mucho de la lectura, el cine y el teatro. Algunas de sus películas favoritas son *Mar adentro* y *Lo que el viento se llevó*. El superpoder que elegiría es viajar a través del tiempo. Su utopía es que cualquier ciudadano del país tenga las mismas oportunidades de desarrollo humano, pues le parece un elemento básico para convertir a México en una gran nación.





La media naranja del agua

Remoción de metales del vital líquido

FERNANDO UREÑA NÚÑEZ

Hoy en día, la velocidad de producción y consumo de recursos es altísima, por ende la cantidad de desechos resultante también es excesiva. Si no existieran los cuidados y métodos para combatir el desgaste que le causamos a la naturaleza ya habríamos acabado con el planeta. Por suerte, existen elementos que combinados con la ciencia nuclear nos permiten salvaguardar nuestro hábitat.



El cuidado del ambiente es una tarea que debe realizarse de forma constante y con empeño para mejorar el mundo en el que vivimos. Preservar la naturaleza sería una tarea más sencilla si la cultura del reciclaje, la reutilización y la reducción de productos fuera asimilada correctamente por toda la población.

La reutilización de materiales es una acción fundamental para no contaminar nuestro planeta. La tendencia de innovar los usos de productos naturales y artificiales antes de tirarlos a la basura, reduce la distancia entre los recursos consumidos y los desechos que se producen. Algunos de los beneficios de reutilizar productos es que se reduce la contaminación en el aire, el agua y la tierra, además de minimizar gastos en la compra de nuevos productos.

Imagina que existiera un recurso que además de encontrarse en la naturaleza y tener un uso propio, también pudiera reutilizarse para cuidar el ambiente. Déjame decirte que existe y seguramente lo has tenido en las manos. El recurso del que te hablo es una fruta: la naranja.

La naranja tiene una composición nutrimental que se destaca por un bajo valor energético, con un alto contenido en agua y riqueza en vitamina C (sustancia que interviene en la formación de colágeno, huesos, glóbulos rojos y favorece la resistencia a las infecciones). Además de ser beneficiosa para la salud del ser humano, la naranja cuenta con una característica que seguramente no te esperabas: su cáscara es capaz de proteger la naturaleza.

La cáscara de naranja ha sido utilizada en diversas investigaciones como un biosorbente, éste se define como un material de procedencia orgánica que presenta la capacidad de sorción (facultad de absorber o sorber un contaminante). En la última década el uso de materiales de origen biológico se ha considerado una alternativa para la remoción (proceso de remover un contaminante) y la recuperación de metales.



La cáscara de naranja ha sido utilizada en diversas investigaciones como un biosorbente, éste se define como un material de procedencia orgánica que presenta la capacidad de sorción (facultad de absorber o sorber un contaminante).

En general, la biosorción se entiende como la captación pasiva de metales por parte de un material de procedencia biológica, mediante procedimientos fisicoquímicos, los cuales dependen de factores externos, como del tipo de metal a remover, en este caso del agua.

El proceso de biosorción tiene múltiples ventajas con respecto a otros métodos para separar elementos. Por ejemplo, se obtiene agua residual tratada de alta pureza y la materia prima es económica, ya que la biomasa (cualquier material de procedencia biológica) natural es abundante en la naturaleza. El metal puede desorberse (cuando un material suelta el contaminante) rápidamente y recuperarse, pero si su valor es insignificante y la biomasa está al límite, esta última puede incinerarse evitando tratamientos de regeneración.

Este procedimiento es muy útil para contrarrestar las problemáticas causadas por el cromo hexavalente (un compuesto tóxico hallado algunas veces en el agua) que tiene efectos sumamente negativos en el hígado y causa problemas reproductivos y de desarrollo, además de cáncer.

Debido a que el cromo hexavalente es resultado de una amplia variedad de industrias, la contaminación de cuerpos de agua por este metal es inevitable. Esto ha provocado que se busquen alternativas para su remoción (proceso de remover un elemento, un contaminante en este caso). Por ello, los procesos de adsorción (fenómeno por el cual un sólido o un líquido atraen y retienen en su superficie cuerpos disueltos) son una alternativa en los tratamientos de aguas residuales, con el fin de reducir el contenido de metales pesados.

Muchos biosorbentes de bajo costo provenientes de la agricultura han sido probados en la remoción del cromo hexavalente, mostrando una gran capacidad de sorción. La cáscara de naranja ha sido utilizada como biosorbente de contaminantes, como moléculas orgánicas y metales pesados. Además tiene una capacidad en la remoción de cromo (Cr) de un 60%. Pero aún puede obtener más poder como biosorbente.



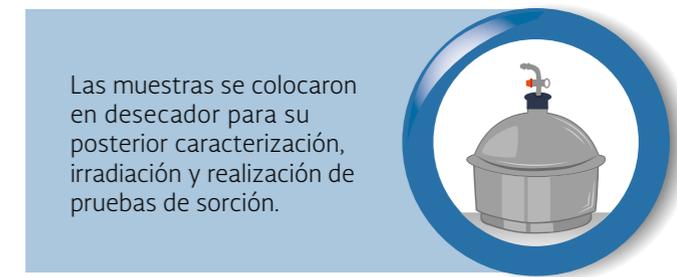
El biosorbente se obtuvo directamente de los frutos que se lavaron para remover las impurezas adheridas.



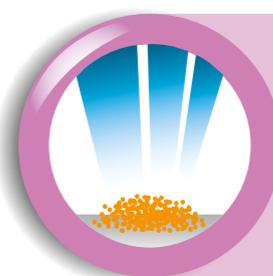
Después se secaron a temperatura ambiente por 5 días a los rayos del sol.



Posteriormente, se molieron en un molino y se tamizaron, obteniendo tamaños de partículas entre 0.84 a 0.09 micrómetros.



Las muestras se colocaron en desecador para su posterior caracterización, irradiación y realización de pruebas de sorción.



Para estudiar el efecto de la irradiación en la capacidad de sorción se irradiaron las muestras de cáscara de naranja, utilizando una fuente de cobalto-60 a una dosis de 10 a 3 mil 500 kilograys.



Otro ladrillo en la pared

Hornos ecológicos

Los efectos de la radiación al interactuar con la materia nos ayudan a estudiar mejor las características de la cáscara de naranja. En el proyecto realizado en el Gerencia de Ciencias Básicas, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se utilizó la cáscara de naranja sometida a irradiación en varias dosis para determinar su efecto en la sorción de cromo.

La cáscara de naranja contiene grupos funcionales capaces de remover cromo obteniendo un porcentaje de remoción de 31%. Combinado con el proceso de irradiación de la biomasa con rayos gamma se incrementó exitosamente la remoción de cromo hexavalente (de forma proporcional a la dosis recibida), obteniendo un porcentaje de remoción del 100%.

Gracias a la remoción de cromo es posible descontaminar el agua, uno de los recursos naturales fundamentales para la vida en la Tierra, que es susceptible a ser contaminado por todo tipo de sustancias. Con los proyectos que se llevan a cabo en el ININ podemos darnos una oportunidad más para cuidar la naturaleza y procurar nuestra salud.



El proceso de biosorción tiene múltiples ventajas con respecto a otros métodos para separar elementos. Por ejemplo, se obtiene agua residual tratada de alta pureza y la materia prima es económica, ya que la biomasa natural es abundante en la naturaleza.

FERNANDO UREÑA NÚÑEZ

Estudió la Licenciatura en Química Industrial en la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), la Maestría en Ciencias Nucleares en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Doctorado en Ciencias en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-Iztapalapa).

Está orgulloso de poder ayudar a las personas con las investigaciones que realiza. Su película favorita es *Con la piel bajo el sol*. Su animal preferido es el caballo. Si pudiera tener un súper poder sería el de la teletransportación. Su utopía es vivir en un mundo lleno de paz y armonía, libre de egoísmos y corrupción.



ROSA HILDA CHÁVEZ TORRES

El mundo está lleno de escenarios impresionantes. La gran muralla China es uno de ellos, pues es una construcción de más de 21 kilómetros de largo! Para levantarla se necesitó de un elemento fundamental: el ladrillo, un material resistente y eficaz, que es utilizado hoy día en múltiples industrias. Con ayuda de la tecnología hemos mejorado las formas de su producción sin generar un impacto negativo al medio ambiente ni a la salud.



El ladrillo es el material de construcción de mayor antigüedad fabricado por el hombre. Su origen se remonta a civilizaciones que se asentaron en territorios que actualmente corresponden a Irak e Irán.

En ese entonces el material más utilizado era la cerámica, podríamos decir que es el antecedente directo del ladrillo, material que se inventó posteriormente como resultado de la combinación de fuego, tierra, agua y aire, además de un proceso de humectación, amasado, secado y cocción.

El uso del ladrillo se popularizó por todo el mundo, ya que la producción de este material es simple al igual que su proceso de elaboración.

Algunos de los elementos que popularizaron el uso del ladrillo fueron las caravanas de pueblos nómadas y las expansiones territoriales del Imperio Romano, además de las rutas comerciales de Marco Polo, que contribuyeron a generalizar costumbres y uso del ladrillo.

La mayoría de las ciudades europeas que florecieron en la Edad Media y el Renacimiento conservan construcciones monumentales hechas de ladrillo, en España, Italia, Francia, Holanda, Bélgica y Alemania.

En América se tienen vestigios de una piedra encuadrada y pulimentada, como es el caso de las esculturas centroamericanas y mexicanas de adobe de grandes dimensiones en templos y palacios.

Actualmente, el uso del ladrillo es fundamental en las construcciones modernas de nuestro país. Sin embargo el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) reportó en diciembre del año pasado la existencia de mil 700 unidades artesanales que lo producen con tecnología rudimentaria, dentro o cerca de áreas urbanas, las que generan problemas de contaminación del aire, emitiendo gases de efecto invernadero, incluyendo los contaminantes climáticos de vida corta, principalmente el carbono negro, que afecta a productores y a la población cercana.



El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) reportó en diciembre del año pasado la existencia de 1,700 unidades artesanales que lo producen con tecnología rudimentaria, dentro o cerca de áreas urbanas, las que generan problemas de contaminación del aire, emitiendo gases de efecto invernadero.



La información sobre el daño causado al ambiente por la producción de ladrillo en México fueron resultado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), con fondos de la Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC, por sus siglas en inglés). El alcance del estudio fue nacional y el análisis de producción de ladrillo artesanal se enfocó en ocho estados (Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Estado de México, Ciudad de México, Jalisco y Guanajuato), que juntos sumaron el 58% de ladrilleras del país.

La industria ladrillera es una actividad que si no se regula adecuadamente puede afectar el medio ambiente regional, ya que implica una degradación constante de los ecosistemas urbanos y rurales. Los humos, vapores, gases y cenizas volantes, resultado de la combustión, son arrastrados por el viento y dispersados. El impacto de este proceso afecta la salud de la población, así como la flora y la fauna de la región.

Con el propósito de propiciar un cambio positivo para el ambiente, como consecuencia de la producción de ladrillos, el programa Fondos Mixtos (Conacyt-Estado de México) financió el proyecto "Evaluación en la reducción de emisiones contaminantes, gases efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, mediante acoplamiento de hornos ladrilleros en el Estado de México". Dicho

proyecto finalizó en febrero de 2013 y se logró reducir un 85% promedio de todos los gases de efecto invernadero.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) llevó a cabo una investigación enfocada a la construcción de hornos acoplados y a su operación, con el propósito de mejorar el proceso de cocimiento de los ladrillos y la capacitación de los productores mediante 10 quemas. Consistió en la construcción de dos hornos con bóveda y chimenea, en sustitución al tradicional a cielo abierto, unidos mediante conductos para dirigir los gases que se producen en la "quema" de combustible.

El sistema de hornos acoplados se adapta a los distintos tipos de combustible de bajo costo empleados por los artesanos, como aceite usado de automóvil, combustóleo, diésel, estiércoles, cáscara de café, aserrín y otros residuos generados por la comunidad.

El sistema de hornos acoplados permite realizar dos o tres "quemas" por semana. Esto puede hacerse si los productores trabajan de manera colectiva en la operación de estos hornos y los use la comunidad. Los hornos acoplados reemplazan ocho hornos tradicionales a cielo abierto, si se realizan dos quemas por semana o 12 hornos para tres quemas por semana.

Gracias al desarrollo de este proyecto se ha mejorado la economía de los productores de ladrillos, pues se reduce a la mitad el consumo de combustible, aumenta la calidad del ladrillo y se facilita el trabajo del artesano, además de procurar la salud de la población, ya que disminuye en 85% las emisiones de humos tóxicos, y contribuye a cuidar al planeta al reducir las emisiones de GEI, causantes del cambio climático.

Trabajos en desarrollo en el ININ



Caracterización del carbono negro que se produce en la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, y se agrupan según su tamaño inferior a 10 micrómetros y 2.5 micrómetros.

Uso de cenizas de plantas carboeléctricas y de madera para purificación de biogás de rellenos sanitarios.



Estudios en captura de CO₂ mediante absorción química a través de aminas primarias, secundarias y terciarias, usando sistema experimental, y el desarrollo de rellenos de columnas de separación denominados empaques estructurados en acero inoxidable.

Estudios de adsorbentes naturales para la adsorción del CO₂.



Horno tradicional



Horno acoplado

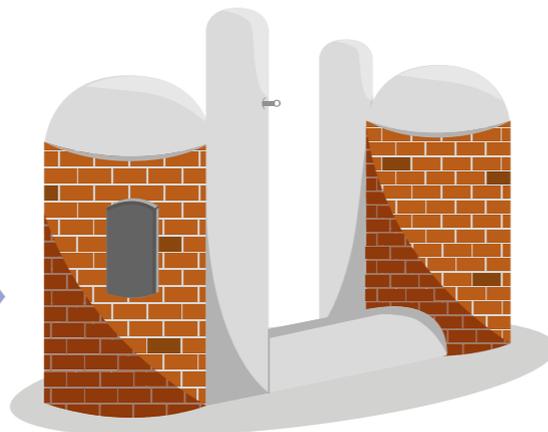


Los hornos acoplados reemplazan ocho hornos tradicionales a cielo abierto si se realizan dos quemas por semana o 12 hornos para tres quemas por semana.

Proceso que se lleva a cabo en los hornos acoplados

1 Mientras que en el primer horno "activo" se produce la cocción de una carga de ladrillos, se aprovecha el calor residual de los gases emitidos para calentar la carga de ladrillos al segundo horno "pasivo" y se elimine la humedad que aún contienen además de un precalentamiento.

2 Una de las ventajas de este procedimiento es que las partículas u hollín que contienen estos gases, quedan atrapados en la carga del horno "pasivo". Además, cuando llega el momento de hacer la quema en el segundo horno, "el pasivo se convierte en activo" y utiliza menos combustible para el cocimiento.



ROSA HILDA CHÁVEZ TORRES

Estudió Ingeniería en Química Industrial y Maestría en Ciencias en Ingeniería Química en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el doctorado en Ciencias en la Universidad La Salle y un postdoctorado en el Institut für Technische Thermodynamik und Thermische Verfahrenstechnik, de la Universidad de Stuttgart, Alemania.

Está orgullosa de haber concluido sus estudios con apoyo de su familia, de ser responsable técnico de proyectos Conacyt, además de ser editora del primer libro en México sobre el tema de Captura de CO₂. Para ella este trabajo representa un tributo al esfuerzo decidido de la incontable gente que continúa hoy produciendo el ladrillo, de manera precaria o con aplicación de tecnología, para mejorar el proceso y calidad del ladrillo. Disfruta de trotar rodeada de la naturaleza, así como de tocar el piano. Algunos de sus autores favoritos son Voltaire, Rousseau y Nietzsche.





La aplicación tangible de la ciencia nuclear

Aplicaciones para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible



LYDIA CONCEPCIÓN PAREDES GUTIÉRREZ

Asegurar el bienestar, el desarrollo y la responsabilidad social, económica y ambiental son metas que competen a la comunidad internacional. Toda acción presente tiene consecuencias en el futuro, por ello la ciencia y la tecnología nucleares son puntales que nos ayudan a procurar un mejor mañana.



Hoy más que nunca, uno de los objetivos más importantes para la comunidad internacional es procurar y garantizar un desarrollo humano integral y global. Con este propósito el 24 de octubre de 1945 se fundó la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y estableció como ejes fundamentales mantener la paz y la seguridad internacionales, fomentar entre las naciones relaciones de amistad, promover el respeto de los derechos humanos y ayudar a armonizar los esfuerzos de las naciones.

Actualmente, hay 193 estados miembro en la ONU, y el 25 de septiembre de 2015 se llevó a cabo la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, en Nueva York. En dicha reunión se presentó la Agenda para el Desarrollo Sostenible, que cuenta con 169 metas, y cuyo objetivo principal es poner fin a la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

- 1 Erradicar la pobreza en todas sus formas
- 2 Erradicar el hambre y mejorar la nutrición
- 3 Asegurar más vidas saludables
- 4 Asegurar educación de calidad para todos
- 5 Alcanzar la equidad de género y empoderar a las niñas
- 6 Asegurar la disponibilidad y manejo del agua
- 7 Asegurar accesos a energía costeable
- 8 Promover la creación de empleos productivos
- 9 Construir edificios más sustentables
- 10 Reducir inequidad en los países
- 11 Hacer las poblaciones y las ciudades más seguras
- 12 Asegurar el consumo sostenible de productos
- 13 Actuar contra el cambio climático
- 14 Conservar los océanos y recursos marítimos
- 15 Proteger y restaurar los ecosistemas naturales
- 16 Promover sociedades pacíficas e inclusivas
- 17 Fortalecer la colaboración global

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) tienen el propósito de propiciar un mundo sostenible para el año 2030, y son un llamado universal a la adopción de medidas para acabar con la pobreza, cuidar el planeta, y garantizar la paz y la prosperidad mundial.

Para tener un mundo sostenible, la ciencia y la tecnología nucleares son pilares fundamentales. El descubrimiento de la fisión nuclear en la década de 1930 potenció el desarrollo de aplicaciones

pacíficas de la tecnología nuclear, que han ayudado a mejorar los cultivos y combatir las plagas, desarrollar métodos de diagnóstico y tratamientos médicos para combatir diversas enfermedades, así como proteger el ambiente y garantizar un suministro estable de energía en el mundo, entre muchas otras.

La comunidad científica internacional está de acuerdo en que la tecnología nuclear es fundamental para el cumplimiento de los ODS antes del año 2030.





Caballos de batalla

De los videojuegos al análisis de reactores nucleares

Las aplicaciones nucleares han tenido resultados tangibles en diversos ámbitos, por ejemplo, en el de seguridad alimentaria y agrícola. Desde la lucha eficaz contra las plagas y las enfermedades hasta la mejora de las variedades de cultivos, y la garantía de la inocuidad de los alimentos. En diversas zonas geográficas se está procurando la seguridad alimentaria con la implementación de técnicas nucleares.

En el área de medicina, la radiación juega un papel esencial en el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades. El acceso a la medicina nuclear da garantía de una mejor calidad en la salud de la sociedad, ayuda a combatir el cáncer al elaborar programas integrales de control de este padecimiento con radioterapia e instalaciones de radiología.

Por otro lado, la energía nuclear es una de las tecnologías que generan electricidad sin producir dióxido de carbono, un punto importante en la mitigación del cambio climático. En este sentido, la ciencia nuclear es capaz de apoyar considerablemente en la contribución de energía limpia y asequible. Para regular los avances tecnológicos y los usos de la tecnología nuclear, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) promueve la aplicación eficiente y segura de la tecnología nuclear, mediante el fortalecimiento de programas nucleares existentes e impulsando nuevos en todo el mundo.

La tecnología nuclear es un elemento necesario para afrontar los retos que tenemos en la actualidad, las aplicaciones mencionadas son sólo algunas de la gama de alternativas benéficas que la ciencia nuclear le ofrece a la sociedad. Y lo más importante es que si consideramos los alcances de la energía nuclear, todavía podemos ofrecer y seguir desarrollando herramientas para mejorar nuestro futuro.



LYDIA CONCEPCIÓN PAREDES GUTIÉRREZ

Es doctora y maestra en Ciencias en Física Médica por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Realizó los estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Ingeniería en Energía en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

Es directora general del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) desde 2013 y presidenta del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y El Caribe (ARCAL) del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2017). También es presidenta de la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society (LAS/ANS).

En reconocimiento a su amplia trayectoria profesional fue galardonada con el premio a *La Personalidad del Año 2017*, por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society. Ha sido nombrada egresada distinguida de la UAM y reconocida por su trayectoria profesional por la Fraternidad Institutense de la UAEM.

Se siente orgullosa de pertenecer a la comunidad del ININ. Algunos de sus animales favoritos son el chita o guepardo y las abejas por su capacidad de trabajo. Si tuviera un superpoder sería viajar en el tiempo, por ello le fascina la arqueología.



ANDRÉS RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Los videojuegos generan entretenimiento a miles de jóvenes en el mundo. Pero no sólo han servido para entretener, también gracias a ellos ha sido posible fortalecer las herramientas tecnológicas de múltiples aplicaciones científicas. Entérate cómo Pacman nos ayudó a realizar análisis de reactores nucleares.



Casi siempre nos vemos en problemas si intentamos hacer varias cosas al mismo tiempo. Es cuando desearíamos que el día tuviera más de 24 horas o poder multiplicarnos para terminar todos nuestros pendientes. Las computadoras del pasado se enfrentaban al mismo dilema. Pero la tecnología ha avanzado de tal manera que las ha vuelto mucho más eficaces.

El cómputo en paralelo es la disciplina informática ocupada de los problemas de software relacionados con la ejecución de aplicaciones simultáneas o de tareas que se ejecutan al mismo tiempo. El interés por esta disciplina se remonta a finales de los años 50 y los avances que surgieron en esa década se vieron reflejados en las supercomputadoras de las décadas de los 60 y 70. A finales de 1980, los *clústeres* (término aplicado al conjunto de equipos unidos entre sí mediante una red de alta velocidad que se comportan como si fuesen una sola computadora) desplazaron a los múltiples procesadores en paralelo y hoy en día se han convertido en el caballo de batalla de la computación científica y son la base de la arquitectura dominante en los centros de datos.

La industria de los videojuegos inició a mitad del siglo XX con recursos computacionales paupérrimos, en cuanto a memoria se refiere. ¿Quién no recuerda los primeros títulos como *Pacman* y *Ping pong*, en dispositivos que de pronto se alentaban? Algunos de los primeros desarrollos fueron de empresas como *Atari* y *Sega*, pero las modernas consolas actuales cuentan con unidades de procesamiento gráfico y están equipadas con Blue-ray Disc.

La unidad de procesamiento gráfico o GPU (Graphics Processor Unit) es un coprocesador creado para aligerar la carga de trabajo del procesador central (CPU) en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas. De esta forma, mientras gran parte de lo relacionado con los gráficos se procesa en la GPU, el CPU puede dedicarse a otro tipo de tareas (incluyendo el control de las tareas que se envían a la GPU).

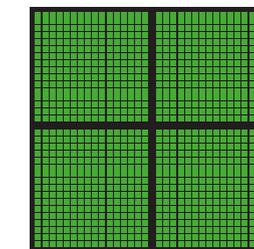
Las computadoras más famosas que usan los videojugadores o *gamers* están equipadas con estas tarjetas gráficas, por la que los videojuegos actuales como *HALO* lucen mucho más complejos y reales que el antiguo *Pacman*. Contar con GPU es como tener una colonia de hormigas haciendo las tareas básicas de recolección, mientras que la reina (el CPU) organiza las cosas para que la comunidad prospere.



La unidad de procesamiento gráfico o GPU (Graphics Processor Unit) es un coprocesador creado para aligerar la carga de trabajo del procesador central (CPU) en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas.



CPU
Múltiples Cores



GPU
Miles de Cores

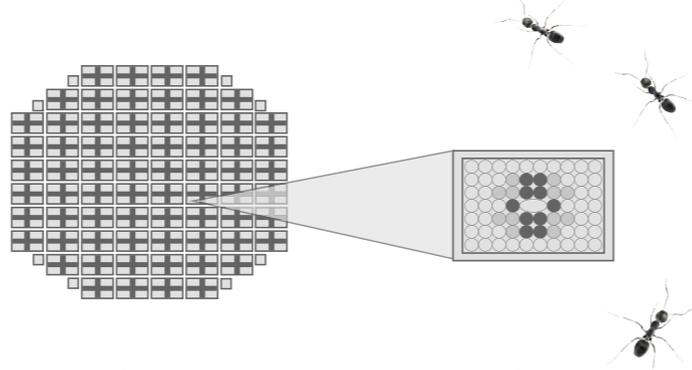
En el ámbito científico muchas de las simulaciones numéricas que se hacen para representar algún fenómeno físico están relacionadas con la ejecución de cientos de miles de operaciones básicas, por ejemplo, los modelos para predecir el clima. Es por eso que ahora se aprovecha el gran potencial de cálculo de las GPU para aplicaciones no relacionadas con los gráficos.

A este proceso se le dio el nombre de GPU de propósito general o GPGPU (General Purpose GPU). Estas aplicaciones abarcan actualmente muchas áreas de la ciencia (aeronáutica, geofísica, astrofísica, genética, química cuántica, cómputo financiero, modelos oceanográficos, etcétera).

En el caso de la industria nuclear, desde finales de los años 50, la necesidad de realizar análisis de seguridad de reactores nucleares fue esencial, principalmente para las centrales nucleares comerciales. Gracias a la aplicación de los cálculos de la computación científica es posible realizar mejores análisis de seguridad. En los primeros intentos, el objetivo era solucionar un conjunto de ecuaciones que representaban la física de neutrones en un reactor. Para esa enorme tarea se utilizaron técnicas numéricas y se desarrollaron programas de cómputo. Pero, sin importar el método numérico que se utilice, el analista siempre se enfrentaba al problema de las limitaciones de la computadora y de los grandes tiempos de procesamiento.

El uso de la programación en paralelo hizo que en varias partes del mundo (en institutos de investigación, organismos reguladores nucleares

y compañías eléctricas) utilicen equipos de supercómputo basado en dispositivos GPU. Es así que el Departamento de Sistemas Nucleares, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), desarrolló el primer modelo computacional en México para cálculos de reactores nucleares basado en procesamiento en paralelo usando GPU que nombró AZKIND. Con las implementaciones de cómputo de alto rendimiento usando las GPU es posible incluir muchos más detalles en el análisis del núcleo de un reactor. Si retomamos nuestra analogía anterior cada hormiga resolverá las ecuaciones de la física de neutrones en cada pastilla de combustible (cada círculo pequeño mostrado en el zoom de la figura).



La versión actual del programa de cómputo AZKIND ha demostrado ser una base computacional con altas capacidades para análisis de reactores nucleares, convirtiéndose en una útil y poderosa herramienta para el análisis de reactores de agua ligera, capaz de fortalecer el desarrollo científico y tecnológico en México y el mundo.

ANDRÉS RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ

Estudió la Licenciatura en Física y Matemáticas, y la Maestría en Ciencias en el campo de la Ingeniería Nuclear en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM), del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Actualmente estudia el Doctorado en Ciencias Físico-Matemáticas en la misma institución.

Recibió el premio a *La Mejor Publicación Científica del Año 2017* por la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society.

Está orgulloso de sus hijos y de pertenecer al equipo de trabajo AZTLAN. Su película favorita es *Inteligencia artificial* y los animales que más le gustan son los perros de raza pequeña y los loros.

Disfruta mucho de la lectura y de la música, en especial el rock. Su sueño es poder llevar a su grupo de rock al extranjero.

Si pudiera tener un poder sería transmutarse o la teletransportación. Sus platillos favoritos son la pancita de res y el montalayo.



La corrosión nunca duerme

Gestión del envejecimiento de materiales

CARLOS ROSENDO ARGANIS JUÁREZ

Seguro te has percatado que con el paso de los años el entorno y las cosas suelen cambiar e incluso degradarse. Como dice el viejo dicho: "el tiempo no perdona". Y en el caso de los metales su estado cambia debido a la corrosión. Aunque pensemos que es imposible hacer algo al respecto, en realidad existen procedimientos para gestionar el envejecimiento de los materiales.



¿Qué es la corrosión? Aún recuerdo las palabras de un respetable profesor de la Facultad en la que estudié, quien definía la corrosión como "la venganza de la naturaleza". Y, efectivamente, la corrosión es el proceso por el cual un material metálico reacciona química o electroquímicamente para volver a su estado o condición natural. En la naturaleza los metales existen en sus formas estables como minerales y óxidos, cuando el hombre les aplica energía estos se convierten en su forma metálica. Las leyes de la termodinámica, sin embargo, dictan que todo tiende a tomar su estado de mínima energía. Por ello, los metales regresan a sus formas estables en la naturaleza y vuelven a su estado inicial de minerales en forma de óxidos.

La corrosión suele generar pérdidas significativas y preocupantes. Desde el siglo pasado se han realizado estudios al respecto y en 1949 el científico Herbert Uhlig reveló que en Estados Unidos el costo causado por la corrosión fue cercano al 3% del Producto Interno Bruto (PIB) de ese país. En 2013 el costo global fue de 2.5 trillones de dólares. Afortunadamente, con la tecnología actual es posible reducir del 15 al 35% del costo de la corrosión.

La corrosión tiene muchas formas de manifestarse y un elemento fundamental para que se produzca es el tiempo. En los materiales (la mayoría de los que componen la infraestructura de la industria) se produce un envejecimiento. Por ello, usar programas de gestión del envejecimiento de materiales es una buena estrategia para preservar la infraestructura industrial. Y el sector nuclear, por supuesto, es pionero en usar este tipo de estrategias para garantizar la seguridad de sus instalaciones.

Tipos de corrosión

Corrosión uniforme

aquella que disuelve el espesor de los metales de manera uniforme con el tiempo y es muy fácil de controlar.



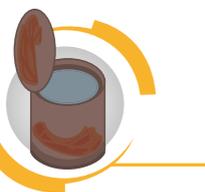
Corrosión localizada

se presenta sólo en algunos puntos de la superficie del metal y se desarrolla a gran velocidad. Por ejemplo, es difícil calcular, la corrosión por picaduras, la corrosión en hendiduras y el agrietamiento inducido por el medio.



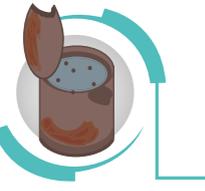
Corrosión acelerada por flujo

la velocidad del fluido acelera o incrementa el proceso de corrosión.



Corrosión microbiológica

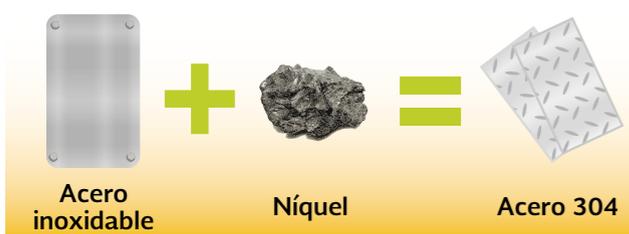
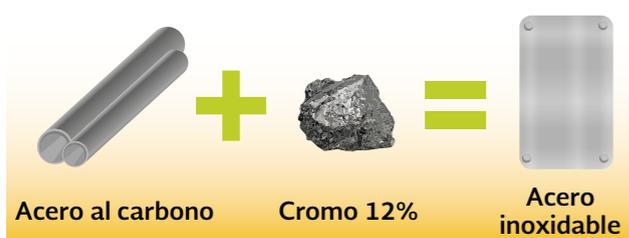
los microorganismos producen medios que aceleran la corrosión u oxidan al metal al tomar electrones para sus procesos metabólicos.



Existen materiales estructurales, como los aceros al carbono (constituidos principalmente por elementos como el hierro y el carbono), que tienen muy buenas propiedades mecánicas, pero no son muy resistentes a la corrosión. Los aceros mal llamados inoxidables tienen generalmente 12% en peso de cromo y tienen mejores propiedades a la corrosión.

El tipo 304 (que se compone de 18% de cromo y 8% de níquel) es más resistente a ambientes agresivos conservando sus buenas propiedades mecánicas.

Si por ejemplo se le agrega 3% de molibdeno, se obtiene el acero 316, que es muy resistente a las picaduras y al ataque por cloruros, lo que da como resultado un superacero.



Los aceros y en general los metales (vistos en un microscopio) están constituidos por regiones donde los átomos se acomodaron en una misma dirección al solidificarse, cuando dos de estas regiones se encuentran, forman una frontera. El aspecto es parecido a los pisos de adoquín hexagonales que se usan en los jardines. Estas regiones se denominan granos.

Los aceros inoxidables al calentarse alrededor de los 600°C (generalmente esto ocurre en los procesos de soldadura) se les forman carburos de cromo en los límites de grano, haciendo que

las regiones alrededor de los carburos queden pobres en cromo y sean más susceptibles a corroerse. Entonces, se presenta un tipo de corrosión localizada llamada corrosión intergranular, porque ataca la región entre los granos. Para determinar esta susceptibilidad, se utiliza un reactivo especial que disuelve las zonas pobres en cromo y muestra zanjas en los límites de grano. Este procedimiento es una forma de determinar la susceptibilidad a la corrosión intergranular.

Desde 1980, en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se crearon los grupos de "Corrosión y Análisis de Fallas" en el Departamento de Tecnología de Materiales. Estos grupos dieron servicio a la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde (CNLV), en especial, en la caracterización de materiales, en la construcción y arranque de la misma.

En 1993, el ININ dio inicio a proyectos de cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), para atacar los mecanismos de envejecimiento de los materiales. Los primeros proyectos con el OIEA se enfocaron en desarrollar el Laboratorio de Mecánica de la Fractura, que estudia cómo crecen las grietas y el agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos (en especial, el de los aceros inoxidables, cuyo agrietamiento es intergranular). Actualmente, se continúa trabajando con los proyectos del OIEA.

Cuando se presenta un mecanismo de envejecimiento, se puede tratar de mitigarlo modificando algunas de sus condiciones. Por ejemplo, el agrietamiento por corrosión de los aceros inoxidables de las centrales nucleares se produce debido a que el agua desmineralizada interacciona con la radiación, lo que genera radicales libres oxidantes (como el oxígeno y el agua oxigenada). Una forma de atacar este problema es agregar hidrógeno y metales nobles para que el hidrógeno se combine de forma eficaz con este compuesto y el agua se vuelva un ambiente reductor. En otras ocasiones, cuando no es posible mitigar un fenómeno, se puede inspeccionar el daño causado mediante cálculos predictivos para establecer el estado de la pieza y tomar las acciones o medidas correctivas necesarias.

Los reactores de agua en ebullición, como los de la CNLV, contienen una serie de componentes llamados "internos de la vasija", justo dentro de su vasija de presión. La mayoría están constituidos por aceros inoxidables tipo 304 y 304L (un acero con menos carbono para evitar la formación de carburos de cromo). Las centrales nucleares tienen un periodo de licencia de operación de 30 a 40 años. Gracias al adelanto de las técnicas de cómputo y cálculo actuales se descubrió que estas son capaces de trabajar por mayor tiempo realizando los programas de gestión del envejecimiento de los materiales. Cuando lo hacen, entran en el término Operación a Largo Plazo.

Dentro del marco de proyectos de materiales con el OIEA, el ININ apoyó a la CNLV mediante cursos, talleres y difusión de la metodología de Operación a Largo Plazo, para que la central solicitara su renovación de licencia que le permitirá, si es aceptada, operar 60 años en ambos reactores. En el caso del agrietamiento intergranular por corrosión bajo esfuerzo, en los componentes internos de la vasija, existe un programa de inspección de los mismos y el programa de química del agua. En este caso es un programa de mitigación del problema y otro de monitoreo.

La metodología de gestión del envejecimiento es transferible a toda la industria. La industria nuclear es pionera en ese campo por la legislación tan rigurosa que se aplica en ella. Además, los mecanismos de envejecimiento son similares para industrias que estén en el mismo ambiente y tengan características similares. Por ejemplo, si pensamos que la CNLV (ubicada en Veracruz) se encuentra en un ambiente tropical y marino, cualquier industria que esté en una situación geográfica similar (por ejemplo, una plataforma petrolera) presentará los mismos problemas, particularmente, de corrosión. Por ende, los estudios previos realizados también ofrecerán una solución.

En el Departamento de Tecnología de Materiales del ININ se realizan análisis de falla para la industria convencional, como fallas en tuberías de plantas procesadoras de chiles en conserva, la industria automotriz, problemas en intercambiadores de calor y calderas en la industria petrolera o fallas en pinturas en acero estructural. La experiencia de más de 25 años de este grupo continúa al servicio de la industria del país.

CARLOS ROSENDO ARGANIS JUÁREZ

Estudió Ingeniería en Química Metalúrgica, la Maestría en Metalurgia y el Doctorado en Ciencias Químicas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Está orgulloso de que la investigación que realizó en el Doctorado ha sido retomada por diversos investigadores del medio, además de ser seleccionada para aparecer en un libro relacionado con la técnica electroquímica utilizada. Su película favorita es *Volver al futuro* y el animal que más le gusta es el halcón. Si tuviera un superpoder sería volver en el tiempo. Algunos de sus personajes favoritos son el científico Carl Sagan y Montgomery Scott de la serie *Star Trek*.





Vigilantes móviles

Tecnología robótica y drones



RAÚL MARIO VÁZQUEZ CERVANTES

Tener la capacidad de mover objetos a distancia (telequinesis) y poder estar presentes en otros lugares (ubicuidad) son poderes que parecen salidos de un cómic. Pero, como dicen, la realidad siempre supera la ficción. Estas capacidades ahora son posibles gracias al uso de la tecnología robótica y resultan de suma importancia al aplicarse en actividades de protección radiológica.



Seguramente recuerdas que las características de la radiación son particulares y únicas, ya que no podemos verla, oírla, saborearla ni olerla. La radiación pasa desapercibida por nuestros sentidos y, de forma natural, no hay nada que podamos hacer para sentirla.

Para percibirla se requiere de equipos detectores de radiación. Este tipo de herramientas nos permiten obtener información de señales eléctricas para cuantificar e identificar las fuentes radiactivas, mediante la interacción de la radiación con el material con que están hechos los detectores.

Gracias a la tecnología enfocada en la protección radiológica podemos reducir los posibles riesgos de las fuentes radiactivas, pero ¿qué sucede en escenarios donde las fuentes radiactivas han sido robadas o forman parte de un acto ilícito, además de posibles accidentes en lugares donde se encuentran estos materiales? Para estos casos ha sido necesario generar una infraestructura y equipamiento que nos permite dar una respuesta efectiva en escenarios de emergencias radiológicas.

La mejor herramienta con la que contamos para controlar los escenarios de riesgo es el uso de tecnología, tal como vehículos terrestres y aéreos no tripulados, instrumentados con detectores de radiación. Esto nos permite realizar tareas de inspección visual, vigilancia, monitoreo radiológico, captura y manipulación de fuentes radiactivas. Todas estas tareas se pueden realizar de forma remota o a distancia. Es como tener el don de la ubicuidad y el poder de la telequinesis, ¿impresionante verdad?

Con el uso de robots aéreos (drones) y terrestres (rovers) realizamos operaciones a distancia en tareas de inspección visual, vigilancia y monitoreo radiológico, además de la captura y manipulación de fuentes radiactivas. Contar con la capacidad de llevar a cabo diversas operaciones con robots en forma remota nos brinda la ventaja de evitar o reducir la exposición a la radiación del personal de respuesta a la emergencia radiológica.

En protección radiológica se sigue el principio ALARA (de las siglas en inglés de "tan bajo como sea razonablemente posible") que se refiere a las medidas para reducir la dosis de exposición a la radiación y atenuar el deterioro de la salud por causa de dicha exposición.

Los criterios o factores de protección radiológica que se usan para aplicar el principio ALARA son: distancia (a mayor distancia de la fuente radiactiva, menos dosis se recibe), blindaje (una protección adecuada reduce también la dosis recibida) y tiempo (cuanto menor sea el tiempo que pasemos cerca de una fuente radiactiva menor será la exposición).

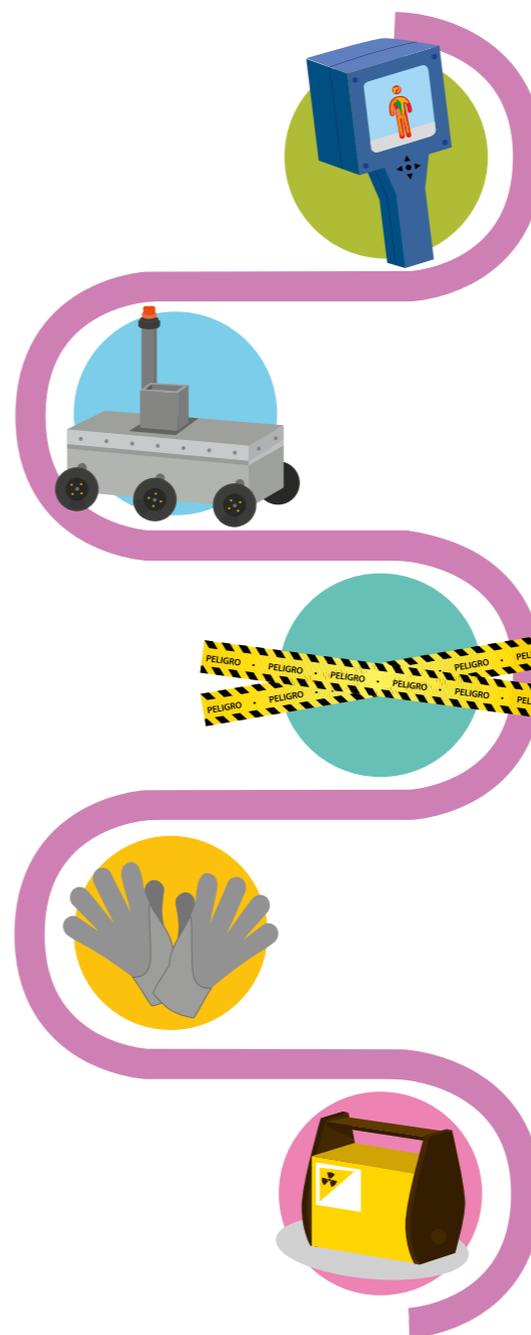
En el Departamento de Sistemas Electrónicos, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se desarrollan prototipos de vehículos robóticos aéreos y terrestres instrumentados con detectores de radiación, para cubrir escenarios de respuesta a emergencias radiológicas.

Tareas de robots aéreos y terrestres en caso de emergencia radiológica

- 1 Inspección visual del área, aplicaciones de búsqueda de la fuente radiactiva y vigilancia de seguridad física, con cámaras de televisión y cámaras de imágenes térmicas.
- 2 Recorrido de un vehículo robótico operado remotamente con detector de radiación para búsqueda de fuentes radiactivas perdidas.
- 3 Localización de fuentes radiactivas y delimitación de superficies de suelo contaminadas por fuentes radiactivas.
- 4 Determinación de curvas de isodosis (lugar geométrico, puntos o zonas en el espacio donde se tienen las mismas medidas de dosis de radiación). Las curvas de isodosis son levantadas por el personal de protección radiológica en diversas situaciones de monitoreo radiológico, por ejemplo para delimitar zonas seguras para la operación del personal.
- 5 Captura, manipulación y trasvase de una fuente radiactiva en campo a un contenedor.



Con el uso de robots aéreos (drones) y terrestres (rovers) realizamos operaciones a distancia en tareas de inspección visual, vigilancia y monitoreo radiológico, además de la captura y manipulación de fuentes radiactivas.



Con la tecnología de receptores de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y microcontroladores se dotan a dichos robots con sistemas de geolocalización que relacionen la posición geográfica del lugar de inspección y la lectura del nivel de exposición a la radiación detectada.

Con la información proporcionada es posible generar un mapa de la trayectoria del monitoreo radiológico, con los datos del nivel de exposición asociados a las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo realizados por el robot terrestre o el dron aéreo.

Los vehículos no tripulados a control remoto o con plan de vuelo programado pueden realizar vigilancia radiológica aérea en escenarios a cielo abierto. Los helicópteros multirrotores nos dan la versatilidad del vuelo estacionario y a bajas velocidades, y diversas alturas, se puede realizar un mapeo radiológico y curvas de isodosis. La información recopilada se puede enviar a distancia y puede registrarse en memoria para su análisis.

También se han desarrollado prototipos de robots móviles a control remoto instrumentados con detectores de radiación (Geiger y Centelladores), para realizar tareas de inspección visual y monitoreo radiológico en aplicaciones de búsqueda de fuentes radiactivas y mapeo radiológico.

Además, se cuenta con el desarrollo de una mochila instrumentada con un detector Centellador de NaI, que registra en memoria los datos de niveles de radiación, junto con las coordenadas geográficas por GPS, y se transmite a distancia la imagen del escenario con los datos de radiación montada en ella.

Con el desarrollo de la tecnología enfocada a la protección radiológica podemos hacer más seguro nuestro entorno y al mismo tiempo aprovechar al máximo el conocimiento y herramientas que nos proporciona la ciencia nuclear.



Dron aéreo



Robot terrestre

RAÚL MARIO VÁZQUEZ CERVANTES

Estudió Ingeniería Industrial Electrónica en el Instituto Tecnológico de Veracruz (ITV) y la Maestría en Ciencias, con especialidad en Control Automático, en el Cinvestav del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Se siente orgulloso de contribuir al desarrollo tecnológico en el campo radiológico y nuclear, mediante proyectos de ingeniería. Algunas de sus películas favoritas son *Talentos Ocultos* y *Al filo del peligro*. Los científicos que más admira son Isaac Newton, Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei y Nikola Tesla. Su personaje fantástico predilecto es el mago Merlín. Su pasatiempo favorito es bailar danzón y aprender nuevos idiomas.

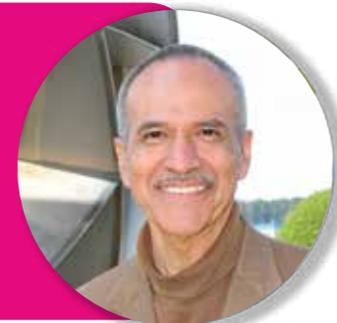


La percepción del décimo hombre

Protocolos de seguridad para minimizar el riesgo

EDUARDO SÁINZ MEJÍA

¿Sabías que siempre que nueve personas estén de acuerdo en la manera en que se debe prevenir o reaccionar ante un suceso, la décima persona debe estar en contra de la propuesta? A esta idea se le conoce como el décimo hombre y tiene el propósito de cubrir todos los escenarios posibles ante una eventualidad. En la tecnología nuclear también se siguen múltiples protocolos para asegurar el desempeño y las condiciones adecuadas que minimicen los posibles riesgos.



Desde el inicio de la industria nuclear se buscó minimizar el riesgo de liberación de materiales radiactivos a la biosfera (entorno de todos los seres vivos que habitamos el planeta). Por ello, en cada país y en coordinación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se aplica internacionalmente una filosofía de seguridad llamada “defensa en profundidad”, que consiste en dotar al reactor nuclear y a sus instalaciones auxiliares de barreras físicas capaces de mantener confinados o a raya los materiales radiactivos bajo todas las circunstancias posibles.

En los reactores nucleares de potencia, aquellos que se utilizan para generar electricidad a partir de la fisión nuclear, se hace uso de un edificio o recinto hermético que contiene al reactor y al sistema de enfriamiento o remoción de calor, que se le llama Contenedor Primario o Sistema de Contención, y representa la última de las barreras que debe mantenerse íntegra incluso en las peores condiciones.

Las otras barreras son el propio combustible nuclear, y las vasijas y tuberías del reactor y su sistema de enfriamiento.

Cabe destacar que los criterios de seguridad se aplican desde la fase de diseño de la instalación y durante su construcción, así como los años de su

operación (generación de energía eléctrica), hasta la etapa final o de desmantelamiento de la instalación.

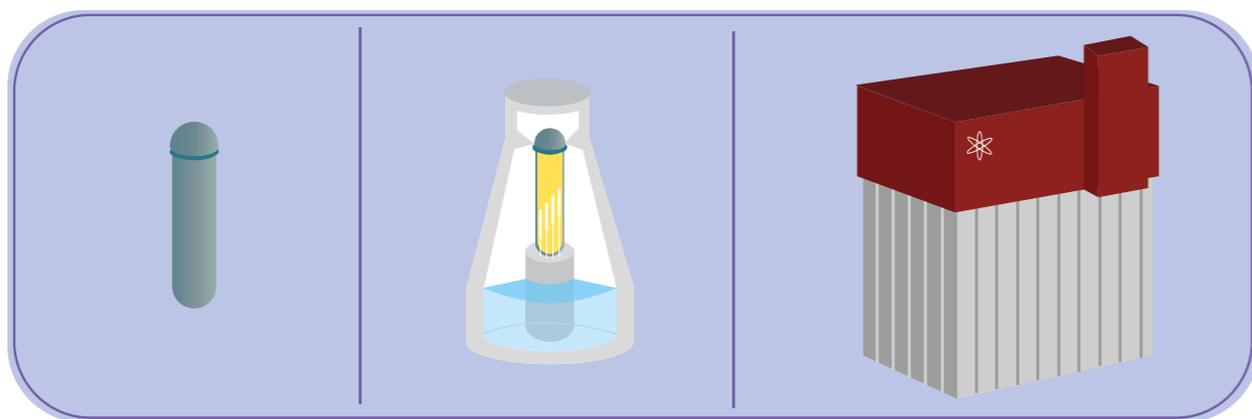
En cada país existe un organismo regulador responsable de vigilar la continua aplicación de los criterios y normas de seguridad. En México, la entidad responsable de ello es la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS).

Durante los aproximadamente 60 años de uso de reactores nucleares alrededor del mundo se han propiciado mejores criterios para diseñar, construir y operar las instalaciones nucleares, que se encuentran sujetos a revisiones y actualizaciones constantes, lo cual a su vez implica actualizaciones a las instalaciones.

Tanto los fabricantes de reactores como los organismos reguladores mantienen programas de investigación tecnológica, con el objetivo de verificar que los criterios de seguridad se mantengan adecuados o bien tengan necesidad de adoptar modificaciones. A estos estudios se les conoce genéricamente como “estudios de seguridad”.

Un ejemplo, en el caso específico del contenedor primario, los estudios de seguridad tienen por objetivo verificar que éste sea capaz de mantener su integridad y contener a los materiales radiactivos en su interior bajo cualquier condición. Aunque





Vasija del reactor

Contenedor primario

Contenedor secundario

desde un principio se adoptaron criterios muy estrictos en su diseño (como el soportar el impacto de un avión ligero), se busca que los estudios de seguridad no sólo garanticen la integridad del contenedor bajo condiciones incluso mucho más severas, como suponer la pérdida de todas las barreras (cuando el reactor se funde y el circuito de refrigeración se fractura o rompe), sino también cuantificar la efectividad de las medidas adoptadas para mitigar las consecuencias al medio ambiente.

Para poder evaluar las consecuencias de estos eventos en diversos escenarios se recurre en gran medida a la simulación, mediante el uso de programas de computadora digital que se han desarrollado a lo largo de años, tanto por la industria como por los organismos reguladores. Como comprenderás, otra forma de llevar a cabo estas simulaciones no es posible ni recomendable por los riesgos y costos que significan.

Las simulaciones tienen el reto, primero, de representar fenómenos físicos y químicos que ocurren mediante ecuaciones matemáticas y, luego, estas ecuaciones deben ser resueltas mediante métodos numéricos apropiados que puedan incorporarse en programas de computadora digital.

Para apoyar tanto a la industria como al organismo regulador, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) aplica los métodos de la mecánica de fluidos computacional para calcular

las consecuencias de los “accidentes severos” en el contenedor primario. En estos estudios se toma en cuenta el escenario en que el núcleo del reactor llega al extremo de fundirse y que el recipiente que lo contiene se rompe, es decir, se produce un hueco en el fondo y consecuentemente se descarga hacia el interior del recinto del contenedor primario una mezcla de vapor de alta temperatura junto con otros gases, como hidrógeno y partículas de aerosoles, es decir, pequeñas partículas sólidas que se produjeron a partir de los materiales del núcleo y que por tanto son radiactivos.

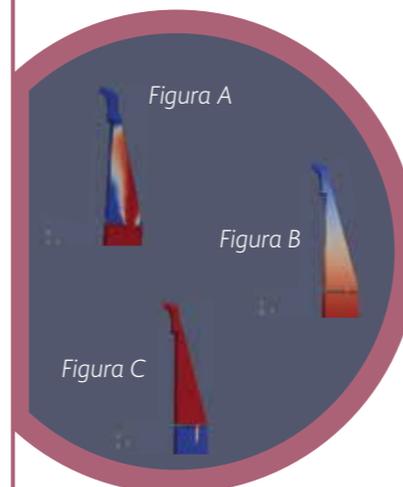
En dicho escenario, la simulación numérica permite calcular la presión y temperatura en la pared interior a lo largo del tiempo para verificar que las paredes sean capaces de soportar los esfuerzos mecánicos inducidos, lo que permite verificar que las paredes no se agrieten o rompan. Y, si lo hacen, determinar el momento en que esto ocurre, a efecto de planear medidas de mitigación, como el rociado de agua y liberación controlada de gases hacia el exterior.

Es a partir de la información obtenida con estas simulaciones por computadora que se investigan las opciones sobre las medidas de mitigación y, posteriormente, se busca identificar aquellas que ofrecen la mínima liberación de materiales radiactivos a la atmósfera bajo condiciones de accidente severo postulado. La ciencia y la tecnología son herramientas sumamente poderosas, por ello siempre deben definirse los protocolos más seguros para su uso.

Como primer paso se calcula la evolución de los gases calientes inyectados (figura A) al contenedor, para obtener las distribuciones de presión (figura B) y temperatura en el interior (figura C).

El siguiente paso es calcular las temperaturas en las paredes del contenedor, y los esfuerzos y deformaciones inducidos por presión y temperatura que sufren las paredes.

Y, finalmente, otros cálculos asociados se efectúan para obtener la dispersión de las partículas sólidas radiactivas en el interior del contenedor, y la dispersión de gotas de agua inyectadas por los sistemas de emergencia para lavar las partículas sólidas y enfriar a los gases calientes durante las maniobras de mitigación de un accidente severo postulado.



EDUARDO SÁINZ MEJÍA

Estudió la Licenciatura en Física y Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), con especialidad en Ingeniería Nuclear.

Está orgulloso de que sus compañeros de generación en el IPN sean notables científicos a nivel internacional, además de seguir siendo amigos. Su película favorita es *2001: una odisea del espacio*. Le gustan mucho las aves, particularmente los loros. Su científico favorito es el doctor Raúl Rojas González y uno de sus autores predilectos es Julio Verne. Le encantan los frutos rojos. Su utopía es que la humanidad encuentre en la ciencia el camino hacia el bienestar.



Conoce las instalaciones del centro nuclear de investigación de México.

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

5329 7200
Exts. 11260 y 11262

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

Visitas
guiadas



Ven a ser parte
del Centro Nuclear



Estancias
y servicio social



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

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

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

5329 7200
Exts. 15294 y 15295



ININmx



@inin_mx



gob.mx/inin



ININmx



ININmx



instituto nacional de
investigaciones nucleares