

Apps nucleares

Divulgación de la ciencia y tecnología nucleares para jóvenes

Año 5, enero-junio, 2019

No. 9

Big data

Análisis de todos los datos de toda la información

El mapa invisible

Espectro electromagnético

Revestir la seguridad nuclear

Los cementos en la industria nuclear

Al calor del conocimiento ancestral

Hipertermia para el tratamiento del cáncer



instituto nacional de
investigaciones nucleares



Coordinación de Promoción y
DIVULGACIÓN
Científica

CONTENIDO



EDITORIAL

1 COORDINACIÓN DE PROMOCIÓN Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

EDITORIAL

2 **Al calor del conocimiento ancestral**
Hipertermia para el tratamiento del cáncer
AGUSTÍN CABRAL PRIETO

5 **Detección precisa de cáncer**
Mastografía computarizada y tomosíntesis tridimensional
RAFAEL POPOCA FLORES

SALUD

8 **Prevenir para minimizar riesgos**
Estudios de riesgo ambiental
JUAN CARLOS TORRES DOMINGO

10 **Agüita que limpiar**
Remoción de radionúclidos del agua por zeolitas naturales y biosorbentes
MARÍA TERESA OLGUÍN GUTIÉRREZ

AMBIENTE

12 **Big data**
Análisis de todos los datos de toda la información
LYDIA CONCEPCIÓN PAREDES GUTIÉRREZ

HORIZONTE NUCLEAR

16 **Escurrendizos radiotrazadores**
Detección de fugas en la industria con técnicas nucleares
JOSÉ ÁNGEL BENÍTEZ SALINAS

19 **Revestir la seguridad nuclear**
Los cementos en la industria nuclear
VERÓNICA ELIZABETH BADILLO ALMARAZ

INDUSTRIA

22 **Identificar para resguardar**
Laboratorio de Desechos Radiactivos
FABIOLA MONROY GUZMÁN

25 **El mapa invisible**
Espectro electromagnético
CARLOS ENRIQUE DOMÍNGUEZ ANAYA

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

28 **¿Por dónde va la onda?**
Espectro electromagnético

INFOGRÁFICO

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 5, número 9, enero-junio, 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. 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 15 de diciembre de 2018, con un tiraje de 2 mil ejemplares.

Distribución gratuita.

Cualquier acción y predilección que tenemos en internet se registra: lo que buscamos o compramos, lo que nos gusta o disgusta, los perfiles de nuestras redes sociales, las imágenes, etcétera. Hoy día, en todo momento estamos generando datos y lo estamos haciendo cada vez más —como comprenderás— en cantidades asombrosas.

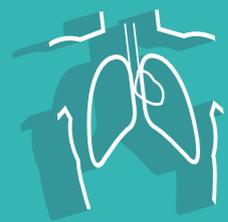
Internet ha convertido los datos en una fuente de valor. Para muchos expertos, los datos se han convertido en el petróleo del siglo XXI. Las empresas están tomando decisiones basándose en los datos y los utilizan para acercarse a sus clientes y anticiparse a sus necesidades. Facebook y Google fueron pioneros en el análisis de datos.

La acumulación masiva de datos se está dando en todos los ámbitos. No sólo en el sector de la iniciativa privada, también en el sector público y académico. Todo se almacena en grandes bancos de datos masivos. Y el **Big Data** es el que se encarga de recopilarlos y analizarlos.

Los científicos e investigadores han analizado datos desde hace mucho tiempo, pero lo que representa el gran reto ahora es la escala o el volumen en que estos datos se están generando. Esta explosión —por así decirlo— de grandes datos es justo la está requiriendo el uso del **Big Data** para resolver problemas complejos relacionados con el descubrimiento científico y la investigación nuclear, ambiental, y biomédica, o la educación, la salud y la seguridad, entre otros temas importantes.

Todo nuestro entorno, sin duda, se ha transformado con el uso de la tecnología digital y la llamada revolución de los datos masivos. Y estos grandes cambios han generado un sin número de paradigmas y retos en todos los ámbitos ¿no crees?





SALUD

AL CALOR DEL CONOCIMIENTO ANCESTRAL

Hipertermia para el tratamiento del cáncer

AGUSTÍN CABRAL PRIETO

El avance científico y tecnológico nos ha permitido desarrollar técnicas más adecuadas para el cuidado de la salud, sin embargo muchas de ellas se fundamentan en procedimientos de la antigüedad. Entérate cómo las técnicas caloríficas fueron evolucionando hasta convertirse en una alternativa para combatir el cáncer.

A través de la historia humana (probablemente antes de que se inventara la escritura) el calor fue y desde entonces ha sido considerado un elemento fundamental para el tratamiento de algunas enfermedades. Existen reportes de que los egipcios y griegos hacían uso de técnicas caloríficas para erradicar cánceres.

Hipócrates decía “aquellas enfermedades que las drogas no curan, el cuchillo las cura; aquellas que el cuchillo no cura, el calor las cura; y aquellas que el calor tampoco cura, entonces deben ser incurables”. Haciendo eco de estas últimas palabras hipocráticas, ¿será posible eliminar cualquier enfermedad con el avance de la ciencia y la tecnología?

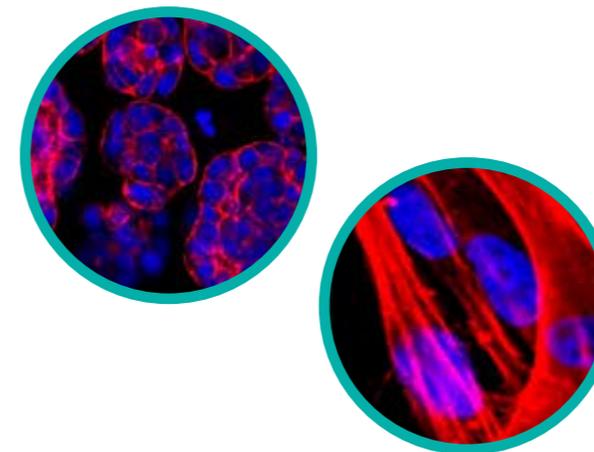
Actualmente, existe un término para describir los procedimientos médicos que hacen uso del calor: la hipertermia (HT). Este concepto define el incremento de la temperatura corporal por medios exógenos, es decir, que tienen su origen en el exterior. La hipertermia fue conceptualizada en el siglo XVIII, pues se asoció a la eliminación de tumores cancerosos con el incremento de temperatura inducido (mediante infección bacteriana).

El efecto de la hipertermia fue estudiado en el siglo XIX, inicialmente por William Coley, cirujano y oncólogo de origen estadounidense considerado el padre de la inmunología cancerígena. Los estudios de Coley reportaron hasta un 20% de casos exitosos. A mediados del siglo XIX se descubrió que los tumores cancerosos dejan de crecer al exponerlos a una temperatura de 42° centígrados sin afectar el tejido sano circundante. Actualmente, las terapias basadas en calor para eliminar cánceres se encuentran aprobadas por los diferentes organismos de salud de cada país. Desde el descubrimiento de la electricidad y la radiofrecuencia en el siglo XIX se han buscado más métodos para la erradicación de tumores malignos mediante el calor, con mínima invasión y mínimos efectos secundarios para el paciente.

Hoy en día, los dispositivos más avanzados para el tratamiento de tumores malignos utilizan microondas, ultrasonido focalizado, antenas de radiofrecuencia, calentamiento hómico con electrodos, láseres de luz del infrarrojo cercano y ablación criogénica. Todos estos métodos ya existen en clínica y tienen ciertas ventajas sobre los métodos tradicionales que utilizan

radiación ionizante en la radioterapia (RT) y los fármacos en la quimioterapia (QT). Los efectos secundarios de la radioterapia y la quimioterapia son mucho mayores a los producidos por los métodos caloríficos. Es por ello que la investigación continúa enfocándose en encontrar métodos para reducir los efectos secundarios en el paciente.

Actualmente, los tratamientos con base de calor se han integrado a las técnicas de RT o QT. Muchos estudios clínicos han demostrado que un tratamiento de hipertermia, previo a la radioterapia incrementa la irrigación sanguínea y la oxigenación en la zona tumoral, lo que aumenta la cantidad de radicales libres asociados al oxígeno en presencia de la radiación ionizante. Ambos efectos contribuyen de manera más efectiva a la eliminación de un tumor maligno.



En los casos de estudio donde se ha aplicado un tratamiento con hipertermia y radioterapia la supervivencia es siempre mayor al 75%, mucho más que al aplicar solamente radioterapia, que tiene un 25% de efectividad. El mismo efecto positivo ocurre tras la combinación de hipertermia con quimioterapia.

En 1957 con Gilchrist comenzó a desarrollarse la hipertermia magnética (HM). Múltiples investigadores comenzaron a experimentar con esta técnica utilizando nanopartículas (NPs) de óxidos de hierro y radiofrecuencia. Mediante la inyección de nanopartículas magnéticas en la zona tumoral y la exposición a un campo de radiofrecuencia es posible elevar la temperatura local sin afectar el



Los efectos secundarios de la radioterapia y la quimioterapia son mucho mayores a los producidos por los métodos caloríficos.

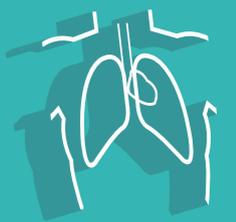
tejido sano. Este procedimiento comenzó a aplicarse hasta el inicio de la década de los 90.

El doctor Andreas Jordan, biólogo especializado en nanomateriales, demostró la superioridad del calentamiento de coloides de nanopartículas superparamagnéticas en comparación con las suspensiones de partículas ferrimagnéticas, pudo concluir que con tan solo 5mg de nanopartículas de ferrita por gramo de tumor es suficiente para generar el mismo calor que producen los aplicadores locales de radiofrecuencia (RF) y superior al calentamiento regional de RF. El impacto de la investigación de Jordan fue trascendente en la comunidad científica y médica. Desde entonces la hipertermia magnética de fluidos (HMFs) ocupa un lugar fundamental entre los métodos para tratar el cáncer, ya que se reduce considerablemente la invasión al cuerpo y prácticamente no tiene efectos secundarios.

El doctor Rober Ivkov, especialista en radiación molecular, destacó en una de sus conferencias que la hipertermia magnética de fluidos es una técnica que se ubica entre la biología y la medicina. Esto se debe a que su metodología se encuentra en el mundo de los nanobiomateriales y la biología: la ciencia del siglo XXI.

DETECCIÓN PRECISA DE CÁNCER

Mastografía computarizada y tomosíntesis tridimensional



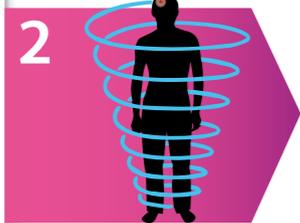
SALUD

Proceso de aplicación de hipertermia magnética de fluidos



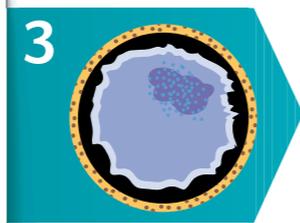
1 Inyección de nanopartículas dentro del tumor

Se le inyecta nanopartículas magnéticas con base de hierro (se acostumbra utilizar nanopartículas lo más biocompatibles posibles).



2 Aplicar externamente (sin tocar al paciente) un campo magnético externo

Ya introducidas las nanopartículas, el paciente se somete a un tratamiento de un campo magnético externo de tipo oscilatorio (de 10 a 35 mT), que trabaja a una determinada frecuencia (entre 100 y 1000 kilohertz), pues a mayores frecuencias se produce calor de origen bioeléctrico.



3 El campo magnético interactúa con las partículas mediante relajación Browniana y/o Neeliana y generándose así el calor

Una vez aplicado el campo magnético alterno, las nanopartículas calientan la zona tumoral. Para no dañar algún otro tejido sano, el experimento se lleva a cabo a una temperatura entre 42 y 43 grados centígrados.



4 Las células cancerígenas se autodestruyen en un periodo de 30 días

Bajo este intervalo de temperaturas y en un lapso de 30 minutos (bajo una secuencia de tratamientos) es posible programar a las células cancerosas para que se autodestruyan, (aniquilación celular de forma auto programada) de esta manera se erradica un tumor vía temperatura.

La interacción de las nanopartículas en el ámbito extra e intracelular se encuentra en pleno estudio, por ello la hipertermia magnética de fluidos aún no se considera una metodología independiente para tratar un cáncer, entre otros aspectos técnicos de la HM.

En el Departamento de Química del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) se ha iniciado una línea de investigación en el área de hipertermia magnética de fluidos, a través del

proyecto CB-803 y con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Es un trabajo interdisciplinario en el que colaboran los laboratorios de Plasmas, Química y Biología.

Mediante el estudio de la hipertermia magnética de fluidos se han encontrado grandes posibilidades para el tratamiento contra el cáncer. Gracias a estas investigaciones la humanidad tiene una esperanza más clara para su bienestar y salud.

RAFAEL POPOCA FLORES

¿Sabías que el cáncer de mama se encuentra en la quinta posición con respecto de las enfermedades que más decesos ocasionan? Este padecimiento es más común en las mujeres y constituye cerca del 16% de los tumores malignos diagnosticados, y sus tendencias anuales de mortalidad se han reportado a la alza en México.



El cáncer es una enfermedad que ha afectado a la humanidad desde la antigüedad. En 1600 a.C. en el antiguo Egipto se encontró la descripción más antigua del cáncer de mama, el papiro *Edwin Smith* narra ocho casos de tumores que fueron tratados con cauterización. En el mismo papiro, por desgracia, se plasmó la frase “no existe tratamiento”.

Tiempo después, en el siglo XVII hubo un gran avance científico, ya que se determinó la relación entre el cáncer de mama y los nódulos linfáticos axilares. Jean Luis Petit y posteriormente Benjamín Bell fueron los primeros cirujanos en remover nódulos linfáticos, tejido mamario y músculos pectorales, como una medida para enfrentar la enfermedad.

Actualmente, la mastografía es la técnica de elección a nivel mundial (procedimiento conocido como tamizaje) para el monitoreo de mujeres asintomáticas (sin signos ni síntomas de cáncer) y la detección temprana del cáncer para el diagnóstico de pacientes que ya presentan síntomas. Esta técnica utiliza rayos X de baja energía y por norma debe realizarse a mujeres entre 40 a 69 años (a las pacientes fuera de este rango de edad se les realiza si el médico determina una sospecha que amerite su aplicación).

La **mastografía** es realizada con un equipo especial de rayos X conocido como mastógrafo, el cual consta básicamente de una consola, un generador de alta frecuencia, un tubo de rayos X y el soporte para mama (con sistemas de compresión y de detección de los rayos X).

Mediante la **mastografía** se aprecia el interior de la glándula mamaria para la detección temprana y diagnóstico de problemas de salud, principalmente cáncer.

Para la realización de la mastografía se posiciona la mama en la plataforma de soporte y se aplica compresión de manera gradual con el fin de minimizar problemas con la imagen. La mama permanece comprimida mientras el personal técnico realiza la adquisición de la imagen desde la consola de control del equipo. Durante este tiempo es necesario que la paciente conserve la postura del posicionamiento y evite el movimiento.

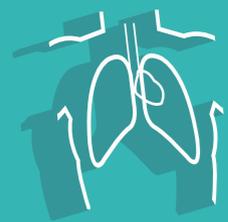


AGUSTÍN CABRAL PRIETO

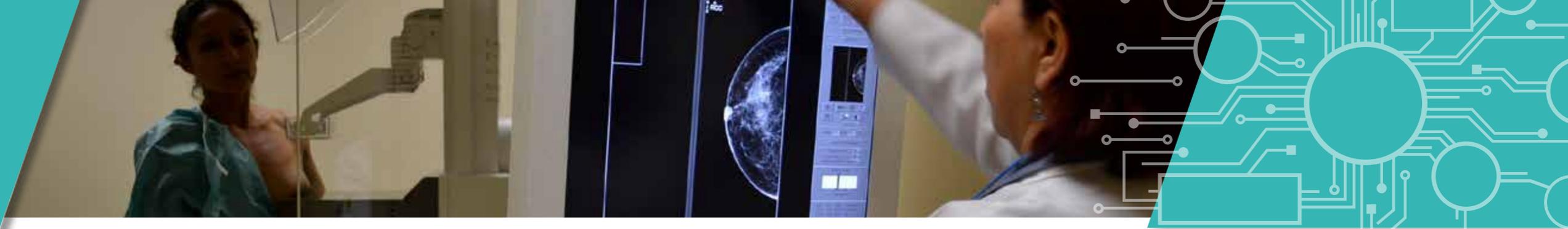
Estudió Ingeniería Química en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), un Posgrado en Química en la Universidad de Cambridge y el Doctorado en Física en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Xochimilco. Se siente orgulloso de influir en la preparación de otras personas.

Si fuera un luchador social trataría de resolver las enormes diferencias sociales que actualmente existen en México y el mundo. La llamada es su planta predilecta. Disfrutó mucho cuando cursaba la secundaria y la preparatoria, pues durante ese periodo comienza a darte cuenta que eres un ser social y que formas parte del entorno en el que vives. Las canicas fue su juego favorito cuando era niño. Ahora disfruta mucho del ajedrez. Admiró siempre a sus padres y tíos. Actualmente, colabora en el Departamento de Química.





SALUD



El número de proyecciones para cada mama depende de las necesidades del paciente. Suelen tomarse al menos dos proyecciones estándar por cada mama: craneocaudal y medio lateral oblicua. Posteriormente, las mastografías son interpretadas en negatoscopios o monitores dedicados para mastografía, que son equipos diseñados para contar con características de visualización con un alto grado de sensibilidad.

Las estructuras asociadas a problemas de salud en la mama (masas tumorales y microcalcificaciones) poseen una densidad semejante a la del tejido glandular que las rodea y su tamaño es muy pequeño. De ahí la importancia de que el sistema mastográfico sea capaz de detectar diferencias estructurales mínimas. Por ello, se requieren imágenes con alto contraste, adecuada resolución espacial y bajo nivel de ruido (fluctuación aleatoria en la densidad o brillo de una imagen). Cuando un sistema cumple con estos requisitos se considera que posee una adecuada calidad de imagen.

La glándula mamaria es una estructura del cuerpo que carece de tejido óseo y está compuesta de tejidos glandular, ductal y adiposo. Los dos primeros corresponden a la parte radiosensible de la mama, es decir, la parte de la mama cuya exposición a la radiación puede originar algún efecto adverso, mientras que el tejido adiposo no presenta este riesgo. Se estableció un consenso para representar la dosis de radiación como “**dosis glandular promedio**” y posteriormente se construyó un modelo físico para realizar estimaciones de dosis a pacientes a partir de mediciones realizadas en maniqués.

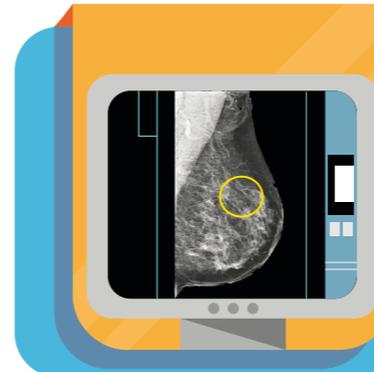
Dosis promedio que recibe el tejido glandular durante la adquisición de la imagen, este parámetro no puede ser medido de manera directa, ya que la dosis varía con la profundidad a la que se realiza la medición.

Una exposición mastográfica no debe implicar, para la paciente, una dosis glandular promedio superior a 3 miligray (mGy). En términos de dosis efectiva se estima que una exposición mastográfica implica una dosis de 0.4 milisievert (mSv) para la paciente. Se considera que esta dosis representa un riesgo muy bajo en comparación con el alto beneficio que significa detectar cáncer en su etapa temprana y que incrementa considerablemente la expectativa de sobrevivencia.

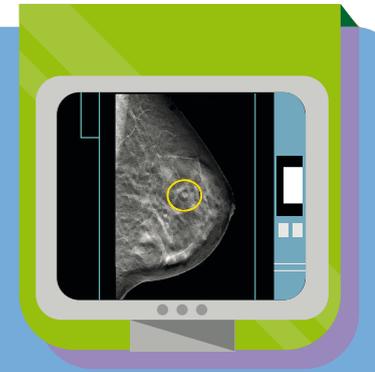
Otra técnica funcional es la tomosíntesis o mamografía tridimensional. Esta técnica es una forma avanzada de mastografía que se basa en la adquisición de imágenes bidimensionales de la mama en múltiples ángulos, mediante el barrido del tubo de rayos X en un arco prefijado, permitiendo la reconstrucción computacional tridimensional de la mama en cortes de 1mm de grosor paralelos al detector. Mediante esta técnica es factible reducir la posibilidad de perder información por la superposición de estructuras.

Debido a que cada proyección es de baja dosis, el estudio no implica un aumento considerable en la dosis de radiación recibida por la paciente. De hecho, se establece actualmente un criterio de dosis glandular promedio semejante al de la mastografía, es decir, máximo 3mGy por exposición.

Diferencia entre: una MASTOGRAFÍA y una TOMOSÍNTESIS O MAMOGRAFÍA TRIDIMENSIONAL



En la primera imagen se muestra el funcionamiento de una mastografía ante dos estructuras superpuestas.



En la segunda imagen se muestra el mismo funcionamiento abordado mediante tomosíntesis, y como puede verse se reduce la posibilidad de perder información estructural importante.

El Laboratorio de Control de Calidad y Protección Radiológica en Imagenología (**Laccprim**) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) brinda asesoría especializada en varios hospitales del país, entre los que se encuentran los más importantes del sector Salud, y para ello cuenta con un permiso emitido por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris).

El **Laccprim** tiene entre sus funciones capacitar en materia de protección radiológica al personal técnico y médico responsable de la realización e interpretación de las mastografías, así como llevar a cabo las pruebas de control de calidad de los mastógrafos, con el objeto de verificar que el diseño, instalación y funcionamiento de los equipos de mastografía cumplan con los criterios de aceptación para garantizar que dichos sistemas funcionen correctamente. Gracias a la cultura de la prevención y a la tecnología de rayos X es posible detectar con precisión el cáncer de mama.



RAFAEL POPOCA FLORES

Estudió la Licenciatura en Química y la Maestría en Física Médica en la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). También realizó la Maestría en Ingeniería Administrativa en el Instituto de Estudios Universitarios.

Una de las causas sociales que siempre lo han motivado es que las personas con capacidades diferentes sean incluidas en la sociedad y mejorar la calidad de trabajo para adultos mayores. En general, que todas las personas cuenten con las mismas condiciones laborales dignas. Considera que es muy importante enfocarse en el presente para disfrutarlo plenamente. Su deporte favorito es el basquetbol. Actualmente, colabora en el Laboratorio de Control de Calidad y Protección Radiológica en Imagenología (Laccprim) del Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes.

La mastografía es realizada con un equipo especial de rayos X conocido como mastógrafo, el cual consta básicamente de una consola, un generador de alta frecuencia, un tubo de rayos X y el soporte para mama.



PREVENIR PARA MINIMIZAR RIESGOS

Estudios de riesgo ambiental



JUAN CARLOS TORRES DOMINGO

El desarrollo tecnológico trae consigo múltiples beneficios, pero también puede implicar algunos riesgos, en especial como consecuencia del manejo y gestión de sustancias que tienen efectos adversos en la naturaleza y en la salud. De ahí la importancia de los estudios de riesgo ambiental.

El manejo de sustancias químicas puede resultar delicado, ya que algunos elementos son de tipo tóxico, explosivo e inflamable. Por ello, es muy importante tener siempre una gestión responsable y segura de los materiales utilizados para evitar cualquier situación de riesgo.

En San Juan Ixhuatepec, Estado de México, por ejemplo, en 1984, hubo una explosión en un depósito de gas licuado de petróleo, que ocasionó daños al ambiente y pérdidas fatales. En 1992 ocurrió otra explosión al estallar una sección de la red de drenaje y alcantarillado por la presencia de gasolina y residuos químicos industriales en la ciudad de Guadalajara, Jalisco.

Un factor a considerar en nuestros planes de contingencia o medidas de precaución ante un escenario de riesgo es que México se encuentra ubicado en una región en la que se presentan diversos y a veces contundentes fenómenos naturales, como sismos, inundaciones, erupciones volcánicas, entre otros. También existen aspectos antropogénicos a considerar, es decir, acciones humanas en la industria que pueden conducir a pérdidas y daños serios.

En 1983, ante la necesidad de evaluar las situaciones de riesgo causadas por los fenómenos naturales o antropogénicos se dieron los primeros intentos de realizar estudios de riesgo y entró en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente en la que se introdujeron los estudios de riesgo como parte fundamental de la evaluación del impacto ambiental de los proyectos industriales.

Un estudio de riesgo ambiental (ERA) es una herramienta preventiva que permite evitar, minimizar

o controlar los efectos adversos en el equilibrio ecológico en caso de un posible accidente o contingencia durante la operación de una obra o actividad industrial. Por tanto, un ERA correcto representa una garantía de mayor seguridad y protección para la empresa, la comunidad y el ambiente.

Para realizar un ERA es necesario analizar los peligros y riesgos internos, es decir, aquellos que tienen su origen en la propia industria, así como estudiar los posibles acontecimientos externos, tanto los de origen natural (terremotos, inundaciones, entre otros) como los riesgos artificiales (explosiones, incendios o nubes procedentes de plantas vecinas, accidentes de carretera) capaces de originar posibles eventos no deseados (accidentes).

La evaluación de los riesgos potenciales en una determinada instalación se lleva a cabo mediante la aplicación de metodologías y técnicas específicas, que consisten básicamente en la determinación de los siguientes aspectos: accidentes que pueden ocurrir, frecuencia de los mismos y la magnitud de sus consecuencias.

Para elaborar un ERA se debe contar con un grupo interdisciplinario que incluya los sectores de operación de maquinaria, mantenimiento (áreas mecánica, eléctrica, instrumentación, civil y las que apliquen de acuerdo al caso), ingeniería de diseño de proceso, seguridad industrial, protección ambiental y salud en el trabajo. Existen diversas metodologías para la identificación de riesgos, entre ellas, las de análisis de peligros y operabilidad, análisis de modos de falla y efectos, análisis de árbol de fallas, listas de verificación, qué pasa si...

Pasos para la elaboración de un estudio de riesgo ambiental (ERA):



En el Departamento de Estudios del Ambiente, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se han realizado este tipo de estudios en instalaciones del sector industrial petrolero y del sector eléctrico, especialmente en los escenarios que implican cambios en los procesos, de equipos o en los materiales en áreas críticas y modificaciones en los procedimientos.



JUAN CARLOS TORRES DOMINGO

Estudió Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Toluca y la Maestría con especialidad en Seguridad e Higiene Industrial. También cuenta con la acreditación "Auditor Especialista en Riesgo Ambiental y Atención de Emergencias" por parte de la Entidad Mexicana de Acreditación aprobado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa).

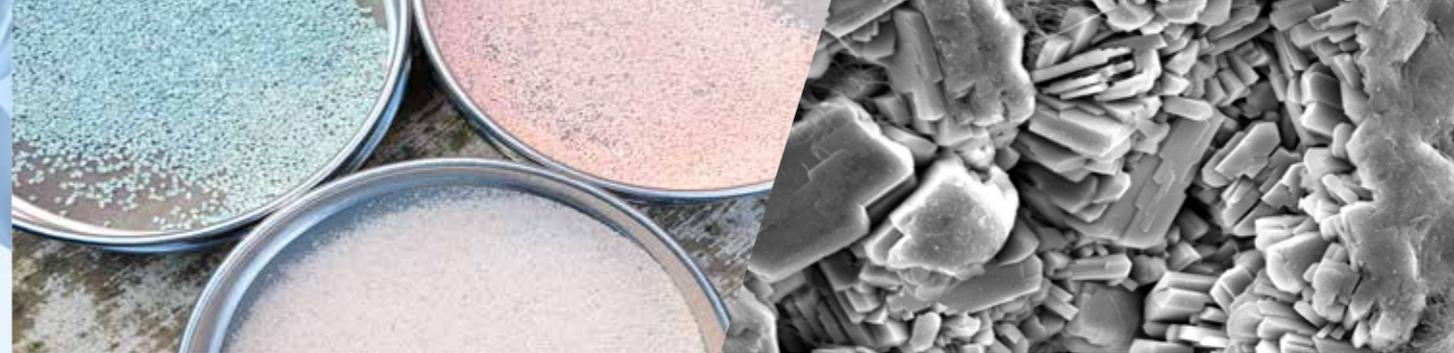
Disfrutó mucho de su adolescencia, ya que la considera una etapa esencial para el desarrollo del ser humano, además a esa edad comenzó a independizarse en búsqueda de nuevos horizontes. Algunas de sus obras favoritas son *Veinte mil leguas de viaje submarino* de Julio Verne y *El Lobo estepario* de Herman Hesse. Admira a Martin Luther King Jr. por su lucha pacífica contra la segregación y discriminación racial, y a Mahatma Gandhi porque lideró la resistencia no violenta en la India contra las leyes británicas. Actualmente, colabora en el Departamento de Estudios del Ambiente.



AGÜITA QUE LIMPIAR

Remoción de radionúclidos del agua por zeolitas naturales y biosorbentes

100



Zeolitas

Vista microscópica de zeolitas

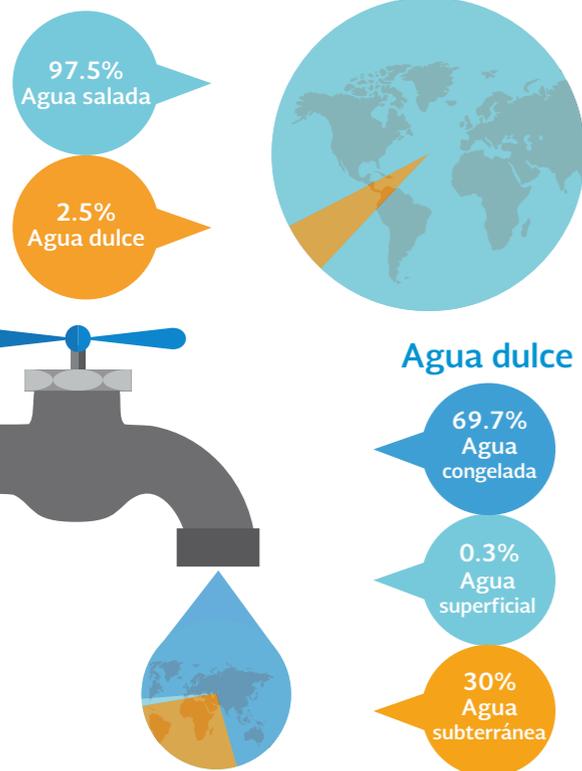


MARÍA TERESA OLGÚIN GUTIÉRREZ

El agua es uno de los recursos naturales más importantes, pero la cantidad de agua dulce en el planeta es limitada. Además, las actividades humanas han afectado su calidad, pero hay investigaciones para proponer alternativas y limpiarlas, con ayuda de técnicas nucleares.

Todos los días hacemos uso del agua. Este vital recurso es utilizado por los más de 7 mil millones de habitantes que hay en el planeta, según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Sólo imagina que todas las personas del mundo diariamente se bañan, limpian sus alimentos y la ocupan para consumo propio a pesar de que del **100% de agua sólo el 2.5% es dulce**, de acuerdo con información de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Agua en el planeta



Agua dulce

En el proyecto de investigación **CB-802** del Departamento de Química, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se trabaja con materiales innovadores, naturales y sintéticos, que son utilizados mediante procesos de **sorción** para remover de medios acuosos los contaminantes radiactivos, no radiactivos e incluso no biodegradables. Las investigaciones también se han enfocado en la eliminación de microorganismos patógenos del agua, a través de sistemas de desinfección con base en materiales zeolíticos (minerales microporosos) como agentes microbicidas.

Sorción: Proceso mediante el cual un material es sorbido por otro. También se conoce como la retención de una sustancia por otra cuando entran en contacto (incluye operaciones de absorción, adsorción e intercambio iónico).

En las aplicaciones de la tecnología nuclear algunos de los radionúclidos más usados son el uranio y el torio, pues inician como una fuente fundamental en el ciclo del combustible nuclear y terminan como componentes de desecho, por lo que es importante removerlos de medios acuosos. También se trabaja en la separación de metales pesados (metaloides, los halogenuros, fenoles y derivados), colorantes, fármacos y plaguicidas del agua, pues pueden representar un problema para la salud.

Los materiales radiactivos que dejan de ser útiles generalmente son acumulados y esto produce una cantidad considerable de desechos que es preciso mantener aislados del ambiente. Entre las actividades de descontaminación más compleja se encuentra el tratamiento de los desechos ra-

diactivos líquidos, debido a sus volúmenes y a su composición química y radioquímica. Algunos de los métodos para el tratamiento de desechos a nivel industrial son la evaporación, precipitación e intercambio iónico.

Una de las técnicas que más ha llamado la atención recientemente es la aplicación de aluminosilicatos naturales (mineral que contiene óxido de aluminio y sílice), como las zeolitas, pues son muy eficaces en los procesos de descontaminación de los desechos líquidos de uranio y otros de niveles de radiactividad baja. Estos materiales poseen una elevada capacidad de intercambio iónico, son selectivos, resistentes a las radiaciones y además son abundantes y de bajo costo. La estructura porosa de las zeolitas y su extraordinaria habilidad de intercambiar iones permite la sorción de ciertos elementos contaminantes del suelo, agua y aire. La zeolita natural tipo clinoptilolita, bajo condiciones óptimas, sorbe un alto porcentaje de la concentración inicial de uranio en una solución acuosa. La sorción de uranio por la clinoptilolita depende de diversos parámetros, tales como el pH, el tiempo de contacto y la temperatura.

Existe un mineral que también ha llamado la atención por su contenido de manganeso y es la birnessita, que forma complejos con el ion uranilo y también este ion radiactivo en soluciones

acuosas es capaz de generar interacciones con materiales zeolíticos, como la chabacita.

Respecto al torio, desde el siglo pasado se ha utilizado ampliamente en una variedad de aplicaciones que producen desechos gaseosos, sólidos y líquidos. Los desechos se encuentran libres en la superficie o en agua profunda de las minas. Como una forma de contrarrestar la problemática se han realizado investigaciones para remover al torio del agua. La zeolita natural mordenita es eficiente para removerlo del agua, en su forma catiónica.

Por su parte, el compuesto híbrido de quitosán y clinoptilolita se ha usado para sorber a los iones uranilo y torio de soluciones acuosas. Otras técnicas son el uso de biosorbentes con base en el hongo *Fusarium sp. ZZF51* (posteriormente modificado con ácido cítrico), ya que tienen una alta eficiencia de remoción de torio, a diferencia del no modificado. También se han aplicado desechos agrícolas o de algas marinas, para remover al uranio y al torio de medios acuosos.

La investigación enfocada en la sorción del uranio y del torio empleando materiales como las zeolitas naturales y los biosorbentes de diversas naturalezas es fundamental para el cuidado del agua. La investigación nuclear nos ha permitido abrir un abanico de posibilidades para el tratamiento de aguas o medios acuosos contaminados y así cuidar la vida en la Tierra.



MARÍA TERESA OLGÚIN GUTIÉRREZ

Estudió el doctorado en Ciencias especializada en Química en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Está orgullosa de tener la posibilidad de enseñar a leer. Una de las causas sociales que más la inspira es incrementar las fuentes de trabajo y la igualdad de oportunidades.

Sus flores predilectas son las rosas. Ha disfrutado plenamente de todas las etapas de su vida. Uno de sus juegos favoritos de niña era andar en bicicleta. Admira a todas las personas con ética profesional.



BIG DATA

o Análisis de todos los datos de toda la información

LYDIA CONCEPCIÓN PAREDES GUTIÉRREZ

Alguna vez has pensado que tu historial de información consultada no desaparece de los buscadores de internet, como tampoco los lugares que visitas mientras utilizas un GPS, como el que está integrado en los teléfonos celulares. O quizá que “la nube” cuenta con millones de datos, como fotografías, documentos o archivos de usuarios de todo el mundo. Suena impresionante el volumen de datos e información que se obtiene de los diferentes dispositivos digitales e inteligentes que utilizamos todos los días ¿no crees?

¿Sabías que Alan Turing es reconocido como el padre de la computación? Desde sus inicios, Turing deseaba crear una máquina capaz de realizar múltiples tareas y modificarlas de forma autónoma. En ese momento esa idea era prácticamente un sueño, ya que la tecnología que existía no podía realizar tareas complejas.

Durante la segunda guerra mundial Turing, en conjunto con un equipo de inteligencia en Bletchley Park (instalación militar enfocada al análisis de códigos), fue encomendado a descifrar “Enigma”: una de las máquinas de cifrado del ejército alemán. Gracias al trabajo de ese equipo fue posible descifrar el llamado código “Enigma” (mensaje escrito con caracteres que sólo se entienden con una clave) y algunos especialistas consideran que como consecuencia directa se redujo la duración de la Segunda Guerra Mundial

y además, sin que Turing lo supiera, tuvo inicio lo que ahora conocemos como **Big Data**.

El término Big Data se ha popularizado rápidamente en los años recientes. Este concepto hace referencia a la capacidad de procesamiento de una cantidad alta de datos masivos, al grado de que no son capaces de ser procesados ni analizados por la tecnología convencional. Mediante el Big Data es posible hacer uso de grandes volúmenes de datos para analizar tendencias, comportamientos e incluso predecir situaciones.

La cantidad de información que se maneja actualmente es impresionante. En 1966, gracias a todos los datos con los que contaban las organizaciones internacionales fue posible diseñar y desarrollar sistemas de computación avanzados, capaces de automatizar los sistemas de inventario.

Gracias al desarrollo de la *World Wide Web* (WWW) y el internet comenzaron a extenderse los fundamentos de la generación masiva de datos, por lo que fue posible desarrollar sistemas de gestión y almacenamiento de información mucho más complejos.

La WWW fue desarrollada por Tim Berners-Lee como un sistema que distribuye documentos de hipertexto de forma accesible mediante el internet. Fue en 1997 cuando se utilizó por primera vez el concepto Big Data, ya que los investigadores de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) comentaron que existía un grave problema en el aumento exponencial de información, incapaz de

ser procesada en los sistemas informáticos modernos. Eso fue conocido como el problema del Big Data.

En 2009 y 2011, respectivamente, empresas como *Cloudera* y *Hortonworks* fueron fundadas con el propósito de gestionar datos, reunirlos y centralizarlos en lugares donde resaltara la seguridad y pudieran ser completamente administrados. Estos servicios fueron pioneros en la administración de información masiva.

La importancia que tiene el Big Data actualmente se debe a la amplia oportunidad para distintas empresas de analizar millones de datos provenientes de repositorios digitales, redes sociales, emails, encuestas, logs (base de datos de todos los acontecimientos que afectan a un proceso particular), señales de celulares, entre otros. Además, toda la información recopilada puede ser analizada para sacar conclusiones al respecto.

Es importante resaltar que el acceso al Big Data se ha vuelto un proceso más sencillo y por lo tanto más popular. Esto se debe en gran parte a que los costos para almacenar información son más baratos, lo que permite almacenar y gestionar mayores volúmenes de información.

Medidas de información

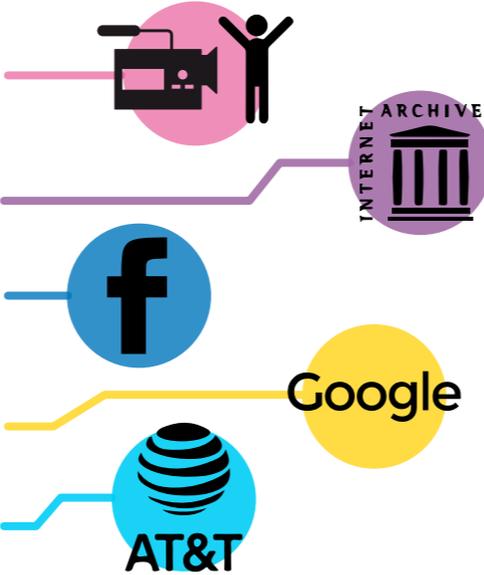
Nombre	Prefijo	Descripción	Equivalencias
Bit	Ninguno	Unidad mínima de información	Cero a uno
Byte	B	Colección de 8 bits	Un carácter
KiloByte	KB	Colección de 1,024 bytes	Un párrafo
MegaByte	MB	Colección de 1,024 KB	Libro de cien páginas de solo texto
GigaByte	GB	Colección de 1,024 MB	100 libros, un estante, biblioteca personal, 100 fotografías de alta definición, 25 minutos de video
TeraByte	TB	Colección de 1,024 GB	100 mil libros o 300 horas de video HD
PetaByte	PB	Colección de 1,024 TB	100 millones de libros
ExaByte	EB	Colección de 1,024 PB	100 mil millones de libros. Todos los libros en todas las bibliotecas públicas del mundo
ZettaByte	ZB	Colección de 1,024 EB	Toda la información en medio físico generada por la humanidad desde los sumerios
YottaByte	YB	Colección de 1,024 ZB	Toda la capacidad de almacenamiento de todos los móviles del mundo (10 mil millones)
BrontoByte	BB	Colección de 1,024 YB	Toda la información generada por la humanidad en los siguientes 100 años
GeopByte	GPB	Colección de 1,024 BB	Toda la información de la posición de todos los átomos del universo



Enigma

Para que tengas una idea más clara de la capacidad de información que se maneja actualmente, echa un vistazo a la siguiente comparación:

- **Filmar la vida de una persona** (hasta de 100 años) en alta definición ocuparía 1 petabyte (equivalente a 1'000,000,000 megabites).
- **Internet Archive** cuenta con 5,120 terabytes (5 petabytes) de datos equivalente a 300 mil horas de video.
- **Facebook** cuenta con 20 petabytes equivalentes a 600 mil millones de imágenes (y crece 700 millones de imágenes por semana).
- **Google** procesa cerca de 30 petabytes, es decir, unos 300 millones de libros.
- **AT&T** transfiere cerca de 180 petabytes de información al día.



Un ejemplo de la aplicación del Big Data en su máxima expresión es la computadora *Watson* de la empresa IBM (International Business Machines Corporation). Y su antecesor fue la computadora *Deep Blue*, un equipo desarrollado por IBM en la década de los noventa para jugar ajedrez y que fue capaz de vencer al entonces campeón del mundo Garri Kasparov. El desarrollo informático fue vertiginoso y en 2010 se introdujo *Watson*, que actualmente es uno de los sistemas de inteligencia artificial más complejos.

La creación de *Watson* también contribuye a la investigación en el campo de la inteligencia artificial. **Algunas de las tareas que realiza son:**

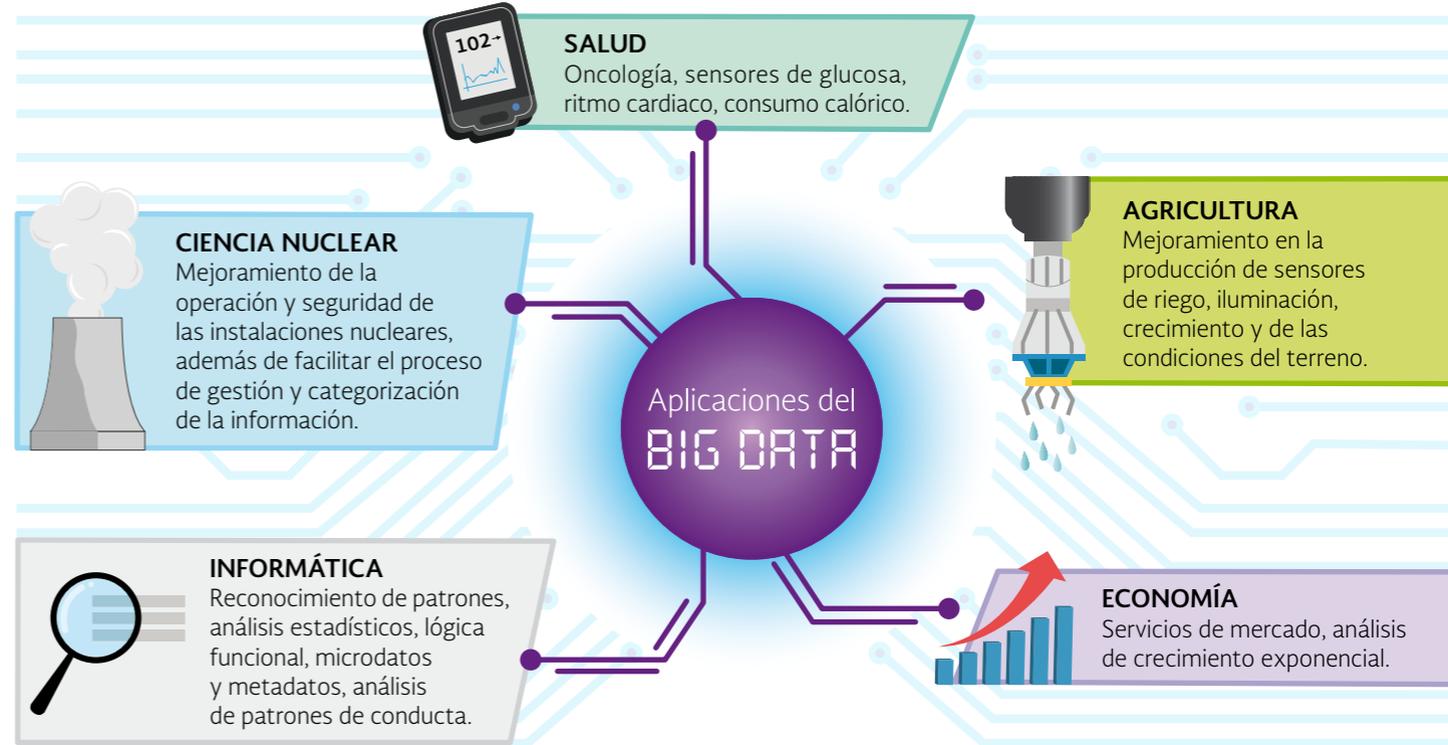
- Recaba miles de millones de datos y los compara con bases de información, a través de cómputo distribuido ("la nube").
- Integra tecnologías como el aprendizaje automático (identificación de algoritmos y patrones para predecir comportamientos futuros), almacenamiento en "la nube" (almacenamiento de miles de millones de datos) e inteligencia artificial.

Este conjunto de ramas de la informática combinadas con un equipo tan potente dan como resultado que *Watson* pueda ser aplicado en el cuidado de la salud (en oncología principalmente), investigación de mercados, ciencias de la tierra, análisis predictivo y redes neuronales. Además fue la primera computadora en ganar el programa televisivo de trivia *Jeopardy*.

Como imaginarás las aplicaciones del Big Data son múltiples, lo que convierte a esta disciplina en un área con grandes posibilidades.



Watson



El Big Data también puede aplicarse en actividades cotidianas, como el análisis del tránsito o el desarrollo de programas educativos de acuerdo con un avance personalizado, la interconexión de todos los equipos inteligentes, entre muchas otras.

Se espera que para 2020 la generación de datos aumente casi un 5%, el crecimiento se determinará por el cambio en la tecnología y la cantidad de información que se genere. El Big Data será una gran herramienta para propiciar el desarrollo de múltiples áreas del conocimiento e impulsar significativamente el progreso científico y tecnológico.



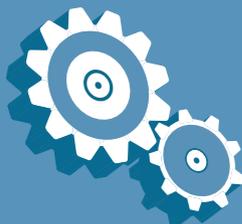
LYDIA CONCEPCIÓN
PAREDES GUTIÉRREZ

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

Es directora general del ININ y presidenta del Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y El Caribe (ARCAL). También es presidenta de la Sección Latinoamericana de la American Nuclear Society.

Una acción que la hizo sentir orgullosa fue apoyar a dar rehabilitación física a niños con alguna discapacidad física o mental, que habían sido abandonados en un albergue. Si ella fuera luchadora social, buscaría educación de mayor calidad, que sea incluyente y con acceso a herramientas pedagógicas y tecnológicas de vanguardia. Las rosas color lila son sus flores predilectas.

Admira a Ada Lovelace por ser la primera programadora, ya que fue pionera en describir un lenguaje de programación, a través del estudio de la máquina analítica de Charles Babbage. Sus notas son relevantes porque fueron el precedente de la descripción del que es considerado el primer software.



INDUSTRIA

ESCURRIDIZOS RADIOTRAZADORES

Detección de fugas en la industria con técnicas nucleares

JOSÉ ÁNGEL BENÍTEZ SALINAS

Una de las aplicaciones nucleares más y mejor aprovechadas por la industria es aquella que utiliza los radiotrazadores para la detección de fugas en tuberías o ductos subterráneos. Entérate cómo estos escurridizos radionúclidos hacen que cualquier fuga sea imposible.

Una de las técnicas nucleares más utilizadas a nivel internacional que funciona mediante radio-núclidos es el **radiotrazado**, y es una de las aplicaciones más eficaces en la localización de fugas subterráneas, tanto en sistemas abiertos como en sistemas cerrados.

La detección de fugas es aplicada en la industria de diversas formas, ya que es posible detectar anomalías en todo tipo de tuberías enterradas, como drenajes o sistemas contra incendio. La técnica también es aplicada en ductos para transporte de hidrocarburos líquidos y gaseosos, los cuales se caracterizan por su dificultad para detectar la ubicación exacta de la fuga (debido a la profundidad de la tubería y a la porosidad del terreno).

Radiotrazado: Técnica de medición útil en múltiples industrias orientadas a la medición de caudales de agua, medición de flujos de gas y líquidos, determinación de tiempos de mezclado en un proceso dado, así como de volúmenes en sistemas con formas irregulares.

Un trazador radiactivo o radiotrazador es un material que emite radiación ionizante, el cual se aplica a un sistema particular para determinar una condición, ya sea de fuga, medición del caudal, determinación de un volumen o masa, tiempos de residencia, determinación óptima de mezclado, entre otras.

Para la aplicación de radiotrazadores es fundamental que su comportamiento sea el mismo que el del material o medio en el que se realiza el estudio. Los requisitos básicos en la selección del radiotrazador son su forma química, física, estabilidad, el tipo de radiación que emite, su energía, su periodo de semidesintegración o vida media radiactiva, entre otros.

El radiotrazador debe ser un emisor de radiación gamma que pueda ser medido y detectado desde fuera de una tubería o recipiente, gracias a sus propiedades de penetración. Otra de las características consideradas como esenciales para el radiotrazador es que su elemento radiactivo tenga un periodo de semidesintegración corto, de horas o días, para que deje de emitir radiaciones. Lo sorprendente es que por lo general sólo se requieren de uno a dos gramos de un radiotrazador para su uso.

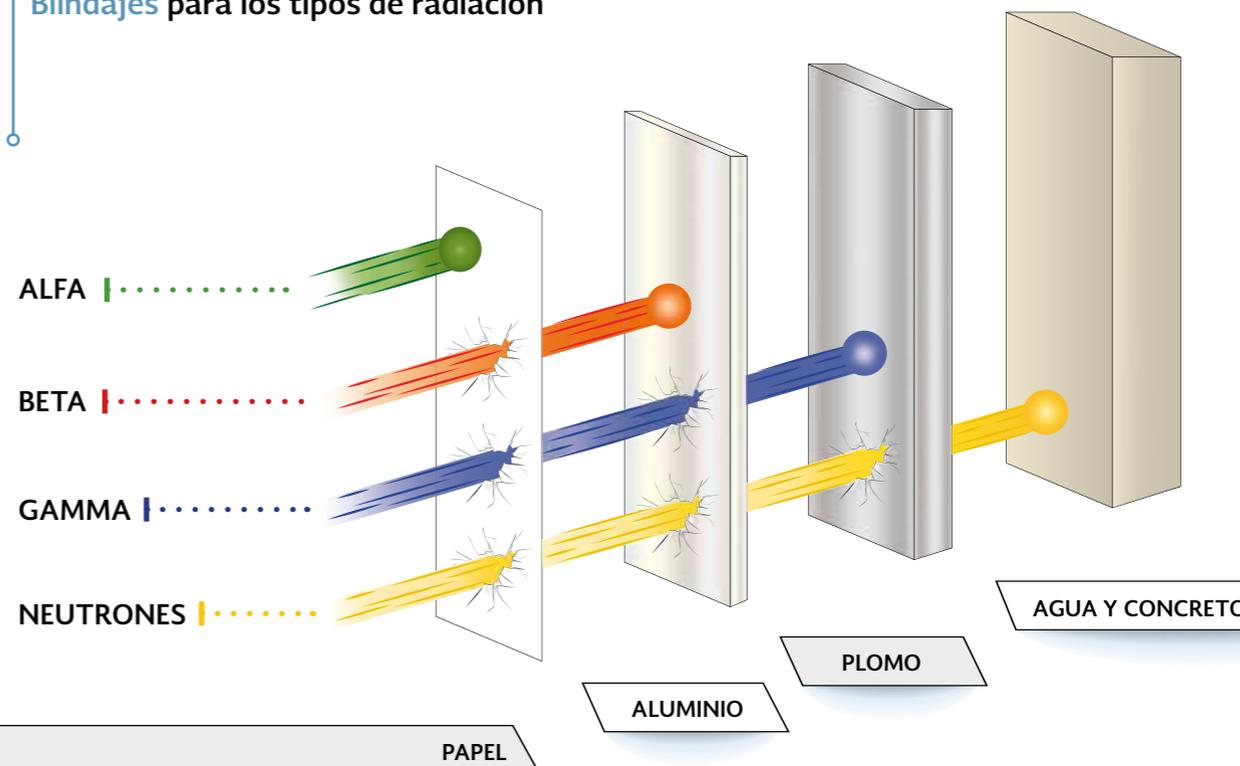
Un radiotrazador emisor gamma puede ser medido desde el exterior de una tubería o recipiente, debido a sus propiedades de penetración, lo cual es idóneo para este fin. Porque por ejemplo, las partículas alfa se pueden detener fácilmente con una hoja de papel, las betas con algunos milímetros de aluminio y la radiación gamma, la más penetrante, requiere de algunos centímetros de plomo, acero o concreto para atenuarla. Por otro lado, los neutrones para ser detenidos requieren del uso de compuestos hidrogenados, como parafina, agua, polietileno, entre otros y después ser absorbidos con materiales como boro o cadmio.

El Departamento de Protección Radiológica del ININ ha realizado exitosamente la detección de fugas, mediante la aplicación de radiotrazadores en la industria petrolera

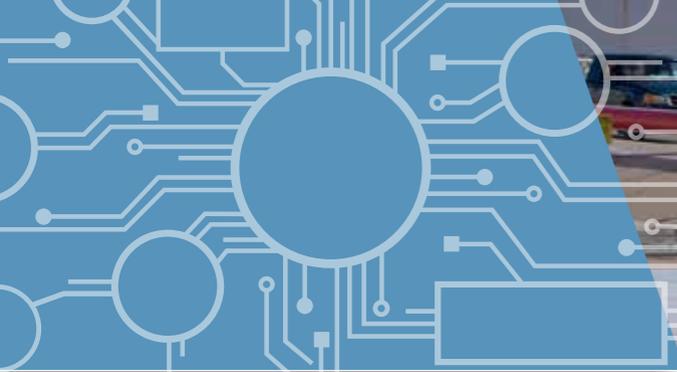


Tuberías de gas licuado

Blindajes para los tipos de radiación



Tuberías bajo tierra



REVESTIR LA SEGURIDAD NUCLEAR

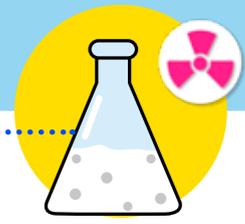
Los cementos en la industria nuclear



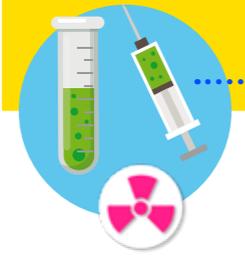
nacional, en particular en algunas estaciones de gas donde es de vital importancia contar con los sistemas contra incendios operando todo el tiempo, ya que una fuga de agua en sus sistemas lo inhabilitaría para enfrentar un posible conato.

Te contaré cómo el Departamento de Protección Radiológica del ININ realizó una detección de fuga hidráulica en una planta de distribución de gas licuado.

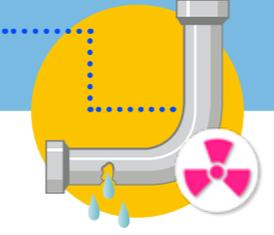
Analizar las condiciones de las instalaciones y determinar el método de diagnóstico orientado a la localización de la fuga del sistema hidráulico, que en este caso fue el uso de una solución acuosa de carbonato de sodio marcada con **sodio-24** como radiotrazador (producido en el reactor TRIGA del ININ), pues el carbonato de sodio es altamente soluble en agua.



Determinar el sitio de aplicación del radiotrazador. Se introduce el radiotrazador utilizando un dispositivo presurizado diseñado para inyectar la solución del trazador con agua, justo antes o después del sitio de bombeo.



Identificar la fuga. Mediante detectores de radiación se sigue, a nivel del suelo, el cauce del agua marcada con el radiotrazador en la trayectoria de las tuberías, y donde se observa aumento de las señales del detector, ahí se localiza la fuga.



Determinar que el radiotrazador dejó de ser radiactivo. Durante el proceso de localización de la fuga, por medio del radiotrazador, se realiza un estricto control de los niveles de radiación para proteger a todos los involucrados. El material radiactivo o radiotrazador es controlado y se deja decaer antes de reparar la fuga.



Con ejemplos como este ha sido posible contribuir a demostrar los beneficios sociales de las aplicaciones nucleares, además de proteger a la población y los recursos del país.

JOSÉ ÁNGEL BENÍTEZ SALINAS

Realizó estudios en Ingeniería Química en el Instituto Politécnico Nacional (IPN). En su infancia estuvo afiliado al Pentatlón Deportivo Militarizado Universitario. En una excursión al Cerro del Chiquihuite le tocó mantener viva la fogata y cuidar a la tropa haciendo guardia durante algunas horas en la madrugada. Eso lo llenó de satisfacción.

Si fuera un luchador social defendería los derechos de los niños. Sus plantas favoritas son la jacaranda, las rosas y las dalias. En su infancia disfrutaba leer la historieta de Fantomas, "la amenaza elegante".

Ha disfrutado de su niñez y también de su etapa adulta, considera que ser padre y esposo ha sido gratificante. Admira a Netzahualcōyotl por haber sido poeta, arquitecto-urbanista y amante de la naturaleza. También es admirador de Alejandro Volta e Isaac Asimov.



VERÓNICA ELIZABETH BADILLO ALMARAZ

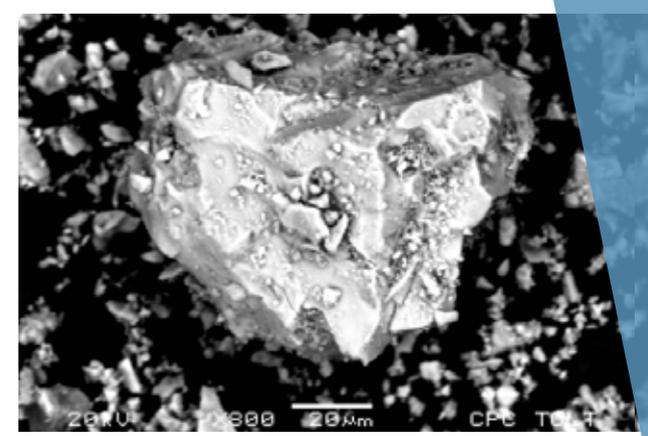
Uno de los materiales de construcción más usados es el cemento, debido a que entre sus características destaca su alta resistencia. La industria del cemento en México es una de las más destacadas a nivel internacional. ¿Sabías que juega un papel importantísimo en la seguridad nuclear? Continúa leyendo para descubrirlo.



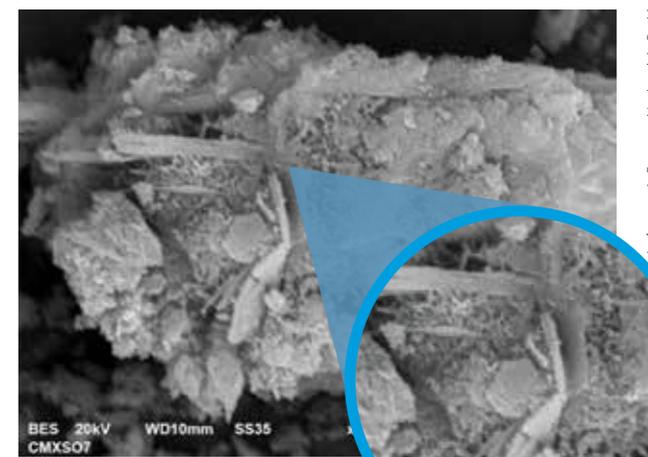
El cemento es el componente primordial del concreto (mezcla de cemento, agua y arena o grava). Este material está presente en la industria nuclear, ya que es usado en la fabricación de las estructuras nucleares de seguridad, específicamente en los sistemas de contención primaria del reactor y contención secundaria de las centrales nucleares, además del almacenamiento de desechos radiactivos y de combustible gastado.

Debido al papel importante que juega el concreto en la seguridad nuclear es necesario estudiar su comportamiento a largo plazo en las construcciones hechas con este material. La constitución del concreto puede verse en riesgo por la degradación ocasionada por la irradiación, por los neutrones y los rayos gamma, o por estar en contacto con ambientes agresivos, como agua de mar o sulfatos (sales o los ésteres del ácido sulfúrico).

Por ejemplo, el cemento *Portland* es un conglomerante hidráulico (material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión), que se obtiene a partir de la mezcla de arcilla rica en silicatos y piedra caliza. Esta mezcla al ser calcinada a 1,400 grados centígrados se transforma en el denominado *clinker* (pequeños nódulos duros del tamaño de una nuez). Cuando el cemento *Portland* es mezclado con el agua, el producto se solidifica en algunas horas y se endurece progresivamente durante un periodo de varias semanas. Su endurecimiento paulatino y el desarrollo de fuerzas internas de tensión derivan de un proceso de hidratación muy lento, durante el cual se generan estructuras amorfas

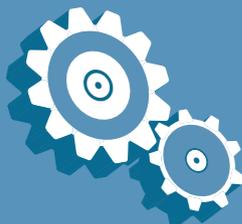


Micrografías del clinker del cemento Portland CPC 30R RS



Micrografías de la pasta de cemento Portland hidratado

Imágenes de Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa)



llamadas silicatos hidratados de calcio, las cuales aportan la resistencia al concreto.

Las propiedades del cemento comercial no garantizan necesariamente su funcionamiento en las operaciones nucleares. Por ello, es importante observar y estudiar la evolución y comportamiento de los componentes del cemento, particularmente por las condiciones especiales que rigen la industria nuclear. La investigación desarrollada en el Departamento de Sistemas Nucleares, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), se ha enfocado en el estudio de los materiales con base de cemento para el análisis de evolución de la irradiación neutrónica y/o de la irradiación gamma.

Es importante destacar que el componente principal de una central nuclear es el reactor, ubicado dentro del edificio del reactor. Este edificio está fabricado con concreto y su función es doble, ya que protege al reactor de agresiones externas y al mismo tiempo protege el exterior de un posible fallo del reactor. Al edificio del reactor se le conoce como contención secundaria, pues encierra otra estructura de concreto llamada contención primaria, que es un muro cilíndrico de varios centímetros de ancho y cerrado por la parte superior con una cúpula.

La Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) cuenta con dos reactores del tipo de agua en ebullición (Boiling Water Reactor). El primer reactor entró en operación en el año de 1990 y el segundo en 1995. Estos dos reactores tienen el mismo diseño estructural, el sistema de contención primaria usualmente es una gran estructura de metal y concreto (cilíndrica) que contiene la vasija del reactor, está diseñado para resistir fuertes presiones internas que resultan de una fuga o de la despresurización intencional del recipiente del reactor.

Otra área donde los materiales con base en cemento intervienen es la gestión de desechos radiactivos en una central nuclear. La CNLV genera combustible nuclear gastado, el cual puede ser considerado desecho de alto nivel, medio o bajo. Estos desechos contienen radionúclidos o están contaminados con ellos, por lo que requieren de

la gestión necesaria para proteger la salud y el ambiente. De acuerdo con los tipos de desechos de radionúclidos y a su vida media se establecen criterios de aceptación que buscan contener o inmovilizar los desechos radiactivos para prevenir cualquier liberación de contaminantes.

En el almacenamiento de los desechos radiactivos de baja y mediana actividad, los repositorios finales con base en materiales de cemento ya están funcionando en muchos países. Los materiales de cemento intervienen en las diferentes etapas de la gestión de desechos radiactivos, ya que son utilizados para la inmovilización de desechos en el contenedor, en la fabricación de los contenedores, así como en el relleno de los espacios formados entre los contenedores de las bóvedas, y también como barrera de ingeniería y material de construcción en la obra civil.

El concreto es uno de los materiales utilizados para elaborar el sistema de barreras de ingeniería y fabricar contenedores para los desechos radiactivos. Además de sus propiedades mecánicas, su composición y su solubilidad permiten amortiguar las aguas subterráneas de contacto a pH elevados durante escalas de tiempo considerables de más de mil años, y poseen un papel activo en el confinamiento de radionúclidos presentes en los desechos radiactivos. La evaluación de las propiedades de retención de radionúclidos y la evolución de las fases bajo la influencia de la irradiación gamma en los materiales que utilizan cemento resulta fundamental para proyectar la vida útil de las estructuras de concreto.

Por otro lado, en el almacenamiento de desechos de altos niveles (caracterizados por una alta actividad radiológica y un alto calor de decaimiento, constituidos principalmente por el combustible gastado) el concreto posee una función activa en el confinamiento de radionúclidos, debido a sus propiedades mecánicas y químicas. En la CNLV se tiene en construcción una instalación independiente para el almacenamiento en seco del combustible gastado, en contenedores con base en concreto que serán colocados sobre una plancha construida también en concreto.

El comportamiento de materiales cementicios con base en conglomerante hidráulico (llamado cemento) se determina esencialmente por:

1

La evolución fisicoquímica de la pasta de cemento que lo constituye



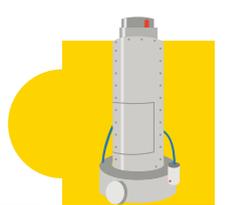
2

Del estudio de su evolución y de los efectos de la irradiación gamma. Para ello se utilizan técnicas como:

Observación del sólido



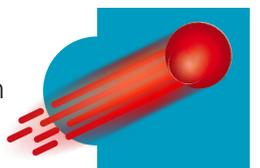
Microscopía electrónica de barrido



Difracción de rayos X



Técnicas analíticas nucleares de análisis por activación con neutrones y Mössbauer.



La seguridad nuclear es un tema sumamente importante y gracias al uso de materiales como el cemento es posible fortalecer las medidas de prevención para el desarrollo y gestión adecuada de la tecnología nuclear.



VERÓNICA ELIZABETH BADILLO ALMARAZ

Estudió Ingeniería Química en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), la Maestría en Ciencias Nucleares en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Doctorado en Radioquímica en la Universidad de París-XI. Se siente orgullosa de su labor en la formación de recursos humanos a lo largo de su vida académica.

Si fuera luchadora social trabajaría por los derechos de los niños, sobre todo su derecho a jugar y a tener una educación libre y gratuita. Le gustan las margaritas y el sauce llorón. Su etapa de formación en la preparatoria fue muy disfrutable, porque como joven estaba llena de sueños y ganas de conquistar el mundo y porque le gusta mucho estudiar. Jugar al resorte y a los desencantados era lo que más disfrutaba cuando era niña. Admira a mujeres escritoras, como Rosario Castellanos y Elena Poniatowska, por su capacidad para plasmar sus observaciones, sentimientos y emociones en una historia, en un libro, en una poesía. Actualmente, colabora en el Departamento de Sistemas Nucleares.



PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA

IDENTIFICAR PARA RESGUARDAR

Laboratorio de Desechos Radiactivos



FABIOLA MONROY GUZMÁN

Los desechos radiactivos o materiales que han dejado de ser útiles y que contienen elementos radiactivos deben ser tratados de manera especial. Entérate de aspectos indispensables de la gestión de desechos radiactivos que permiten resguardarlos de forma segura hasta que sus niveles de radiación sean inocuos para nuestra salud y el entorno.

Los desechos radiactivos provienen principalmente de actividades no energéticas que se desarrollan en hospitales, centros de investigación y en aplicaciones industriales. En el sector energético, los desechos radiactivos provienen del ciclo de combustible nuclear, que incluye la disposición de los combustibles “gastados” como desechos nucleares (ciclo abierto) o su reprocesamiento para recuperar el uranio y plutonio, además de separarlos de los productos de fisión, considerados como desechos nucleares (ciclo cerrado).

El nivel de radiaciones ionizantes que emiten los desechos radiactivos puede provocar modificaciones a nivel molecular y atravesar cualquier material, por ello deben aislarse y confinarse de forma adecuada. Para evitar la dispersión o migración del material radiactivo contenido en los desechos radiactivos, y asegurar su confinamiento eficaz y durable, es necesario reducir su volumen y colocarlos bajo una forma sólida, física y químicamente estable. Al procedimiento que tiene como propósito aislar de manera segura los desechos radiactivos del medio e impedir su migración hacia la biósfera, hasta que hayan perdido su radiactividad, se le conoce como **gestión de desechos radiactivos**.

Gestión de desechos radiactivos

1 Pre-tratamiento o caracterización
Determinar sus propiedades radiológicas y físico-químicas, para saber la forma de manipulación más adecuada del desecho. Por ejemplo, saber el tipo de radiación (alfa o beta) que emiten los radioisótopos que se desean cuantificar.



2 Tratamiento o compactación
Disminución de volumen del desecho, mediante un sistema de compresión neumático y/o hidráulico. Este sistema optimiza el espacio y los costos de almacenamiento.



3 Acondicionamiento
El desecho previamente tratado se inmoviliza mediante concreto, para evitar su dispersión, además facilita su manejo y transporte. Dependiendo del tipo de energía que emita (alfa, beta o gamma) será el tipo de inmovilización que se aplique.



4 Disposición
Almacenamiento temporal y/o definitivo del desecho.



El **pretratamiento o caracterización** de los desechos es determinante, pues en esta etapa se identifica qué radionúclidos contienen, en qué cantidades, y la forma física y química en que se presentan. Con esa información se decide cuál tecnología es más adecuada para las siguientes etapas de la gestión de desechos radiactivos, pues permite:

- 1) Establecer medidas de seguridad para manipular el desecho.
- 2) Clasificar adecuadamente el desecho.
- 3) Liberar un desecho como un residuo convencional.
- 4) Establecer estrategias de tratamiento y acondicionamiento más adecuadas para cada desecho.
- 5) Dar seguimiento a los procesos de tratamiento y acondicionamiento.
- 6) Determinar si los bultos de desechos radiactivos cumplen con la normativa establecida para su almacenamiento temporal o definitivo.

Cabe destacar que los desechos radiactivos que contienen radioisótopos con actividades altas, que viven cientos de años, requieren de tecnologías e infraestructuras complejas, ya que para evitar su dispersión deben preservarse de forma segura por largos lapsos y en lugares aislados. Como podrás darte cuenta, toda acción de gestión de desechos radiactivos debe estar científicamente justificada y tecnológicamente probada.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) inició desde 2009 el establecimiento del primer laboratorio de caracterización, investigación y desarrollo tecnológico de México, destinado a apoyar las tareas de la gestión de desechos radiactivos generados por aplicaciones no energéticas en México. Se nombró Laboratorio de Desechos Radiactivos (LDR), cuya licencia de operación fue expedida por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), a partir del 11 de octubre de 2011, para poder manipular cerca de 40 diferentes radionúclidos.

La función principal del LDR es proponer, investigar, desarrollar y demostrar soluciones viables que aseguren el aislamiento y confinamiento de los desechos radiactivos que el ININ tiene bajo su custodia.

En el LDR actualmente se caracterizan desechos radiactivos procedentes de la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (PATRADER), donde se realizan los procesos de tratamiento y acondicionamiento de desechos radiactivos, y el Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER), en el que se almacenan de manera temporal los desechos acondicionados en la PATRADER.

Actividades del Laboratorio de Desechos Radiactivos (LDR)

Proporcionar conocimientos para el desarrollo de estrategias de gestión de desechos radiactivos seguras y viables.



Verificar las tecnologías necesarias para desarrollar dichas estrategias.



Apoyar, mejorar y optimizar de forma continua las actividades de gestión en curso, y asegurar la disponibilidad y operatividad de tecnologías desarrolladas para tal fin.

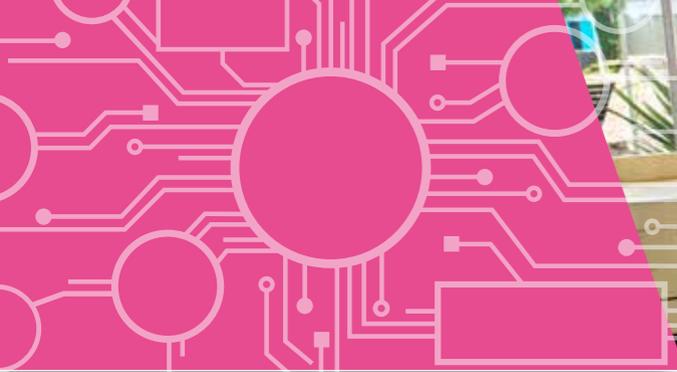


Asegurar que el conocimiento y la tecnología se trasladen a la gestión de desechos radiactivos de forma que se mejore la seguridad y se optimicen los costos.



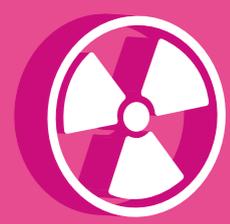
Comunicar de manera transparente los avances científicos y tecnológicos en este campo a los colectivos científicos, sociales y políticos.





EL MAPA INVISIBLE

Espectro electromagnético



PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Laboratorio de desechos radiactivos

Las técnicas de caracterización de radioisótopos dependen fundamentalmente del tipo de radiación que emiten los radioisótopos que se desea cuantificar.

Los isótopos de un elemento químico tienen el mismo número atómico pero diferente número de neutrones.

Algunas de las técnicas instrumentales de caracterización isotópica utilizadas en el LDR son:

- **Contador de centelleo líquido**
Cuantifica los radionúclidos emisores beta y alfa.
- **Contador proporcional para la cuantificación gruesa de radionúclidos emisores beta y alfa**
Este equipo proporciona los niveles de actividad (concentración) de los emisores alfa o beta, o mezclas alfa-beta de una muestra.
- **Espectrómetro alfa**
Cuantificación radionúclidos emisores alfa.

Además de caracterizar isotópicamente el desecho, es necesario determinar sus propiedades físico-químicas. Esa información permite manipular de una manera más adecuada el desecho, desde un punto de vista radiológico. En el LDR también se aplican métodos químicos y físicos convencionales (densidad, viscosidad, conductividad, entre otros), con el fin de presentar una descripción precisa del desecho al Departamento de Desechos Radiactivos.

En el LDR se han desarrollado técnicas de caracterización isotópicas y físico-químicas para desechos líquidos orgánicos (autorizadas por la CNSNS), que contienen principalmente radioisótopos emisores beta puros, procedentes de diversos centros de investigación y salud de todo el país. También se están desarrollando metodologías para la cuantificación de radioisótopos emisores alfa (partículas altamente ionizantes y de muy corta penetración) presentes comúnmente en los productos de fisión procedentes de plantas nucleares.

El LDR es el único laboratorio en México dedicado exclusivamente al análisis, investigación y desarrollo de todas las actividades ligadas a la gestión de los desechos radiactivos.



FABIOLA MONROY GUZMÁN

Estudió Ingeniería Química y Maestría en Ciencias Nucleares en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Diplomado en Radioquímica y Doctorado en la Universidad de París-Sur.

Recuerda con orgullo que en una ocasión en la primaria encontró un billete de \$500 y se lo entregó a la profesora para que preguntara de quién era. Una de las causas sociales que más le interesan es el derecho a que todos tengan las mismas oportunidades. Su planta favorita es la ceiba. Disfrutó mucho de sus estudios en el extranjero, ya que conoció otras costumbres, formas de vida y nuevas perspectivas. Admira a la gente que lucha contra la adversidad y a las personas justas y honestas, como Mahatma Gandhi.

CARLOS ENRIQUE DOMÍNGUEZ ANAYA

El espectro electromagnético ha contribuido al desarrollo tecnológico y al uso de aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones, medicina, investigación, alimentación e incluso nuestra vida diaria. Conoce más sobre esta red invisible que conecta diferentes tecnologías y forma parte del ámbito cotidiano.



Diariamente realizamos diferentes actividades, como trabajar, estudiar y divertirnos. No es un secreto que la tecnología ha facilitado nuestra vida diaria. Inventos como la radiografía (1895), la radio (1907), el wifi (1971) y los celulares (1973) son algunos ejemplos de aplicaciones tecnológicas que han dado forma al mundo de hoy. Lo que tal vez no sabes es que todos los inventos mencionados hacen uso de un elemento en común: el **espectro electromagnético**.

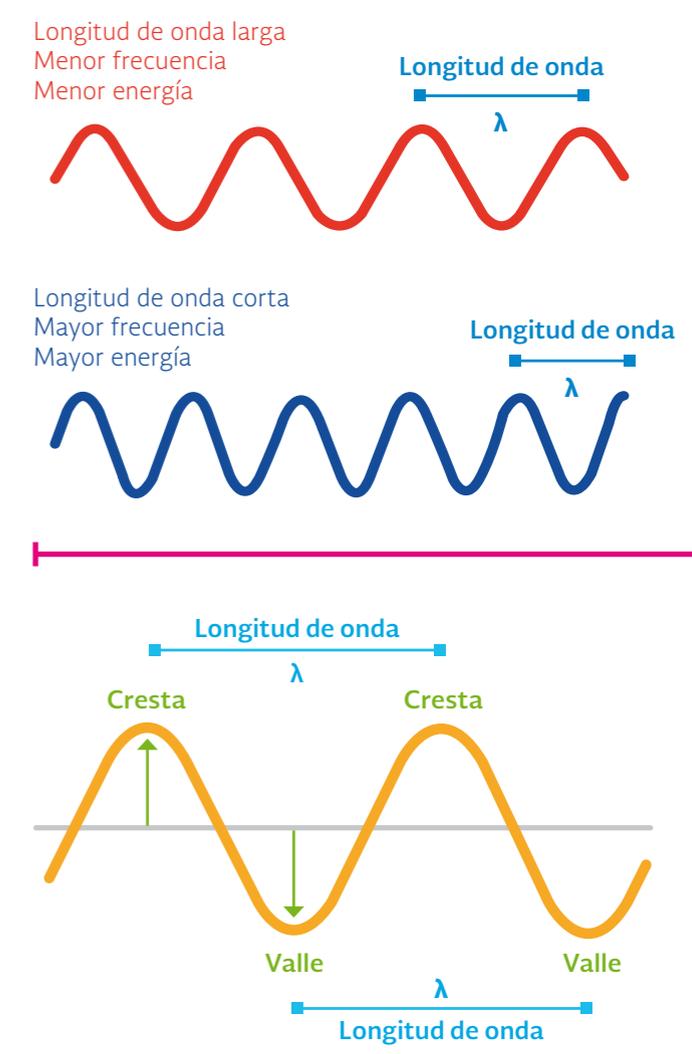
Podemos ver y conocer este espectro en un diagrama que explica la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas, que van desde las ondas con mayor longitud, como las ondas de radio, hasta los de menor longitud, como los rayos gamma (γ).

Pero ¿qué tienen que ver las ondas electromagnéticas con la distribución energética? Pues debes saber que estas ondas cuentan con la propiedad de transportar energía. La radiación electromagnética se puede considerar un haz o flujo de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-corpúsculo (partícula de materia de tamaño microscópico) permite que cada fotón tenga energía directamente proporcional a la frecuencia de la onda asociada, como lo explica la constante de Planck: $E = h \cdot \nu$.

Constante de Planck
 $E =$ energía de la onda, $h =$ constante de Planck (6.626×10^{-34} J·s) y $\nu =$ frecuencia de onda

Existen diferentes tipos de ondas electromagnéticas que se caracterizan por su energía y

Longitud de onda





longitud de onda (distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos), representada por la letra griega lambda: λ . Un ejemplo es lo que llamamos "luz visible" que en realidad es un conjunto de ondas electromagnéticas de diferentes energías y longitudes de onda que van de los 380 a 780 nanómetros.

Otros ejemplos de ondas electromagnéticas (que son invisibles, por cierto) son las ondas de radio y televisión, telefonía móvil, radiación infrarroja, radar, rayos ultravioleta, microondas, rayos X y rayos gamma, entre otros. Una característica que tienen todas las ondas electromagnéticas del espectro es que viajan a la velocidad de la luz.

El descubrimiento del espectro electromagnético se debe en gran parte a Wilhelm Conrad Röntgen, ingeniero mecánico y físico de origen alemán quien estudió en la Universidad de Wurzburg. El 8 de noviembre de 1895, Röntgen produjo radiación electromagnética en las longitudes de onda correspondiente a los rayos X. Este descubrimiento causó una enorme sorpresa, principalmente entre los médicos de esa época, ya que por primera vez se observó el interior del cuerpo humano sin necesidad de una operación quirúrgica.



Wilhelm Conrad Röntgen y la primera radiografía obtenida de la mano de su esposa.

En aquella época se desconocían los efectos que producían los rayos X, hasta que los primeros radiólogos experimentaron quemaduras en las manos por la falta de medidas de protección.

Cuando se descubrieron las propiedades de los rayos gamma (semejantes a los rayos X, con excepción de su origen) es justo cuando comenzó a desarrollarse la **protección radiológica**.

Protección radiológica: es la disciplina de la ciencia nuclear que estudia los efectos producidos por las radiaciones ionizantes y los procedimientos para proteger a los seres humanos de sus efectos.

Uno de los sectores que se benefició significativamente por el desarrollo del espectro electromagnético fue el de las telecomunicaciones. **La radiofrecuencia** (y en algunos casos las microondas) permite el desarrollo de múltiples aplicaciones (de acuerdo con la intensidad de la frecuencia) como emisoras de radiofusión (AM y FM), internet, redes celulares 3G y 4G, comunicaciones satelitales y sistemas de comunicación locales, como las que utilizan los policías.

En el diagrama del espectro electromagnético se encuentran las ondas de **microondas** que se caracterizan por ser cortas y suelen ser absorbidas por las moléculas que tienen un momento dipolar en los líquidos. En un horno de microondas se aprovechan las características de las ondas para calentar los alimentos. El wifi también se "transporta" o "viaja" mediante ondas microondas de baja frecuencia.

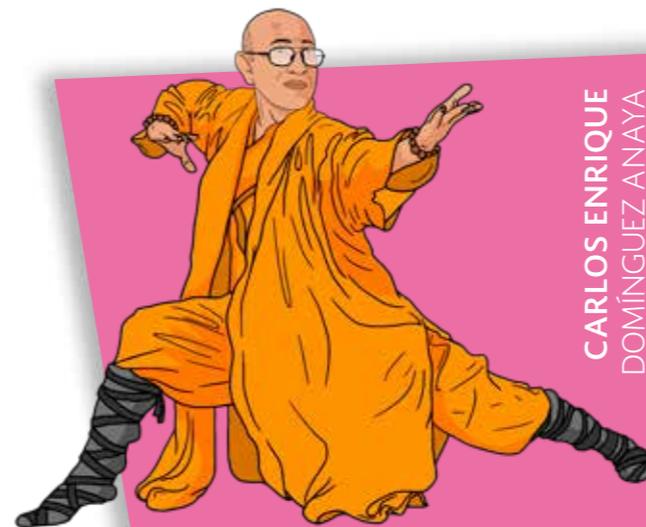
Por otro lado, las ondas **infrarrojas** se dividen en onda corta, media, media rápida y larga. Algunas de sus aplicaciones más comunes se dan en equipos de visión nocturna y controles remotos, así como secado de pinturas y precalentamiento de soldaduras en la industria, entre otras. Después se encuentra la luz **ultravioleta**, caracterizada por ser muy energética, pues es capaz de romper enlaces químicos convirtiendo a las moléculas excepcionalmente reactivas. Algunas de sus aplicaciones tecnológicas son la esterilización de agua y alimentos, la soldadura de arco industrial, el curado fotoquímico de tintas, pinturas y plásticos, y su uso en tratamientos médicos de diagnóstico y terapia.

Existen otras frecuencias del espectro electromagnético, como los **rayos X** y gamma que se constituyen por fotones y por lo tanto pertenecen a la categoría de radiación electromagnética. Los **rayos gamma** son producidos generalmente por elementos radiactivos o por procesos subatómicos, como la aniquilación de un par positrón-electrón (encuentro de una partícula material con su respectiva antipartícula). También se generan en fenómenos astrofísicos de gran violencia, como en lo que llamamos radiación cósmica, proceden-

te del espacio exterior. Por otro lado, es posible producir calor y rayos X mediante dispositivos que permiten desacelerar electrones de alta velocidad.

Debido a la cantidad de energía que poseen los rayos X y gamma son capaces de producir ionización en la materia con la que interactúan. La radiación ionizante es capaz de penetrar en la materia profundamente (más que la radiación alfa y beta), por ello puede producir un daño grave en el núcleo de las células. Sin embargo, con el uso responsable de la tecnología hemos podido sacarle mucho provecho a la radiación ionizante. Algunas de sus aplicaciones nos permiten esterilizar equipos médicos, reducir la carga microbiana de alimentos, obtener imágenes radiográficas y gammagráficas, entre otras.

Como podrás notar diariamente nos desenvolvemos en un mapa de conexiones invisibles que hemos aprovechado para facilitar nuestra vida cotidiana. Saber más del espectro electromagnético nos ha abierto un panorama mucho más amplio para el desarrollo científico y tecnológico, además de poder conocer y reconocer lo que por naturaleza es invisible para los ojos.



CARLOS ENRIQUE
DOMÍNGUEZ ANAYA

Estudió la Licenciatura en Ingeniería Química en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Está orgulloso de haber obtenido las mejores calificaciones del curso Superior de Protección Radiológica en Madrid, España en 2009.

Cree en la defensa de los animales, pues ellos no pueden defenderse solos. Sus plantas favoritas son las cactáceas, ya que necesitan poca agua y dan flores muy bonitas. Ha disfrutado plenamente de todas las etapas de su vida. Admira a sus padres, ya que reconoce el esfuerzo que realizaron para darle educación a él y a sus hermanos a pesar de las dificultades económicas, además de su interés por realizar múltiples actividades, que propició su curiosidad por aprender sobre diversos temas. Se identifica con el personaje "Maestro Po" de la serie *Kung Fu*, porque también le gusta compartir su conocimiento. Actualmente, colabora como instructor en el Departamento de Educación Continua del ININ.

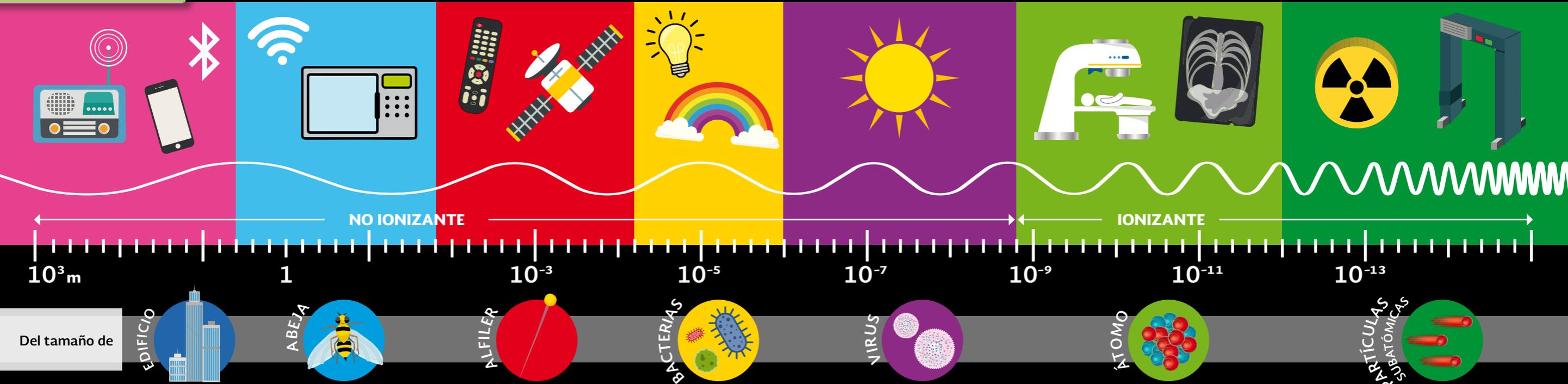


INFOGRÁFICO

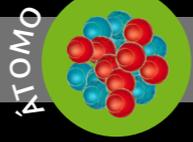
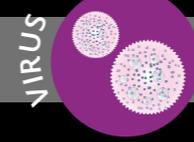
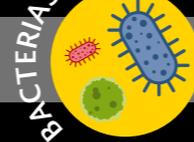
¿POR DÓNDE VA LA ONDA?

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación con mayor longitud de onda (radiofrecuencia) hasta las de menor longitud de onda (rayos gamma). Las ondas electromagnéticas con una longitud de onda larga tienen baja frecuencia y poca energía, inofensiva para el ser humano. Mientras que las ondas electromagnéticas con una longitud de onda corta tienen alta frecuencia y por lo tanto muchísima energía.



Del tamaño de



RADIOFRECUENCIA

MICROONDAS

INFRARROJO

LUZ VISIBLE

ULTRAVIOLETA

RAYOS X

RAYOS GAMMA

Descripción

Eficaz para la transmisión de información, pues la radiación electromagnética impacta sobre un conductor, se empareja con él y viaja a través del mismo, induciendo una corriente eléctrica.

Su energía es absorbida por las moléculas que tienen un momento dipolar en líquidos. Este efecto se usa para calentar la comida en el horno microondas.

Todo tipo de objetos que tengan una temperatura distinta de cero absoluto emiten radiación infrarroja. Vivimos inmersos en radiación infrarroja, ya que sólo es calor.

La luz visible es la pequeña porción de radiación que el ojo humano puede detectar (con una longitud de onda, para los humanos, entre los 400 y 700 nanómetros).

Su fuente principal es el Sol, pero también se produce artificialmente en áreas de industria, investigación y medicina. La energía proveniente del Sol es un elemento básico para la vida en la Tierra, pero recibirla en exceso puede causar quemaduras y hasta cáncer en la piel.

A diferencia de la luz, los rayos X tienen una energía más alta y pueden pasar a través de la mayoría de los objetos, incluyendo el cuerpo humano. Los rayos al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones).

Es radiación electromagnética (formada por fotones) producida generalmente por elementos radiactivos o procesos subatómicos, como la aniquilación de un par positrón-electrón. En general, los rayos gamma producidos en el espacio no llegan a la superficie de la Tierra y son absorbidos en la alta atmósfera.

Efecto

No existen efectos adversos para los seres vivos. En el cuerpo humano son de tipo térmico de nivel bajo.

Esta tecnología asegura la contención de la energía para que se utilice de acuerdo con los parámetros de seguridad. El daño térmico ocurriría solamente debido a largas exposiciones y a niveles de muy alta potencia.

Debido a su bajo nivel energético no reacciona fotoquímicamente con la materia viva, sólo produce efectos de tipo térmico.

Al aplicarse los rayos UV es necesario contar un equipo adaptado a la longitud de onda de la radiación, además de ropa de trabajo protectora (hecha de algodón) cuando las emisiones sean elevadas.

La exposición a dosis bajas de rayos X a las que el ser humano se expone diariamente no es perjudicial. En caso de dosis más altas se requiere de materiales con espesores mayores, preferentemente plomo, agua o concreto.

Protegerse de rayos gamma requiere una gran cantidad de masa. A mayor energía el espesor de la protección debe ser mayor, preferentemente materiales como plomo, agua o concreto.

Aplicaciones

- Televisión
- Radio
- Celulares
- Redes inalámbricas como: Bluetooth y WLAN
- Resonancias magnéticas

- Radares de navegación
- Horno microondas
- Wifi

- Controles remotos
- Satélites
- Equipos de visión nocturna y cámaras térmicas
- Espectrofotómetro para identificar la composición de una muestra
- Lámpara de fototerapia para dermatología

- Espectrofotometría ultravioleta sensible para análisis de sustancias
- Lámparas monocromáticas para química analítica
- Lámparas fluorescentes para ciencia forense
- Medición de concentraciones en líquidos

- Radiografías
- Mamografías
- Tomografía computarizada
- Radioterapia
- Radiografía industrial

- Sanitización de alimentos y esterilización de desechables médicos
- Bisturí gamma para tumores cerebrales
- Arcos de seguridad para aduanas y carreteras

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.

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

 **5329 7200**
Exts. 11260
11262



**Visitas
guiadas**



**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
15295



ININmx



@inin_mx



gob.mx/inin



ININmx



ININmx



instituto nacional de
investigaciones nucleares



Coordinación de Promoción y
**DIVULGACIÓN
Científica**