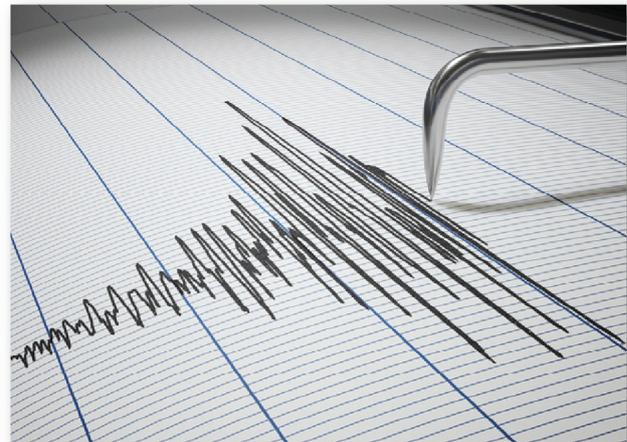
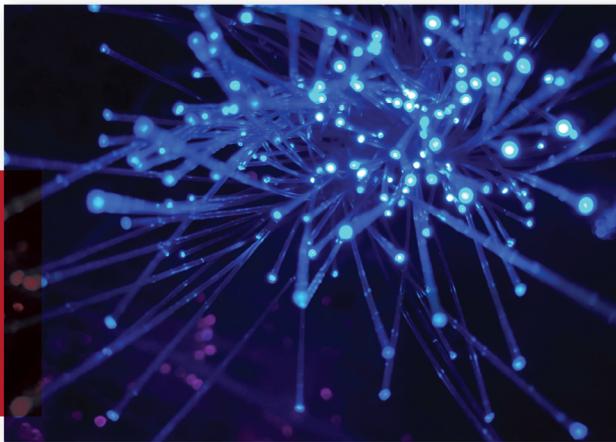




# GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

ISSN: En trámite

No. 159 | marzo - abril 2023



El uso de la impresión 3D  
en la fabricación de reactores  
electroquímicos

Aplicación de nanomateriales  
para potenciar el tratamiento  
de aguas residuales industriales

Técnicas de sensado  
con fibras ópticas  
para monitoreo distribuido

Sensores Acústicos Distribuidos  
DAS: una Tecnología Emergente

# EDITORIAL

Durante el segundo bimestre de 2023, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha reportado una gran disminución de incidencia (95%) que está asociada principalmente a la vacunación; de hecho, esta Organización estimó en abril que la pandemia por COVID-19 podría terminar en el transcurso de este año. Lo anterior, ha permitido retomar completamente actividades y eventos académicos de manera presencial en nuestras instalaciones y en otras de la UNAM. En particular, menciono la presentación que realicé del Tercer Informe de Actividades del IIUNAM, en el auditorio de la Torre de Ingeniería. Además, de los múltiples seminarios, pláticas y talleres realizados en el Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth.

Como indiqué en el Tercer Informe de Actividades, el retorno a las instalaciones ha beneficiado significativamente a nuestros estudiantes; esto ha permitido que haya aumentado el número de estudiantes titulados de licenciatura (incremento de un factor de siete) y graduados de maestría (66%). De manera adicional, se incrementó casi 25% en promedio el número de estudiantes registrados, destacando los de servicio social. Invito a nuestros académicos a que, mejor que nunca, preparemos a estos estudiantes para formar profesionales altamente especializados que requiere el país, considerando que estamos en un periodo de mayores retos que en años pasados.

También, es importante que sigamos realizando nuestras labores de investigación y de innovación, aplicando las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial, para proponer mejores soluciones a los retos de la ingeniería que requiere el país, para contribuir al desarrollo y resolver problemas que

ha generado esta pandemia. En este sentido, este número de la Gaceta presenta cuatro interesantes artículos que se han desarrollado en el IIUNAM, sobre temas muy innovadores en varias disciplinas de la ingeniería que los invito a revisar. Estoy convencida que pueden identificar en estos manuscritos varias oportunidades de colaboración para robustecer sus temas de investigación, lo que permitirá dar mejores soluciones y más integrales a los retos actuales y futuros de la ingeniería.

En otro orden de ideas, les comento que, en conjunto con los titulares de las entidades participantes del Posgrado en Ingeniería Ambiental, acordamos la designación de la Dra. María Neftalí Rojas Valencia como Presidenta del Subcomité Académico por Campo del Conocimiento (SACC) de esa área, a partir del 16 de mayo de este año. Agradezco al Dr. Iván Moreno Andrade, Presidente saliente, la labor realizada durante el periodo que estuvo en el cargo y le deseo el mayor de los éxitos a la Dra. Rojas en esta importante tarea. Asimismo, les informo la designación que realicé de la Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández para relevar al Dr. Óscar González Barceló, como representante del IIUNAM, sede en Ciudad Universitaria, en este mismo SACC. Manifiesto mi reconocimiento al Dr. González y mi agradecimiento a la Dra. Güereca. |

Cordialmente,

**Dra. Rosa María Ramírez Zamora**

Directora

Instituto de Ingeniería, UNAM



Rector  
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General  
Dr. Leonardo Lomeli Vanegas

Secretario Administrativo  
Dr. Luis A. Álvarez-Icaza Longoria

Secretaría de Desarrollo Institucional  
Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda

Secretario de Prevención,  
Atención y Seguridad Universitaria  
Lic. Raúl

Arcenio Aguilar Tamayo

Abogado General  
Dr. Alfredo Sánchez Castañeda

Coordinador de la Investigación Científica  
Dr. William H. Lee Alardín

Director General de Comunicación Social  
Mtro. Néstor Martínez Cristo

Directora  
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
Dr. David Murá Vila

Subdirector de Hidráulica y Ambiental  
Dra. Rosa  
María Flores Serrano

Subdirector de Electromecánica  
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirector de Unidades Académicas Foráneas  
Dr. Germán Buitrón Méndez

Secretaría Académica  
Dra. Norma Patricia López Acosta

Secretaría Administrativa  
Lic. Salvador  
Barba Echavarría

Secretaría Técnica  
Arq. Sebastián Israel Martínez Bucio

Secretaría de Telecomunicaciones e Informática  
Ing. Marco Ambriz Maguey

Secretaría Técnica de Vinculación  
Mtra. María del Rocío  
Cassaigne Hernández

Editor responsable  
Lic. Verónica Benítez Escudero

Reportera  
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías  
Archivo Fotográfico del IIUNAM

Diseño  
Lic. Oscar Daniel López Marín

Corrección de estilo  
Gabriel Sánchez Domínguez

## GACETA DEL IIUNAM

GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, Año 2023, Número 158, enero - febrero 2023, es una publicación bimestral de acceso abierto, Domicilio Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Instituto de Ingeniería, Edificio 1 Fernando Hiriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, teléfono 5623-3600, Dirección electrónica de la publicación <http://www.ingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Paginas/default.aspx>. Editor responsable: Lic. María Verónica Benítez Escudero, Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2022-120913281300-109, ISSN «En trámite», Responsable de la última actualización: Lic. María Verónica Benítez Escudero, Domicilio Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de última modificación 28 de febrero 2023.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

## EL USO DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA FABRICACIÓN DE REACTORES ELECTROQUÍMICOS

ELIER SANDOVAL SÁNCHEZ,  
ZIOMARA DE LA CRUZ BARRAGÁN,  
MARGARITA MIRANDA HERNÁNDEZ,  
EDGAR MENDOZA BALDWIN

La fabricación aditiva, popularmente conocida como impresión 3D, es uno de los inventos más revolucionarios del siglo XXI. La impresión 3D permite la fabricación de complejos objetos tridimensionales con un sin fin de propósitos, que van desde obras de arte, hasta sofisticadas piezas de ingeniería. El proceso de impresión 3D comienza con el diseño del objeto que se fabricará; el diseño es digitalizado en un archivo que posee las coordenadas de la pieza en un espacio tridimensional. Posteriormente, la impresora 3D deposita capas de material de forma consecutiva hasta terminar la pieza. El material es seleccionado en función de la aplicación del objeto; actualmente, existe gran variedad de materiales que se utilizan en la impresión 3D como metales, termoplásticos (PLA, ABS, nylon, PTFE, PP, TPU, etc.), resinas fotopoliméricas, yeso y papel. En la Figura 1 se muestran diferentes tipos de impresoras.

Las principales ventajas de la impresión 3D en comparación con los procesos de fabricación tradicionales son: la reducción de tiempo, materiales y costos de manufactura; además, es posible fabricar piezas con geometrías más complejas. También, existe gran cantidad de *software* de código abierto enfocado en la impresión 3D. Gracias a los avances tecnológicos, el uso de la impresión 3D se ha popularizado en el área de la ingeniería, no sólo para la construcción de prototipos, sino para la fabricación de piezas finales de uso industrial.

Una aplicación reciente de la impresión 3D en la rama de la ingeniería, es el diseño y fabricación de reactores electroquímicos. Los reactores electroquímicos son dispositivos en los cuales existe una relación directa entre una reacción química y la energía eléctrica. Los reactores son usados en diferentes sectores, como la generación de energía, la desalinización de agua, el tratamiento de efluentes, la producción de compuestos químicos, el almacenamiento de energía, etc. Existe un tipo de reactor, en particular, donde las sustancias responsables de las reacciones electroquímicas se encuentran en fase líquida, a este tipo de reactores se les conoce como reactor electroquímico de flujo (EFR).

Diversos factores hacen de la impresión 3D una herramienta atractiva en el campo de los EFR. En las etapas iniciales de su desarrollo se utilizan modelos a escala de laboratorio para evaluar su desempeño. La mayoría de las veces es necesario modificar el diseño constantemente con la finalidad de propiciar los fenómenos hidrodinámicos deseados, las modificaciones



Figura 1. Diferentes tipos de impresoras 3D

incluyen cambios en la geometría o en los materiales con los que se fabrica el reactor. En este caso, la impresión 3D permite la fabricación de prototipos a escala de laboratorio reduciendo costos, tiempos de manufactura y con diseños dinámicos que pueden adaptarse a diferentes condiciones. A esta metodología se le conoce como prototipado rápido.



Figura 2. Metodología de prototipado rápido

En la Figura 2, se muestra un esquema que describe la metodología de prototipado rápido. El prototipado rápido debe ser un proceso continuo que consiste en un ciclo de diseño de 24 horas: diseñar durante el horario de trabajo, imprimir las piezas durante la noche y realizar experimentos al día siguiente de ser necesario, hacer modificaciones en el diseño o materiales y repetir el ciclo. Con la metodología de prototipado rápido, se pueden realizar iteraciones entre diseños digitales y prototipos físicos, para alcanzar rápidamente la fase de producción. Una vez establecido el diseño, es posible utilizar impresión 3D para la producción en serie a nivel industrial de los reactores.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se han construido diferentes tipos de reactores electroquímicos de flujo con la metodología de prototipado rápido utilizando la impresión 3D. En la Figura 3 se muestran dos reactores, a la izquierda un dispositivo de electrodiálisis (ED) y a la derecha un reactor de electrodiálisis inversa (RED). La ED es una tecnología de membranas para la separación de sales disociadas en el agua mediante la aplicación de energía eléctrica; estos reactores se utilizan principalmente para desalar agua. Por el contrario, RED es una tecnología que permite generar energía limpia a partir del movimiento de los iones disueltos en el agua salada. Es posible integrar ambas tecnologías en un sistema híbrido que permita desalar agua con un mínimo costo energético.

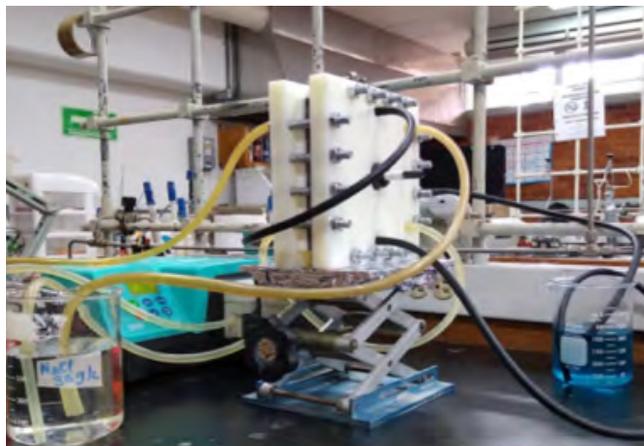
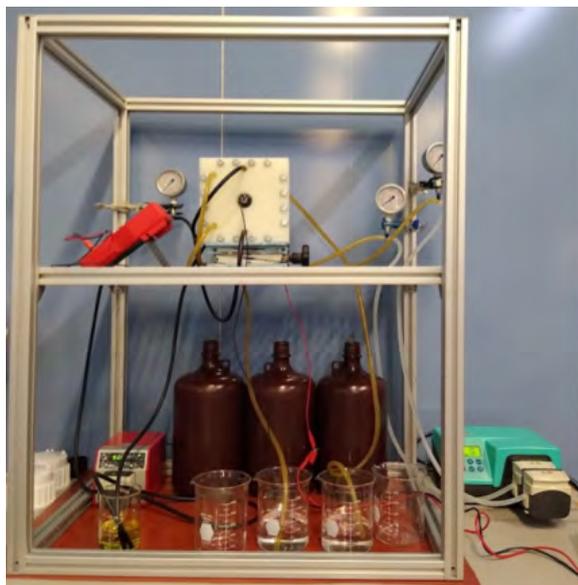


Figura 3. Reactores ED y RED

Otro reactor construido con éxito a escala de laboratorio es una batería de flujo redox (RFB) de vanadio, presentada en la Figura 4. Las RFB son un tipo de batería secundaria que permiten el almacenamiento de energía mediante la oxidación y reducción de dos electrolitos, separados a través de una membrana. La capacidad de las baterías está en función del volumen de electrolito disponible. Las RFB son de particular interés para el almacenamiento de energía renovable generada por fuentes intermitentes, como la energía solar y eólica, así como para regular la carga en el sistema de red eléctrica.

Gracias a la impresión 3D es posible imprimir reactores para cualquier aplicación. Las tecnologías de impresión 3D mejoran la metodología de manufactura de los reactores electroquímicos, lo que facilita la investigación en ingeniería de reactores. Los EFR ofrecen soluciones innovadoras basadas en economía circular para el sector energético, contribuyendo al almacenamiento y generación de energía; en el sector hídrico, revalorizando efluentes salinos de distintas industrias como la minera, geotérmica y petrolera. Actualmente, la investigación está enfocada en realizar estudios de viabilidad económica para el escalamiento de las tecnologías.



Figura 4. Batería de flujo de vanadio



## Programa de atención profesional, especializada y gratuita para la comunidad del IIUNAM

### Objetivos:

- Proporcionar ayuda para encontrar nuevas formas de organizar los pensamientos, emociones y conductas.
- Detectar y prevenir problemáticas más severas.
- Disminuir el malestar psíquico.

### La atención consiste en un proceso psicoterapéutico breve:

- 14 Sesiones
- 45 Minutos por sesión
- Servicio de lunes a viernes
- Atención mixta (presencial y virtual)

### Citas para este semestre 2023-2

Tienen vigencia durante el periodo del 30 de enero al 26 de mayo de 2023.

Solicitudes de cita:  
[espora@iingen.unam.mx](mailto:espora@iingen.unam.mx)

## APLICACIÓN DE NANOMATERIALES PARA POTENCIAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

FRANCISCO J. CERVANTES

La ciencia ha logrado avances importantes en diferentes disciplinas del conocimiento, derivado de la introducción de materiales nanométricos (1 nanómetro es la milmillonésima parte de un metro) con diversas aplicaciones en la medicina, así como en la fabricación de alimentos, dispositivos electrónicos, catalizadores químicos y muchos otros productos que demanda la sociedad creciente actual. Incluso, estos avances se han traducido en reconocimientos del más alto nivel para científicos que trabajan en el desarrollo de nanomateriales (NM), como el caso de los científicos Konstantín Novosiólov y Andréy Gueim, quienes ganaron el premio Nobel de Física 2010, por sus trabajos relacionados con el grafeno, un material constituido por carbono que forma una lámina de un átomo de espesor; el cual es 200 veces más resistente que el acero, pero cinco veces más ligero que el aluminio. Estas propiedades de los NM los hacen muy atractivos porque presentan un desempeño muy superior en las aplicaciones industriales donde son utilizados, comparado con los materiales convencionales de mayor tamaño (Pat-Espadas y Cervantes, 2018).

Los NM también han sido aplicados en distintos procesos ambientales relevantes; por ejemplo, al ser utilizados como catalizadores para acelerar la producción de biogás durante el tratamiento de aguas residuales industriales, la biodegradación de contaminantes persistentes y la eliminación de nitrógeno, entre otras aplicaciones (Cervantes y Ramírez-Montoya, 2022). A continuación, se describirán algunos temas relacionados con estos puntos que actualmente se llevan a cabo en la Unidad Académica Juriquilla, del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM).

### Aplicaciones para incrementar la producción de biogás a partir de aguas residuales complejas

El proceso de digestión anaerobia ha sido ampliamente aplicado para tratar aguas residuales municipales e industriales desde el desarrollo de reactores anaerobios de alta velocidad, cuyas primeras tecnologías se desarrollaron en la década de los setenta. A partir de entonces, su empleo se ha expandido para tratar aguas residuales en una amplia variedad de industrias. Su éxito se debe, en parte, a sus bajos costos de operación y a la producción de biogás durante el tratamiento, lo cual, representa

una gran ventaja, ya que este subproducto se puede emplear como fuente de energía renovable para diferentes propósitos dentro de estas instalaciones.

La digestión anaerobia es un proceso complejo que involucra la hidrólisis del material suspendido en las aguas, principalmente constituido por proteínas, carbohidratos y grasas, seguido de un proceso fermentativo en el que se generan compuestos más simples, como alcoholes y ácidos orgánicos. La última etapa de este proceso consiste en la conversión de estos últimos compuestos simples en metano y dióxido de carbono, principales constituyentes del biogás, por microorganismos metanogénicos.

Para que la digestión anaerobia se lleve a cabo de manera eficiente, es necesario la participación de distintos grupos microbianos que participan en una cadena trófica en secuencia, en la que los productos generados durante las primeras etapas, se convierten en los sustratos para los metanogénicos que actúan en la última instancia. No obstante, esta cadena trófica puede verse afectada por diversos aspectos ambientales que prevalecen en los reactores anaerobios, como el pH, la temperatura, presencia de compuestos inhibitorios, entre otros. Por otra parte, recientemente se ha descubierto que NM aplicados en reactores anaerobios incrementan la eficiencia de los mismos durante el tratamiento de aguas residuales complejas, como las generadas a partir de granjas porcinas o rastros (Romero *et al.*, 2020; Ramírez-Montoya *et al.*, 2022). Entre los mecanismos involucrados en la mejora promovida por los NM está el aumento en la transferencia de electrones entre las especies microbianas participantes, conocida como DIET por sus siglas en inglés (Direct Interspecies Electron Transfer).

Los efectos observados por NM en la producción de biogás por consorcios anaerobios depende fuertemente de las propiedades fisicoquímicas de los mismos. Por ejemplo, cuando se aplicó óxido de grafeno (OG) en un consorcio metanogénico se observó que las láminas de este NM cubrieron los gránulos de almidón, el cual, era el principal compuesto orgánico a degradar en el proceso, lo que provocó limitaciones de transferencia de masa en el proceso; esto se reflejó en una disminución en la producción de metano, comparado con el cultivo de control incubado sin OG (Bueno-López *et al.*, 2018). Estos efectos adversos se relacionaron con interacciones electrostáticas entre los grupos oxigenados presentes en el OG y los grupos hidroxilo del almidón. Sin embargo, estudios posteriores indicaron que cuando el OG se reduce (OGr) previo a su adición al mismo consorcio anaerobio, elimina parte de los grupos oxigenados presentes en la superficie de este NM, con lo cual se reduce la atracción hacia el almidón y evita la cobertura de sus partículas, entonces, quedan disponibles para los microorganismos para poder metabolizarlo. Además, la presencia del OGr estimuló el proceso de digestión anaerobia promoviendo

el proceso DIET entre los microorganismos presentes, con lo cual, se obtuvo un incremento en la velocidad de producción de metano (114% de aumento con respecto al control sin OGr (Bueno-López *et al.*, 2020)).

Estudios más recientes, llevados a cabo con aguas residuales sintéticas con un alto contenido de proteínas, simulando aguas residuales de un rastro, mostraron que xerogeles adicionados con NM, como el OG, incrementaron la velocidad de producción de metano (14% con respecto al control) a partir del tratamiento de estas aguas (Figura 1). Estos materiales también propiciaron que el sistema lograra eficiencia de eliminación de materia orgánica de 88%; mientras que el control sin NM sólo logró 50% de eliminación. Análisis adicionales revelaron que la presencia de NM en el sistema de tratamiento también fomentó una eliminación importante del nitrógeno amoniacal derivado de la hidrólisis de las proteínas, lo cual, se atribuye a fenómenos de adsorción y de oxidación anaerobia de amonio en el sistema adicionado con NM (Ramírez-Montoya *et al.* 2022). Estudios desarrollados por otros grupos de investigación han mostrado que NM magnéticos incrementan la producción de metano (más del triple comparado con el control) en reactores adicionados con estos NM que tratan aguas residuales municipales (Song *et al.*, 2019). Estos resultados marcan la pauta para diseñar y aplicar NM para acelerar la producción de metano durante el tratamiento de aguas residuales complejas en sistemas anaerobios.

### Aplicaciones para degradar contaminantes emergentes

Los NM también han sido aplicados en sistemas de tratamiento de aguas residuales con el propósito de degradar contaminantes emergentes. Por ejemplo, nanopartículas (NP) de paladio, inmovilizadas en un lodo granular dentro de un reactor anaerobio, catalizaron la degradación de 3-cloro-nitro-benceno (3CNB) y del medio de contraste yodado, iopromida, lo cual se tradujo en mayor eficiencia de eliminación y mayor grado de degradación de estos contaminantes, comparado con el reactor control operado sin NP de paladio (Pat-Espadas *et al.* 2016). Estas NP de paladio han mostrado también su efectividad, acelerando la biodegradación de otros contaminantes, como colorantes azo, compuestos nitro-aromáticos, entre otros (Suja *et al.*, 2014; Quan *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2014). También, se ha observado que el OG aplicado en reactores anaerobios acelera la biodegradación de contaminantes, como 3CNB, iopromida y colorantes azo, al acelerar reacciones de óxido-reducción involucradas en la conversión reductiva de estos compuestos (Colunga *et al.*, 2015; Toral-Sánchez *et al.*, 2018).

Más recientemente, NP metálicas recuperadas de un efluente metalúrgico, fueron inmovilizadas en reactores anaerobios para acelerar la biodegradación de antivirales empleados para combatir el SARS-CoV-2, como tenofovir y ribavirina.

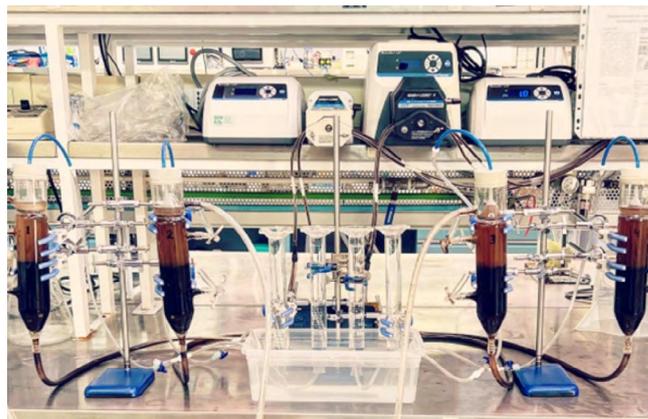


Figura 1. Bioreactores adicionados con NM para acelerar la producción de biogás a partir de aguas residuales de un rastro

La degradación de estos fármacos en los reactores control fue limitada (entre 37 y 58 %); mientras que los reactores cuya biomasa fue enriquecida con los minerales recuperados lograron entre 95 y 98% de degradación de estos contaminantes emergentes. Además, se pudo verificar por cromatografía líquida, acoplada a espectroscopia de masas (HPLC-MS), que los productos derivados de la biodegradación de estos compuestos tienen una estructura mucho más sencilla que les permite ser susceptibles a ser mineralizados en un postratamiento aerobio (Mares-Carbajal, 2022). Estos estudios muestran el potencial de aplicar NM para acelerar la biodegradación de contaminantes emergentes, lo cual es relevante, ya que podría sentar las bases para establecer sistemas de tratamiento eficientes para tratar efluentes derivados de hospitales y de la industria farmacéutica.

### Aplicaciones para eliminar nitrógeno amoniacal de aguas residuales

El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) es la forma nitrogenada más abundante en la mayoría de las aguas residuales; su presencia en los ecosistemas causa toxicidad hacia diferentes especies acuáticas, eutrofización, pérdida de biodiversidad, acidificación, entre otros problemas ambientales. Por tal motivo, es imperativo eliminar este contaminante de aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos de agua receptores. Además, es importante mencionar que muchos efluentes industriales y pecuarios contienen un alto contenido de nitrógeno amoniacal, como los derivados de granjas porcinas, enlatadoras de pescados y mariscos, así como rastros.

Los procesos convencionales que típicamente se aplican para eliminar el amonio de aguas residuales incluyen reactores aerobios y anóxicos en los que se llevan a cabo los procesos de nitrificación y desnitrificación (Chan-Pacheco *et al.* 2021). La nitrificación, en primer lugar, consiste en un proceso micro-

biano aerobio en el que el amonio es oxidado a nitrito y nitrato. Por su parte, la desnitrificación consiste en un proceso microbiano en el que el nitrito y nitrato son convertidos a nitrógeno molecular ( $N_2$ ) en condiciones anóxicas. Estos procesos eran los únicos aplicados con este fin hasta finales del siglo pasado. Recientemente, se descubrió un proceso novedoso en el que microorganismos anaerobios oxidan al amonio a  $N_2$  empleando al nitrito como aceptor de electrones. Este proceso, denominado anammox (por sus siglas en inglés, anaerobic ammonium oxidation), significó un gran avance para el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales, capaces de eliminar nitrógeno amoniacal, ya que disminuye significativamente los costos operativos.

Estudios recientes revelaron también que el proceso anammox puede ser sustentado con aceptores de electrones alternos al nitrito, como sulfato, óxidos de Fe (III) y Mn (IV), así como materiales de carbono como OG (Rios-Del Toro *et al.* 2018a; b; Shaw *et al.*, 2020). Al respecto, los NM basados en el OG y en NP de Fe (III) y Mn (IV) podrían ser considerados para potenciales aplicaciones del proceso anammox para tratar efluentes ricos en amonio, como los sobrenadantes de digestores anaerobios o efluentes acuícolas. Una forma atractiva de aplicar estos NM con este propósito sería inmovilizarlos en biorreactores o en celdas de combustible microbianas en los que puedan actuar como aceptores de electrones para oxidar el amonio a  $N_2$ . Ésta es otra línea de investigación que actualmente se desarrolla en la Unidad Académica Juriquilla del II-UNAM.

## Conclusiones

La aplicación de NM en sistemas de aguas residuales tiene un gran potencial para mejorar procesos anaerobios y aumentar su producción de biogás, así como en sistemas destinados a eliminar contaminantes emergentes y nitrógeno amoniacal. Esta línea de investigación es promisoría, a futuro, se deberán explorar estrategias que permitan inmovilizar NM en sistemas de tratamiento de aguas con el fin de aplicarlos con estos propósitos a gran escala. |

## Agradecimientos

El autor agradece el financiamiento otorgado por el CONACyT a través del proyecto 682328 del programa Ciencia de Frontera y de la DGAPA proyecto PAPIIT TA200122.

## Referencias



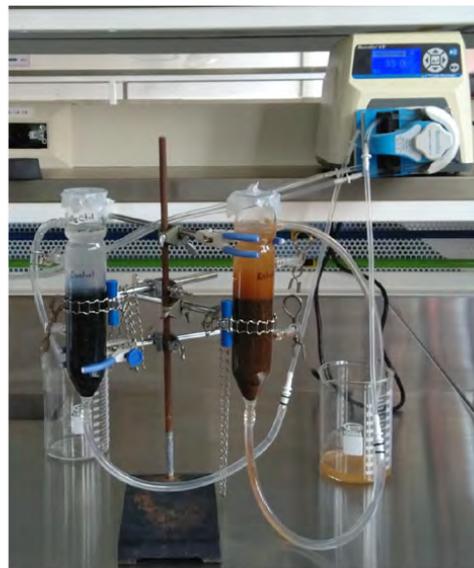
[http://www.iingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/marzo-abril\\_2023/Paginas/Aplicaciondenanomaterialesparatratamientodeaguas.aspx](http://www.iingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/marzo-abril_2023/Paginas/Aplicaciondenanomaterialesparatratamientodeaguas.aspx)



Efluente metalúrgico



Minerales recuperados



Aplicación de minerales en la biodegradación de antivirales

Figura 2. Aplicación de minerales recuperados de un efluente metalúrgico en la biodegradación de antivirales empleados para combatir el SARS-CoV-2

## TÉCNICAS DE SENSADO CON FIBRAS ÓPTICAS PARA MONITOREO DISTRIBUIDO

DANIEL ENRIQUE CEBALLOS HERRERA

La Ciudad de México tiene cientos de kilómetros de cables de fibras ópticas instaladas a lo largo de caminos, puentes y túneles del metro, los cuales, pueden ser usados no solamente para transmitir información, sino también, para realizar un monitoreo continuo de las vibraciones ejercidas sobre estos cables de fibras en diferentes puntos y en forma distribuida. Dichas vibraciones pueden ser causadas por tráfico vehicular, por vibraciones presentes en las líneas del metro y por eventos sísmicos; éstas se pueden detectar en zonas donde se encuentre instalada la fibra óptica. Asimismo, se pueden instalar cables de fibra óptica a lo largo de acueductos y oleoductos de tal forma que, si se origina una vibración en algún punto del ducto causado por una fractura o por un cambio en el flujo o densidad del líquido transportado en su interior, estas vibraciones se pueden transmitir al cable de fibra óptica, entonces, usando la fibra como sensor, se pueden detectar la amplitud y la frecuencia de la vibración, así como su posición con resoluciones del orden de un metro. En este sentido, toda la extensión de la fibra óptica se utiliza para detectar vibraciones en forma distribuida. Actualmente, estos tipos de sistemas de monitoreo provienen del extranjero con un alto costo. Debido a su importancia, esta tecnología está siendo desarrollada en nuestros laboratorios añadiendo innovaciones que permitan obtener mayor sensibilidad en la detección.

La fibra óptica consiste de un delgado hilo de vidrio con un diámetro de 125 micrómetros (ver Fig. 1a), en cuyo interior se

transmite luz láser que lleva consigo información a alta velocidad, del orden de 100 Gb/s. Es natural que estas fibras ópticas se protejan con cables especiales de plástico para que los hilos de fibra óptica soporten la intemperie y se evite su ruptura. Estos cables protectores pueden agrupar varios hilos de fibra óptica tal como se observa en la Fig. 1b.

La luz láser que se transmite en el interior de la fibra óptica sufre reflexiones, variaciones en amplitud y fase, así como cambios en polarización cuando se aplica una perturbación externa en algún punto sobre la fibra óptica. En este sentido, cuando se monitorean las variaciones que sufre la luz guiada en el interior de la fibra, se puede detectar la magnitud y la posición de las perturbaciones externas. Estas perturbaciones externas pueden ser vibraciones y cambios de temperatura. En este sentido, las vibraciones estiran y comprimen el cable de fibra óptica en tiempo real, produciendo deformaciones que modifican la densidad del vidrio de la fibra óptica y reflejan un porcentaje de la luz láser que se transmite a lo largo de la fibra actuando de esta manera como un radar láser. Analizando estas reflexiones de luz láser, se puede determinar la frecuencia, amplitud y localización de la vibración ejercida sobre el enlace de fibra óptica.

En este punto, es importante mencionar que hay diferentes tipos de técnicas para detectar vibraciones en forma distribuida a lo largo de cables de fibras ópticas. En particular, en el laboratorio de Telecomunicaciones del Instituto nos encontramos desarrollando tres técnicas, la primera basada en la transmisión de pulsos de luz láser y analizando la reflexión de estos pulsos de luz causados por una perturbación externa. Esta primera técnica se denomina OTDR sensible a la fase, donde OTDR son las siglas en inglés de Optical Time Domain Reflectometer.

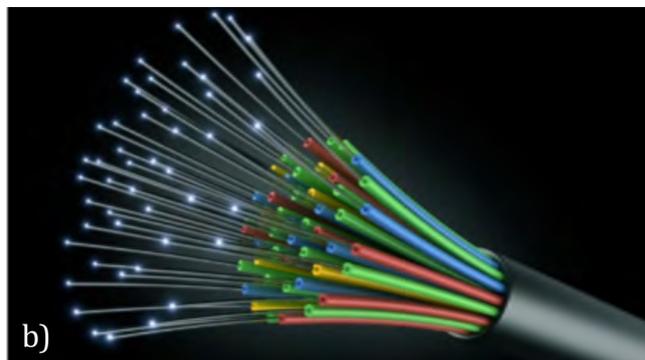
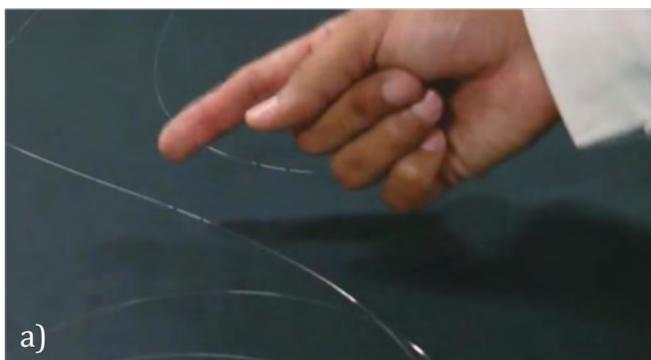


Figura 1. a) hilo de fibra óptica de vidrio, y b) cable protector agrupando varios hilos de fibra óptica

La segunda técnica utiliza luz láser emitida en forma continua y un interferómetro óptico conocido como Mach-Zehnder. La tercera técnica utiliza también luz láser con emisión continua y una sección de fibra óptica dopada con iones de Erblio, se analizan los cambios de la fluorescencia emitida por estos iones dentro de la fibra cuando estos son excitados. A continuación, se describirán cada una de estas técnicas.

Con respecto a la primera técnica, se emplean pulsos de luz láser en la transmisión y se analizan sus reflexiones a lo largo de una red de fibra óptica, tal como se indica en la Fig. 2. Estas reflexiones de luz son causadas por diferentes mecanismos lineales y no lineales producidos por la interacción de los pulsos de luz transmitidos a través de la fibra con el material con que es fabricada la fibra óptica. Entre estos mecanismos físicos tenemos el esparcimiento Rayleigh, el esparcimiento Brillouin y el esparcimiento Raman. En especial, nosotros estamos enfocados en analizar las reflexiones de pulsos de luz causados por esparcimiento Rayleigh cuyo fenómeno se encuentra ejemplificado en la Fig. 3. Lo anterior se debe a que este tipo de reflexiones se producen con mayor facilidad ante perturbaciones dinámicas en el tiempo como las vibraciones acústicas. En algún punto de la fibra, estos

pulsos de luz reflejados por esparcimiento Rayleigh pueden modificar su amplitud y fase cuando se aplica un cambio de presión o temperatura en dicho punto de la fibra. La posición donde se ejerce la perturbación, también, puede ser conocida midiendo el tiempo que ha transcurrido desde que se ha enviado un pulso de luz a través de la fibra óptica hasta que el reflejo del pulso de luz es detectado de vuelta, considerando también la velocidad del pulso de luz en el medio. En general, estos sistemas de sensado distribuido requieren fuentes de luz basados en láseres altamente coherentes y técnicas de modulación externa para generar secuencias de pulsos de luz con características específicas. El ancho de estos pulsos de luz es entre 10 y 100ns, este ancho de pulso también, define la resolución espacial con que es detectada una perturbación a lo largo de la fibra. En este sentido, podemos mencionar como ejemplo una resolución de 1m para pulsos de 10ns y una resolución de 10m para pulsos de 100ns respectivamente. Por otro lado, el sistema de detección en estos sensores también es un factor importante, donde no sólo consiste en medir la amplitud de los pulsos reflejados, sino también la fase de éstos, implicando con ello, el empleo de técnicas de recepción coherentes utilizadas en comunicaciones ópticas.

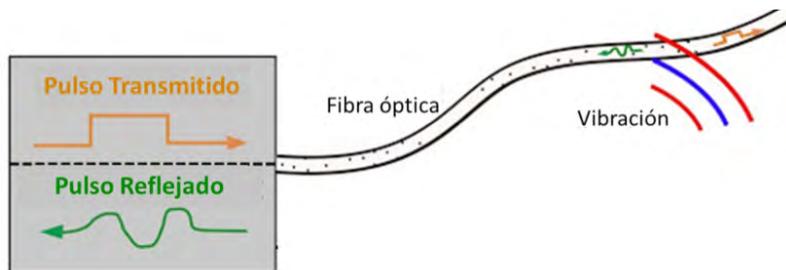


Figura 2. Primera técnica para medir vibraciones basados en pulsos de luz

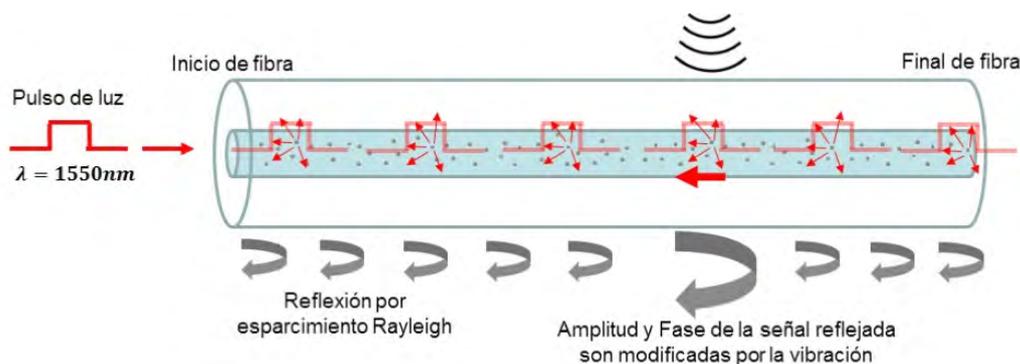


Figura 3. Reflexiones de pulsos de luz causados por esparcimiento Rayleigh.

Estas reflexiones se producen a lo largo de toda la fibra y son causadas por imperfecciones y aglomeraciones moleculares

Con respecto a la segunda técnica basada en un interferómetro óptico denominado Mach-Zehnder, se utiliza una fuente de luz láser continua en comparación con la técnica anterior que utiliza luz pulsada. En particular, para esta técnica basada en interferómetros ópticos como el mostrado en la Fig. 4, se requiere el uso de un par de hilos de fibra óptica que permita transmitir en un sentido horario (clockwise - CW) dos señales ópticas continuas en forma paralela (indicados con color violeta en la Fig. 4), que también permita transmitir en sentido anti-horario (counterclockwise - CCW) dos señales ópticas continuas en forma paralela (indicados con color verde en la misma Fig. 4). En el Laboratorio de Telecomunicaciones se cuenta con enlaces de fibra óptica *full dúplex* de 21 km, lo que permite realizar estos tipos de sistemas de detección empleando longitudes de fibra óptica similares a las instaladas en Ciudad de México.

De acuerdo a la Fig. 4, las dos señales ópticas en sentido horario (CW), después de transmitirse en forma paralela por 21 km de fibra óptica, se combinan al final a través de un acoplador/divisor 3x3, generando una interferencia óptica denominada "señal de interferencia CW". Lo mismo ocurre con las dos señales ópticas continuas que se transmiten en sentido anti-horario (CCW), generando al final una interferencia óptica denominada "señal de interferencia CCW". En este sistema cuando se genera una vibración en algún punto del enlace de fibra *full-duplex*, por ejemplo, en el kilómetro 3 del enlace como se observa en la Fig. 4, es notorio que las dos señales que

viajan en sentido horario (CW) detectarán primero la vibración en comparación a las dos señales que viajan en sentido anti-horario (CCW), lo anterior, hace que la señal de interferencia CW empiece a tener cambios en el receptor antes que lo haga la señal de interferencia CCW, produciendo un desfase en tiempo el cual se utiliza para ubicar la posición de la vibración respectivamente. En este tipo de técnicas interferométricas es muy importante contar con láseres altamente coherentes.

Finalmente, con respecto a la tercera técnica de detección de vibraciones, se utiliza una longitud de fibra óptica de 150 metros, donde en una pequeña sección de 2 metros se tiene una fibra óptica dopada con iones de Erblio, tal como se puede visualizar en la Fig. 5. Toda la sección de fibra óptica se le introduce luz láser continua con una longitud de onda de 980nm que es absorbida por los iones de Erblio para generar una fluorescencia con longitudes de onda alrededor de 1550nm. Esta fluorescencia es contenida dentro de una cavidad resonante formada por los 150 metros de fibra óptica y los cortes planos en los extremos de la fibra óptica; como resultado, se produce una emisión láser a 1550nm siendo dicha emisión dependiente de las pérdidas que hay dentro de la cavidad. Dichas pérdidas pueden ser suministradas a través de la aplicación de una vibración en algún punto de la fibra como se indica en la Fig. 5. Por tanto, a través del monitoreo de las variaciones de potencia de la emisión láser que se generó a partir de la fluorescencia de los iones de Erblio, se pueden determinar las características de la vibración ejercida sobre la fibra óptica.

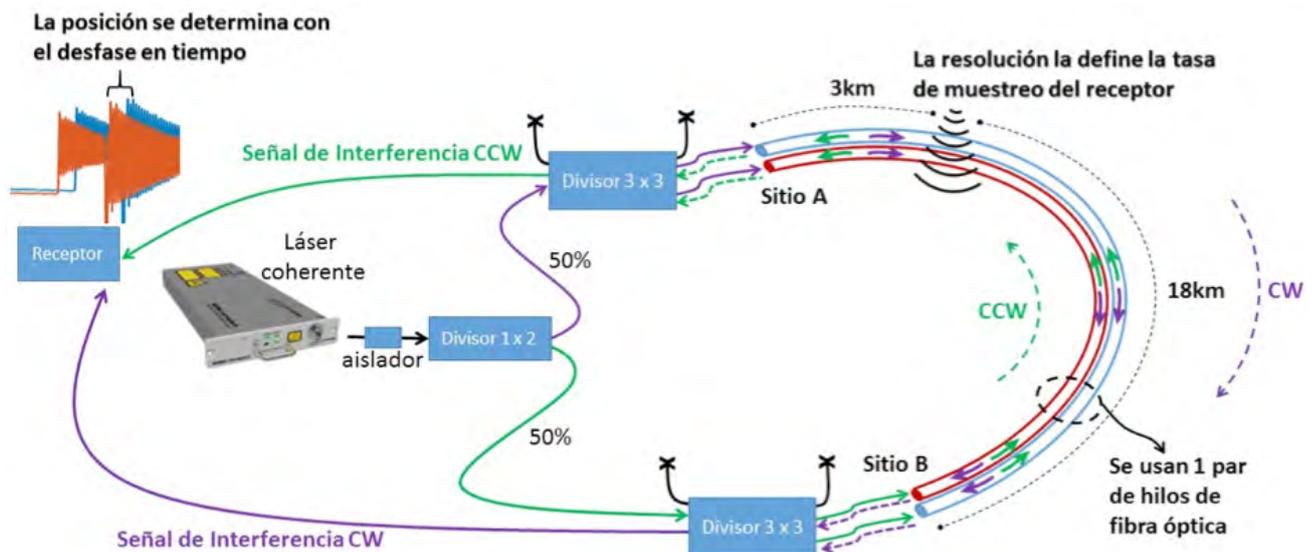


Figura 4. Segunda técnica para medir vibraciones usando luz láser continua y un interferómetro Mach-Zehnder

Se monitorea la emisión de luz láser a 1550nm con vibraciones dentro de la cavidad resonante.

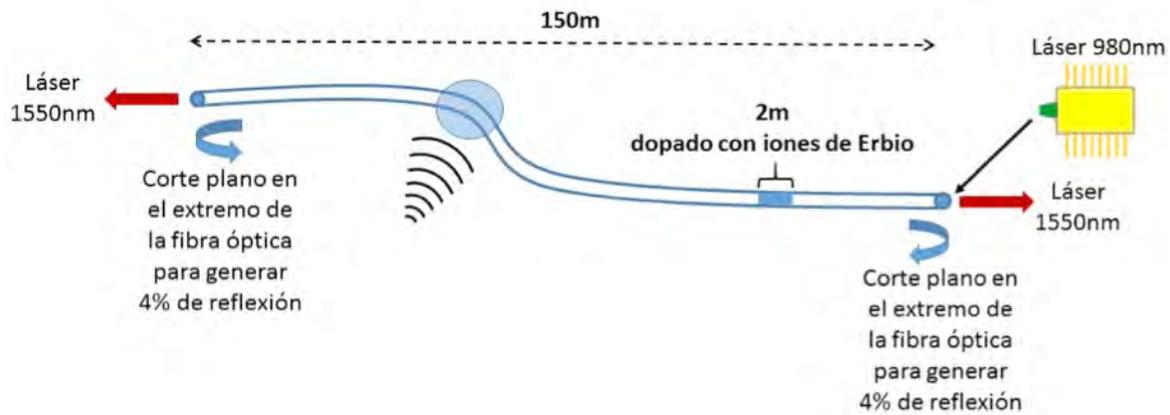


Figura 5. Tercera técnica para medir vibraciones usando la fluorescencia de fibras ópticas dopadas con iones de Erbio

Actualmente, estos sistemas se encuentran implementados en el laboratorio de Telecomunicaciones y se encuentran en una etapa de investigación para aplicarlos tanto en la detección como en el monitoreo de vibraciones ocurridas en ductos de agua y gas, que puedan generar fugas y rupturas en sus sistemas de distribución,

así como también en aplicaciones de monitoreo sísmico y distribución de vibraciones causadas por tráfico vehicular, con ello podemos brindar apoyo a las investigaciones que se realizan en las diferentes coordinaciones del Instituto de Ingeniería. Estos experimentos se realizan bajo el marco del proyecto PAPIIT IN104720.

# NOTIINGEN

## ¿Conoces NOTIINGEN?

Es el noticiero del Instituto de Ingeniería presentado por Fernanda Cisneros, donde encontrarás la información más relevante del mundo de la ciencia y la tecnología que se desarrolla en la UNAM.

**Encuétralo cada viernes en nuestras redes sociales**



## SENSORES ACÚSTICOS DISTRIBUIDOS DAS: UNA TECNOLOGÍA EMERGENTE

MATHIEU PERTON

Y FRANCISCO J. SÁNCHEZ SESMA

Los sensores acústicos distribuidos o sistema DAS (por las siglas en inglés de *Distributed Acoustic Sensing*), utilizado recientemente para estudiar la criósfera, el fondo marino y los volcanes, constituye una tecnología emergente que transforma un cable de fibra óptica en un arreglo denso de sensores sísmicos (ver Figura 1). Lo fantástico es que el cable mismo es el detector del movimiento. Para recabar la información debe considerarse que el DAS se compone de una fuente láser impulsiva, que emite de manera regular pequeños pulsos de luz (en la sección 2 se describe este funcionamiento en detalle) y un dispositivo interrogador (un sensor opto electrónico) que analiza la luz que regresa debida a reflexiones ópticas a lo largo de la fibra. Cuando una onda elástica (perturbación transitoria en un sólido) o acústica (perturbación transitoria en un fluido) se propaga en una porción de la fibra, esta última se deforma, consecuentemente, cambia la fase óptica entre el principio y el final del pulso de luz. El resultado es una interferencia óptica dentro del

pulso de luz que implica un cambio de fase óptica directamente proporcional a la deformación de la fibra. La información obtenida también puede ser la tasa de deformación, dependiendo de ajustes de la medición óptica.

Esta tecnología presenta varias ventajas: 1) permite una medición económica de alta densidad en algunos metros, en varias decenas o centenas de kilómetros (como se discute en la sección 3); 2) las mediciones son realizadas espacial y temporalmente de manera continua; además, son accesibles en tiempo real con una tasa de funcionamiento de casi 100% (a diferencia de los sismómetros no permanentes que generalmente funcionan menos de 80% del tiempo instalado); 3) el DAS permite mediciones en lugares donde no se podrían dejar sismómetros convencionales: cerca de lugares con altas temperaturas, con altas presiones (p. ej. en el fondo del mar), donde no hay fuente de alimentación eléctrica o exposición al sol, excluyendo el uso de paneles solares, donde no se recibe señal GPS para sincronizar los aparatos, en ciudades o lugares con mucha inseguridad. Existe también un inconveniente mayor, la medición es de un solo componente: la deformación a lo largo de la fibra. La deformación es un tensor de seis componentes independientes, se mide entonces un solo grado de libertad sobre seis. Comparado con muchos sismómetros de velocidad que miden tres grados de libertad de tres, la técnica DAS no permite el análisis de la polaridad de las ondas y tiene menos sensibilidad al efecto de las ondas según sus incidencias.

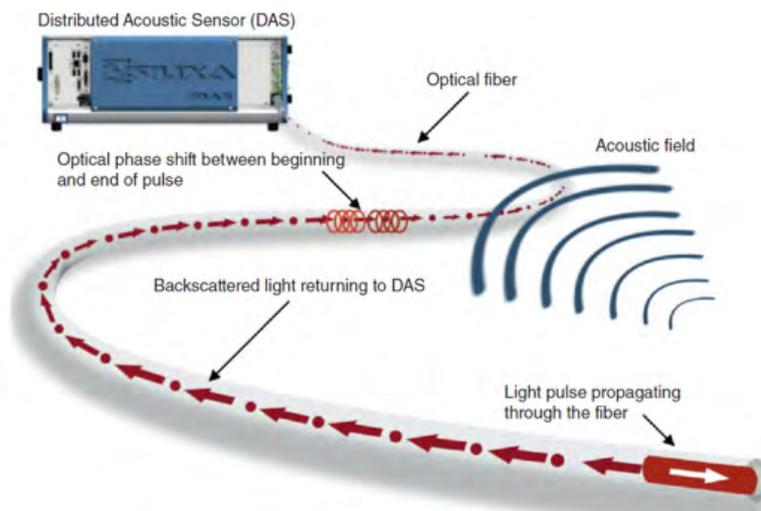


Figura 1. Principio de funcionamiento del DAS (tomado de Shatalin *et al.*, 2021). El DAS se compone de un láser y de un interrogador. El láser envía un pulso de luz que rebota sobre pequeñas imperfecciones; cuando el pulso ha rebotado regresa al interrogador lo que determina la deformación a lo largo de la fibra óptica.

No obstante, los beneficios que aporta la abundancia de mediciones compensan los problemas, lo que ha permitido numerosas aplicaciones. Por ejemplo, es posible obtener con DAS imágenes del subsuelo con una precisión sin precedentes, además de hacer el monitoreo de microsismicidad en los sitios de producción de energía o de secuestro de bióxido de carbono; esto es, dentro de los mismos pozos. La primera etapa reportada en la literatura fue de validar la técnica y comprender mejor la respuesta del sistema: En efecto, los arreglos DAS han registrado microtemores, terremotos regionales, telesismos y señales en puntos críticos de infraestructura, tal y como se hace con sismómetros tradicionales. Se demostró que, a pesar de medir diferentes cantidades, se podían integrar espacialmente las deformaciones para comparar con uno de los componentes de la velocidad (la derivada del desplazamiento de una partícula en un punto dado). Ese movimiento usualmente se registra con sensores tradicionales. Además, el análisis de estos campos de ondas está permitiendo estudiar terremotos donde los sensores tradicionales son escasos. También, se benefician los estudios de identificación de estructuras geológicas, de fallas y de imágenes del subsuelo. La técnica DAS se ha utilizado recientemente para estudiar la criósfera, el fondo marino y los volcanes.

### ¿Cómo funciona el DAS?

Un láser impulsivo es un láser diferente al láser continuo que ocupamos en tareas cotidianas (lectura de CD, escanear código de barras, etc.). Este láser manda pulsos con una alta tasa de repetición (generalmente del orden del kHz, o sea, miles de pulsos por segundo). El pulso es un tren continuo de luz coherente durante algunos nanosegundos ( $\approx 10\text{ns} \rightarrow 10\text{e-9s}$ ), lo que corresponde a un tren de luz que mide aproximadamente dos metros de largo dentro de la fibra. Aunque las fibras ópticas tendrían que transmitir la luz de manera perfecta, existe en realidad una cantidad infinita de imperfecciones adentro del material que la constituye (vidrio de sílice). Como la longitud de onda del láser es generalmente del orden del micrómetro ( $1\ \mu\text{m} = 10\text{e-6m}$ ), esto es ya en la banda del infrarrojo, y es de un tamaño del mismo orden que las imperfecciones, la luz rebota en éstas. El rebote es elástico (desde un punto de vista óptico), lo que significa que la luz no cambia de longitud de onda. Así, el pulso de luz no se transmite 100% y una muy pequeña parte se refleja en las imperfecciones, la cual, regresa hacia el DAS donde es analizado. Por su parte, el diámetro de las fibras es aproximadamente del orden de  $10\ \mu\text{m}$ , lo que resulta en muchas imperfecciones a través de una misma sección de la fibra. Consecuentemente, las reflexiones ocurren continuamente a lo largo de la fibra de manera homogénea, de tal manera que, permite medir el movimiento de la fibra en toda su extensión. Debido a lo anterior y a que el pulso de luz mide aproximadamente tres metros, las reflexiones de luz se traslapan y se forma lo que se conoce como “scattering de Rayleigh”. Consecuentemente, a pesar de que se envía un pulso de luz solamente, al interrogador regresa un haz de luz continua.

La medición consiste en comparar la luz que regresa con una referencia, más específicamente los cambios de fases entre dos rebotes separados por una longitud llamada de “gauge”, o sea, un retraso óptico. Existen varias maneras de realizar esta medición, en tiempo o en frecuencia (Shatalin *et al.*, 2021), pero todas dependen de la distancia de gauge. Así, no se mide la deformación en una posición puntual, sino en un segmento de la fibra que equivale a la longitud de gauge, que es del orden del metro o de decenas de metros. Este factor determina tanto la relación señal-ruido como la resolución espacial de las mediciones. Como cada paquete de luz que regresa al interrogador ha efectuado una ida y vuelta hasta una porción de la fibra, es fácil determinar la posición de esa porción de fibra a partir del tiempo de ida y vuelta, ya que la velocidad de la luz es constante.

El principio físico usado en el DAS es un análisis de fase de reflectometría óptica en el dominio temporal (phase-OTDR por optical time domain reflectometry). Se le denominó DAS porque permite una medición distribuida a lo largo de la fibra y porque los primeros experimentos se llevaron a cabo en fluidos en los que se propagan ondas acústicas. No obstante, también se le puede conocer como “Distributed Vibration Sensing” (DVS), o sea, sensor de vibración distribuido, para aplicaciones de sismología.

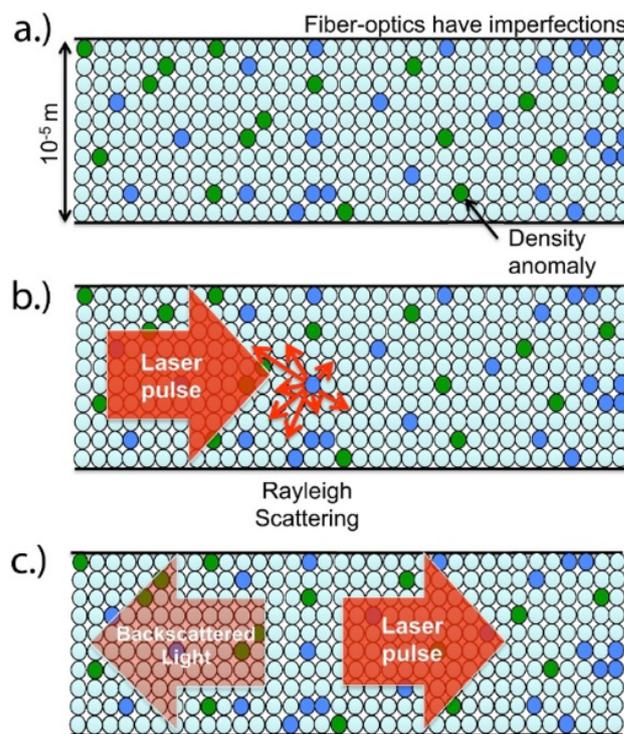


Figura 2. Principio de los rebotes de luz en la fibra óptica (tomado de Lindsey *et al.*, 2020). La mayoría de la luz sigue su camino, pero una pequeña cantidad regresa hacia el interrogador con la información de un cambio de fase

## El experimento en la CDMX

Desde el mes de mayo de 2022, estamos utilizando un DAS con las fibras ópticas que unen las tres super computadoras universitarias de CDMX: de la UNAM, del IPN-Cinvestav y de la UAM, las cuales, constituyen “la Delta Metropolitana” (vea Figura 3). Las fibras están puestas a un costado de las vías del metro por lo que miden deformaciones, principalmente en profundidad, a unos cuantos metros debajo de la superficie. Cuando se instala una fibra óptica, en realidad se instala un cable que lleva decenas de fibras, ya que el precio de la fibra es insignificante con respecto al costo de la instalación. La mayoría de esas fibras esperan así un uso a futuro y se denominan como fibras oscuras (dark fiber). Entonces, usamos unas de esas fibras, sin agregar costo alguno al experimento. Una vez que se acabe el experimento, las fibras quedan intactas, listas para otro uso. El experimento durará un poco más que un año. Durante la mayor parte del tiempo, hemos realizado el experimento con la fibra que sale de la DGTIC al Cinvestav. También, hemos empezado a utilizarlo entre la UNAM y la UAM.

Los objetivos principales son: 1) realizar una tomografía de ruido ambiental para ver los cambios de propiedades en el tiempo; 2) estudiar la atenuación de las ondas en el valle para examinar los efectos lineales y no lineales de los sismos.

El sismo del 19 de septiembre 2022 permitió ampliar nuestro entendimiento de la respuesta sísmica. Presentamos en la Figura 4 las mediciones de las deformaciones durante el sismo que sacudió la CDMX. También, se detectaron varios micro sismos.

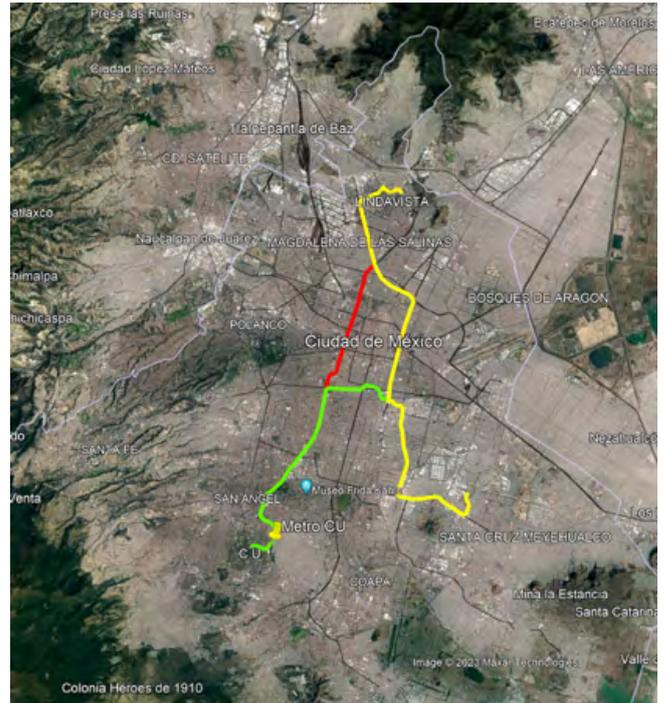


Figura 3. Mapa de las fibras que constituyen la Delta Metropolitana

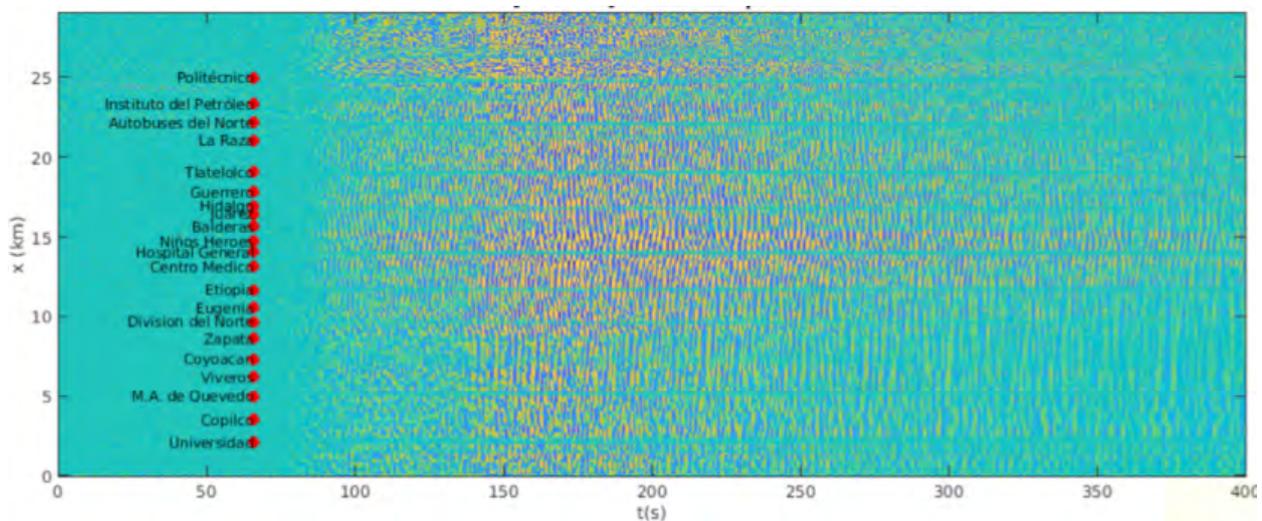


Figura 4. Deformaciones durante el sismo del 19 de septiembre de 2022

## ¿Precios?

El equipo DAS que tenemos ahora que nos ha sido facilitado en préstamo por la Universidad de Michigan gracias a las gestiones del Dr. Zack Spica, profesor de esa universidad, tiene un valor de 125,000 dólares. También, se tiene que considerar un servidor NAS (Network-Attached Storage-almacenamiento conectado a la red) que sirve para almacenar la enorme cantidad de datos generados, con un costo de 25,000 dólares.

Por otra parte, un sismómetro de banda ancha de tres componentes tiene un costo de 10,000 dólares. A éste, hay que agregarle un GPS, una batería, un disco para almacenar los datos y, sobre todo, un costo de instalación y mantenimiento que podría ascender a 100 dólares por mes. El total por un año de medición es de 12,000 dólares.

En nuestro experimento DAS, se tienen más de dos mil puntos de medición. Un experimento equivalente con sismómetros

tradicionales tendría un costo de 160 veces mayor. Además, las mediciones con sismógrafos suelen tener interrupciones debido a fallas de alimentación eléctrica o de GPS. En comparación, no hemos tenido, hasta el momento, una interrupción del DAS.

## Referencias

Lindsey, N. J.; Rademacher, H. y Ajo-Franklin, J. B. (2020). On the Broadband Instrument Response of Fiber-Optic DAS Arrays. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(2), e2019JB018145. <https://doi.org/10.1029/2019JB018145>.

Shatalin, S.; Parker, T. y Farhadiroushan, M. (2021). High Definition Seismic and Microseismic Data Acquisition Using Distributed and Engineered Fiber Optic Acoustic Sensors. 1-32. <https://doi.org/10.1002/9781119521808.CH1>.

# CARTÓN

## Reduce, Reusa, Recicla

Ayuda a extender el ciclo de vida del cartón reduciendo el impacto ambiental forestal

- 1 Pliega bien las cajas y si son varias y voluminosas amárralas y si son pequeñas mételas al contenedor.
- 2 Las cajas de cartón tienen que estar desarmadas y amarradas para un mejor acomodo y transporte.

Destapa      Despliega      Amarra

Los contenedores para colecta de cartón se encuentran en las escaleras del edificio 12 y 11 y en el Almacén de la Torre de Ingeniería.

CUANDO SE LLENE EL CONTENEDOR, FAVOR DE REPORTARLO AL CORREO  
RChavezP@iingen.unam.mx o CSantosV@iingen.unam.mx

UNÁMONOS POR UN MEJOR PLANETA.  
COLOCA AQUÍ EL CARTÓN QUE NO PUEDAS VOLVER A USAR ÚNICAMENTE RECICLAR

GRUPO RAMI  
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM  
RESPONSABILIDAD AMBIENTAL

## ROSA MARÍA RAMÍREZ ZAMORA TERCER INFORME

Fortalecer las acciones para incrementar la vinculación con el sector gubernamental, con el sector privado y con otras universidades, tanto nacionales como del extranjero para desarrollar proyectos conjuntos, es uno de los objetivos primordiales de esta entidad universitaria. Muestra de ello, son las 36 propuestas de proyectos que se enviaron a la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación del gobierno de CDMX, afirmó la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del IIUNAM durante la presentación de su 3<sup>er</sup> informe de actividades.

El Instituto de Ingeniería está integrado por 109 investigadores, 101 Técnicos académicos (TA), 181 administrativos y 892 estudiantes, lo que equivale a 81% de estudiantes, 10% de investigadores y 9% de técnicos académicos. De los investigadores, 78% son hombres y 22% son mujeres; de los TA, 69% son hombres y 31% son mujeres; de los estudiantes 65% son hombres y 35% son mujeres. La edad promedio de los académicos es de 58 años para los investigadores y de 56 para los TA, lo que hace pensar en la renovación de la planta académica a partir del programa de retiro voluntario.

Durante 2022, -agregó-, se llevaron a cabo varias acciones en relación a la igualdad de género como son las pláticas contra la violencia, programas de inclusión sin importar el sexo y cultivar los valores éticos. También, se implantó el programa Espora de apoyo psicológico, mismo que inició durante la pandemia.

En cuanto al COVID, se dio seguimiento a setenta casos, se impartieron pláticas informativas y se realizaron recorridos de verificación; se establecieron lineamientos y protocolos a través de la Comisión Especial de Atención a Asuntos Covid-19. Asimismo, se implantó un Plan integral de residuos sólidos y se ha trabajado en el consumo responsable apoyado a través de ECOTIPS. Además, se llevó a cabo la 1<sup>er</sup> Fiesta Ambiental en la que participaron académicos y personal de base.



La vinculación con la industria ha aumentado, se formalizaron 87 convenios, es decir, los ingresos se han incrementado, las finanzas del II están sanas. Tenemos 48 proyectos PAPIIT, PAPIME y dos más de CONACyT.

Se convocó para la formación de los Grupos Interdisciplinarios de Investigación (GII) con el fin de complementar capacidades; de ellos, se aprobaron cuatro proyectos: tres de ellos del eje temático Nexo-agua-energía, Ambiente y Seguridad alimentaria bajo la dirección de los doctores Rodolfo Silva, María Teresa Orta Ledesma e Iván Moreno; el cuarto es de ciudades inteligentes que dirige el Dr. José Luis Fernández Zayas.

También, estuvimos en la Cámara de Diputados para sensibilizar a los diputados en relación a la asignación de presupuesto en cuestiones de agua. Con la empresa IUSA se pretende firmar un convenio junto con CEMEX Centro de Innovación y Desarrollo; presentamos una lista de proyectos en las áreas de estructuras, geotecnia, hidráulica, ambiental y electromecánica.

Este año se publicaron 265 artículos con factor de impacto JIF. La producción indizada per cápita es de 2.48 y en revistas JCR 2.07, lo que representa un incremento de 10% en relación a los años anteriores.

En cuanto a los alumnos graduados por investigador, en nivel licenciatura equivale a 0.73, en nivel maestría 0.76 y en nivel doctorado 0.23, es decir, seguimos dentro de los números de eficiencia terminal. Clases frente a grupo el promedio por investigador es de 1.74.

Los proyectos y el trabajo desarrollado a lo largo de 2022 son una muestra de las capacidades de nuestro personal. Agradecemos a todos ustedes y los felicito por un año fructífero. |

## REUNIÓN INFORMATIVA ANUAL 2023

Bienvenidos a nuestra tradicional Reunión Informativa Anual (RIA). Desafortunadamente, no fue posible conjuntar presentaciones compartidas de diversas subdirecciones a fin de conformar alianzas, apoyos o colaboraciones. En la Subdirección de Electromecánica y Ambiental, eventualmente, hay afinidad o complementariedad de temas, pero, lo ideal sería que tratáramos desde la administración, que los académicos de este gran Instituto con temas afines colaboremos unos con otros. El propósito de estas reuniones es presenciar los avances de los proyectos que se terminaron el año pasado, expresó la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

En esta ocasión, la RIA se llevó a cabo a distancia para facilitar a los miembros de las Unidades Académicas Foráneas su participación. A lo largo de estos tres días, tuvimos la oportunidad de conocer las investigaciones que se están desarrollando en el IUNAM, que son de la más alta calidad, espero que disfruten e identifiquen oportunidades de colaboración.

Al término de la sesión del primer día, el Dr. Germán Buitrón Méndez, subdirector de Unidades Académicas Foráneas, comentó que los doce trabajos presentados de las subdirecciones de Hidráulica y Ambiental, así como de las Sedes Académicas Foráneas fueron muy interesantes.

En particular -dijo-, vimos cómo se hizo el proyecto de la gestión de residuos en las tres sedes del Instituto identificando el reciclado y las mejoras aplicadas en Ciudad Universitaria. En el ámbito de tratamiento de aguas, se presentaron dos temas para la eliminación de contaminantes emergentes como los fármacos usados durante la pandemia de la Covid-19. Destaca el uso de residuos de la industria metalúrgica y recuperación de metales de la industria metal-mecánica para ser utilizados como catalizadores para mejorar el tratamiento de agua; dos aproximaciones muy interesantes, una anaerobia y otra por procesos de oxidación avanzada. También, se vio la producción de químicos de alto valor agregado durante el tratamiento de aguas, que hace más rentable el proceso de tratamiento, sobre todo de las aguas agroindustriales que tienen alta carga orgánica. Se habló de la caracterización y remediación de suelos kársticos, sobre todo afectados por derrames a hidrocarburos.

En el área de Hidráulica se presentaron dos trabajos, uno donde se destacó la importancia de la red de monitoreo de la humedad del suelo y su relación que tiene para la producción de alimentos. Otros temas fueron 1) la evaluación de tres modelos para el control de avenidas en Tabasco derivado

de las presas; 2) modelos matemáticos para entender lo que está pasando y la resistencia microbiana; y 3) antibióticos presentes en aguas residuales a través de procesos microalga-bacteria y los procesos termófilos anaerobios, tema nuevo que causa mucho interés.

Por otro lado, los estudios para la península de Yucatán, abordaron los temas Lagunas Costeras, Ambientes Marinos y Ecosistemas Terrestres, abarcando los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

El Dr. Buitrón consideró muy provechosa esta primera jornada y agradeció su participación. Sin duda esto nos hace conocer mejor a este gran Instituto.

El segundo día le correspondió cerrar la sesión a la Dra. Rosa María Flores Serrano, subdirectora de Hidráulica y Ambiental; dijo que vimos una rica exposición de proyectos que podemos dividir en dos grandes temas, uno para modelos físicos, otro para modelos o simulaciones numéricas.

Entre las modelaciones o simulaciones numéricas vimos aplicaciones para hacer aproximaciones de lo que ocurre en la naturaleza, como fue el caso de la simulación de las pinzas de camarón. Otras simulaciones son: la simulación numérica aplicada a corrientes con mar abierto para hacer o explicar el desprendimiento de remolinos; la simulación numérica para intercambio de calor y la simulación numérica para optimizar la gasificación con un producto que nos está causando muchos problemas en México desde hace algunos años que es el sargazo. Se expuso el modelado de híper, rutas más cortas para trayectos multimodales, proyecto que se encuentra en coordinación para que lo pueda utilizar el público; además, la simulación numérica para localizar las fugas.

En cuanto a modelos o dispositivos físicos se presentó el proyecto del refrigerador que funcionaba con base en la radiación solar. También, la creación de microestructuras de carbono para monitoreo de variables biomédicas; además de los dispositivos para el disciplinado de relojes en tiempo real con protocolos NTP y NMA, en específico, para generar flujos de burbujeantes en canales con una validación por simulación numérica.

La Dra. Flores resaltó la colaboración que manifestaron los diversos ponentes, así como la participación activa de los estudiantes, ya que estos últimos, son el motor para la producción de estos proyectos, de las tesis y de los artículos que se desprenden de ellos.

Todos los modelos se entiende que están en escala experimental o de prototipo, por lo que hay una gran oportunidad de patentes con lo que se puede hacer la transferencia tecnológica. Estas reuniones informativas anuales son muy positivas, pues permiten conocer lo que se hace en otras subdirecciones u otras coordinaciones, por lo que felicitó a todo el personal que participa en ellas.

El tercer día, al término de las presentaciones, la Dra. Alexandra Ossa, coordinadora de Geotecnia, dijo que se presentaron cuatro pláticas muy interesantes, las tres primeras bajo el tema de cimentaciones profundas, la última, bajo el tema de excavaciones profundas. En esta Coordinación se hace investigación de muy alto nivel y trascendencia, con ello, se participa en las soluciones de grandes problemas geotécnicos.

Por una parte, se mostró cómo a partir del trabajo experimental del laboratorio se continúa ampliando el conocimiento del comportamiento de suelos, específicamente en términos de resistencia residual de los mismos con lo que se contribuye a una mejor práctica del diseño y el entendimiento del comportamiento de cimentaciones profundas. Otro tema que se abordó fue el aprovechamiento de la energía geotérmica del subsuelo a través de la instalación de dispositivos inmersos en cimentaciones profundas, que permite a grandes rasgos utilizar gradientes de temperatura entre el suelo y el ambiente para climatizar espacios; esta tecnología es amigable con el ambiente, de reciente incursión con mucho potencial en México; qué bueno que se esté haciendo esto en el Instituto de Ingeniería.

No se podía dejar de mencionar el fenómeno de hundimiento regional -afirmó la Dra. Ossa-, ocasionado por la extracción de agua del subsuelo y su efecto en las cimentaciones profundas; también, por supuesto, en las estructuras construidas en el lago, dejando claro cómo diagnosticar y dar soluciones a problemas complejos, cómo proponer y modificar incluso, las normatividades nacionales.

Finalmente, en la cuarta plática se habló de aspectos del modelado numérico para estudiar el comportamiento de un sistema de sostenimiento para excavaciones profundas en el contexto del almacenamiento geológico de residuos nucleares. Trabajo desarrollado en colaboración con académicos de otras universidades, específicamente de Alemania y España.

Con esto, la Coordinación de Geotecnia sigue activa, generando conocimientos básicos y aplicados que permiten estar a la vanguardia en la solución de problemas nacionales, incluso internacionales con muy alto nivel y rigor técnico.

Al tomar la palabra el Dr. Fernando Peña, Coordinación de Ingeniería Estructural, comentó sobre las tres presentaciones de su Coordinación, una de ellas abordó los materiales y nuevas formas, buscando reducir la huella de carbono, las otras dos sobre dispositivos de control. También, se mostró un nuevo tabique, al que se le ha agregado vidrio reciclado para mejorarlo, lo que va a ayudar mucho a la autoconstrucción. El siguiente tema que se presentó fue el de los amortiguadores de partículas avanzadas, partículas de masa resonante, poco vistos en nuestro país; entonces, es importante estudiarlos de manera inicial como se está haciendo en la actualidad. Finalmente, la última presentación fue sobre la factibilidad de utilizar aislamientos sísmicos dentro de la Ciudad de México, como bien se comentó, traemos arrastrando ciertas ideas que por alguna razón surgieron en su

momento, pero que ahora debemos retomarlas para ver si realmente esos paradigmas continúan o se deben cambiar. Estas investigaciones son novedosas y de alto impacto, sobre todo para aumentar la resiliencia de nuestras estructuras.

El Dr. Leonardo Ramírez Guzmán, Coordinador de Ingeniería Sismológica, felicitó a todos los ponentes; manifestó el gusto de ver que la relevancia y sobre todo la calidad, fueron la constante en la RIA. Dejó ver que entre los miembros de la Unidad de Instrumentación Sísmica, hay la posibilidad de realizar colaboraciones potenciales con otros grupos del IIUNAM.

En cuanto a las ponencias de los investigadores de esta Coordinación, se presentó un estudio muy interesante sobre la aplicación de métricas para estudiar el confort debido al ruido causado por los vehículos, problema que se incrementará día con día en la CDMX.

También, se mostraron los avances de la investigación sobre protocolos que se llevarán a cabo en el IIUNAM dada la ocurrencia de un sismo importante y que formarán parte de un volumen que prepara esta Subdirección sobre los eventos que ocurrieron el año pasado en Coalcomán.

El Dr. David Murià, Subdirector de Ingeniería Estructural, manifestó que la RIA fue una jornada interesante, porque se logró tener un panorama, se identificaron y encontraron temas que pueden interconectarse con diferentes coordinaciones y subdirecciones.

Al clausurar el evento, la Dra. Ramírez agradeció a todos los participantes e invitó al personal académico a buscar colaboración entre las distintas áreas; mencionó que la Subdirección de Electromecánica puede ser un eje de apoyo.

Estoy muy orgullosa de todo el talento, de las capacidades para la innovación, para el desarrollo tecnológico y para la investigación, tanto en ingeniería básica como en la aplicada. Los felicito nuevamente y nos vemos el año que entra -concluyó-.





## CEREMONIA DEL CONVENIO MODIFICATORIO DE LA FIRMA PROTOCOLARIA DE COLABORACIÓN QUE SE CELEBRA ENTRE LAS EMPRESAS CEMEX Y EL IIUNAM

Recibir al grupo CEMEX es dar un paso adelante, tener una relación más intensa con esta empresa, en especial, con el Centro de Investigación y Desarrollo ampliando también las áreas de estudio como es Ambiental y Electromecánica. El IIUNAM ofrece todas las capacidades tanto humanas como de infraestructura para buscar soluciones a los problemas que se les presentan -expresó la Dra. Rosa María Ramírez, directora del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Nos sentimos horados, pues contamos con la confianza de esta empresa y estoy segura de que responderemos la prontitud y la calidad que ustedes requieren.

Arturo Rodríguez Jalil, director del Centro de Investigación y Desarrollo de CEMEX, nuestra empresa tiene la perspectiva de que México avance con obras de mayor calidad y desarrollo, para lograrlo, el interactuar con este Instituto facilita la validación y la acreditación de estos desarrollos. La renovación de este acuerdo espero que sea el inicio de lo que esté por venir.

La firma de este convenio -afirmó el Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro, investigador de estructuras del IIUNAM, ofrece la posibilidad de que dos instituciones extraordinarias en su campo colaboren de manera conjunta. CEMEX es una empresa global 100 % mexicana con presencia en todos los países del mundo. Agradezco la confianza y el apoyo a nuestros estudiantes. Por su parte, el Dr. Simón González estuvo de acuerdo con la importancia que tienen los estudiantes en el desarrollo de los proyectos.



La Dra. Patricia López, agradeció esta oportunidad de realizar proyectos innovadores sobre nuevos temas y aseguró que los atenderán con prontitud.

Es un placer compartir con el IIUNAM el compromiso que tenemos con México para aportar al desarrollo, comentó el maestro Arturo Gaytán del grupo CEMEX

Para concluir la Dra. Ramírez Zamora el Instituto ya está haciendo contacto con empresas para que nuestros estudiantes se formen como emprendedores y la firma de este convenio ayudará en ese sentido. |





### PREMIOS NACIONALES DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 2021

En el salón de actos del Palacio de Minería, el Dr. Enrique Graue, rector de la UNAM, entregó a la arquitecta Sara Topelson Frydman y al ingeniero Luis Esteva Maraboto, los Premios Nacionales de Ingeniería y Arquitectura 2021 que otorga la Academia de Ingenieros y Arquitectos de México a aquellos cuyas aportaciones a lo largo de su vida profesional son un ejemplo para las nuevas generaciones.

Por su parte, el Dr. Esteva manifestó la importancia que tiene el que se entreguen ambos Premios Nacionales simultáneamente pues la arquitectura y la ingeniería son disciplinas complementarias que actúan en beneficio de la sociedad.

Enhorabuena. |

### RECONOCIMIENTO SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ

Felicitamos a Margarita Moctezuma Riubí por haber recibido el reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz que otorga la Universidad Nacional Autónoma de México a aquellas académicas que se han distinguido por sus aportaciones a la docencia, la investigación, al arte, al conocimiento y a la ciencia. En esta ocasión, la distinción la recibieron 83 académicas de manos del rector Enrique Graue Wiechers.

¡Enhorabuena! |



### DISTINCIÓN A ROBERTO GIOVANNI RAMÍREZ CHAVARRÍA

Felicitamos a Roberto Giovanni Ramírez Chavarría, investigador de la Coordinación de Sistemas, Mecánicos Energéticos y de Transportes, quien fue elegido como miembro del 2023 Early Career Advisory Board of Measurement and Measurement: Sensors. Esta distinción se otorga a los investigadores destacados en los inicios de su carrera, para apoyarlos en el camino hacia el trabajo editorial. Son investigadores que han completado su doctorado y están dentro de los cinco años siguientes a la obtención de su grado.

Este reconocimiento es importante pues la revista Measurement, editada por Elsevier, tiene un Factor de Impacto 5.131, en el área de Medición e Instrumentación es una de las más acreditadas. Además, es la revista de la Confederación Internacional de Medición (IMEKO por sus siglas en inglés). |



### PREMIOS A LAS MEJORES TESIS DE DOCTORADO Y MAESTRÍA DEL IUNAM

Felicitamos a Diana González Tenorio, de la Unidad Académica Juriquilla quien se hizo acreedora a esta distinción con la investigación doctoral Evaluación de los impactos económicos y ambientales de la producción de biocombustible líquido de segunda generación bajo el concepto de biorrefinería, esta investigación la realizó con la asesoría de la Dra. Idania Valdés.

Igualmente, nos da mucho gusto que Misael Ramírez Lozano recibió esta distinción por su trabajo Control de oxígeno disuelto en lagunas de alta carga (HRAP) empleadas para el enriquecimiento de biogás bajo condiciones de intemperie, cuyo tutor fue el Dr. Armando González Sánchez.

Ambos reconocimientos los entregó la Dra. Rosa María Ramírez Zamora minutos antes de presentar su Tercer Informe en el Auditorio José Luis Sánchez Bribiesca.

A todos ellos ¡felicidades! |



## DÍA MUNDIAL DEL AGUA: 22 DE MARZO

El Día Mundial del Agua se creó con el objetivo de que las personas se concienticen sobre lo importante que es cuidar este recurso indispensable para la vida, por lo que todos debemos preocuparnos por preservarlo. Este año, del 22 al 24 de marzo, se llevará a cabo en Nueva York la Conferencia de la Organización de Naciones Unidas sobre el agua, éste será un buen escenario para mostrar la situación en la que se encuentran los distintos países, unir esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (agua limpia y saneamiento), planteados en 2015 donde se afirma que toda persona contará con agua y saneamiento para 2030. Para lograr esta meta, se antoja algo más que lejana, pues se requiere de la participación de todos; es momento de que consideremos la importancia de las acciones individuales que van desde bañarse en cinco minutos, arreglar las fugas que tenemos en casa, lavar los coches en los establecimientos que tienen agua tratada, cerrar la llave mientras enjabonamos los trastes, barrer los patios, etc; sólo así será posible ayudar para que las generaciones futuras tengan una vida mejor. |



## UN 2023 WATER CONFERENCE

La Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM), asistió a la Conferencia UN 2023 WATER CONFERENCE, que se llevó a cabo por primera vez en la sede de las Naciones Unidas, con la participación de todos los Estados Miembros donde se abordaron como temas centrales emanados de la Agenda para el Agua: Compromiso con la acción; implementación sostenible y escalable y seguimiento y revisión de los procesos.

Entre las numerosas actividades de la Conferencia, que tuvo lugar a finales de marzo, la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS), promovió un evento denominado: Facilitando el acceso al Conocimiento en relación con el Agua.

Como parte del grupo AIDIS, la Dra. Ramírez expuso la preocupación del IIUNAM en relación al manejo, tratamiento y distribución del agua, temas que dan lugar a relevantes proyectos que buscan solucionar esta problemática, desde diversos enfoques de investigación. |

## DÍA INTERNACIONAL DE LA MUJER

El 8 de marzo quedó establecido como el Día Internacional de la Mujer con el objetivo de recordar que las mujeres tienen los mismos derechos que los hombres dentro de una sociedad.

Estadísticas muestran que las mujeres están en desventaja en relación con los varones en todos los indicadores de desarrollo; más de 60% de los analfabetos del mundo son mujeres, por ende, son más pobres. Desafortunadamente, es muy común que mujeres preparadas reciban menos dinero que los varones por el mismo trabajo. Además, hay que mencionar el sometimiento que éstas sufren en algunos países por cuestiones religiosas, culturales o de costumbres.

Todo esto ha llevado a una lucha constante por demostrar que las mujeres no deben ser violentadas por nadie, ni física, ni psicológica, ni económica, ni sexualmente. Hoy día se cuenta con organizaciones donde pueden acudir en caso de encontrarse en alguna de estas situaciones.

- Instituto Nacional de las Mujeres (Inmujeres). Teléfonos: 911 y 55 5322 6030.
- Comisión Nacional para Prevenir y Erradicar la Violencia contra las Mujeres (Conavim). Teléfonos: 5209 8902 y 5209 8907.
- Consejo Nacional Para Prevenir la Discriminación (Conapred).
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH).
- Red Nacional de Refugios.

A través de los años hemos podido constatar que la participación de algunas mujeres ha sido determinante en el curso de la historia, entre las que se encuentran Josefa Ortiz de Domínguez (conocida como la corregidora), personaje determinante en la lucha de Independencia, movimiento encabezado por el cura Miguel Hidalgo y Costilla; Leona Vicario, su apoyo fue fundamental para los Insurgentes. También, fue la primera periodista del país (le llamaban la mujer fuerte de la Independencia); Sor Juana Inés de la Cruz, la décima musa escritora del siglo de oro aprendió a leer y a escribir a los tres años, su vida fue una lucha constante contra las limitaciones que existían en aquella época para las mujeres.

Muchos han sido los campos donde han destacado las mujeres, pero estando en el Instituto de Ingeniería no queremos dejar de recordar a las primeras mujeres que se dedicaron a esta profesión. Ángela Alessio Robles cursó la carrera de Ingeniería Civil en la Escuela Nacional de Ingeniería (ENI) de la UNAM, se tituló en 1943 y en la Universidad de Columbia estudió una maestría en Ciencias en Planificación y Habitación. Ocupó puestos importantes, fue Directora General de Planificación de la capital de México, antes Distrito Federal; presidenta de Planificación y directora del Plan para el Desarrollo Urbano del DF.



También, durante su gestión construyó la Torre Latinoamericana, el Centro Médico la Raza, sólo por mencionar algunas obras.

Enriqueta García Amaro, primera ingeniera topógrafa en México, también estudió en la ENI. Se tituló en 1948 y trabajó por más de cincuenta años como investigadora del Instituto de Geografía. Realizó fotografía aérea para determinar las características de un territorio y para la cartografía. En 1950 ganó la beca Witbeck y viajó a la Universidad de Wisconsin, donde estudió climatología. Gracias a sus aportaciones ha sido posible comprender los aspectos climáticos que rigen a nuestro país. Fue profesora en el posgrado de la Facultad de Ciencias.

Leda Speziale San Vicente, cursó la carrera de Ingeniería Civil en ENI en 1945. Obtuvo el grado de maestra en Ingeniería estructural en 1970. Profesora de la Facultad de Ingeniería (FI), primera mujer a cargo de una coordinación de asignatura y de una división de estudios.

Dentro de las primeras mujeres egresadas de la Escuela Nacional de Ingenieros, hoy Facultad de Ingeniería; también, se encuentran las hermanas Hilda y Graciela Paredes García.

Hilda perteneció a la generación 49-53 de ingenieros civiles de la ENI, dedicó su vida profesional a la academia. Durante más de cuarenta años fue profesora de matemáticas en la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y formadora de muchas generaciones de ingenieros, físicos, químicos, arquitectos, etc.

Graciela cursó la carrera de ingeniería civil también en la ENI, posteriormente, realizó sus estudios de maestría en ingeniería ambiental. Durante varios años colaboró en la CONAGUA en la redacción y supervisión de textos e informes técnicos. También fue profesora de matemáticas en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. |



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM



Unidad de Servicios  
de Información  
(BIBLIOTECA)

A todo el personal académico del Instituto de Ingeniería, UNAM

Les recordamos que algunos de los recursos de información continúan activos para toda la comunidad universitaria, los invitamos a aprovechar los beneficios que nos ofrecen. A continuación, presentamos dos de ellos disponibles durante 2023.

1

El acuerdo transformativo a **Subscribe to Open S2O** que tiene la UNAM con la International Water Association (IWA) y la consulta en línea a 14 de las revistas editadas por esta Asociación.

**¡Es tu oportunidad de publicar para alcanzar mayor visibilidad y citación de tus publicaciones con esta editorial!**

2

Acceso a la plataforma ASTM Compass, a través de la cual se pueden consultar y descargar las normas técnicas y revistas publicadas por la American Society for Testing Materials.

Enlace para acceder a la plataforma a través de REDUNAM:  
**<https://compass.astm.org/>**

Más información y detalle de estos servicios al correo electrónico:  
**[usi@pumas.iingen.unam.mx](mailto:usi@pumas.iingen.unam.mx) o al teléfono  
55 5623 3613, 55 5623 3600, ext. 8120 y 8065.**

Recuerda que también puedes visitar nuestras redes sociales.



@usibiblioteca

¡#LaUSIcontinúatrabajando!