



# GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

ISSN: 1870-347X

No. 165 | marzo - abril 2024



Sismicidad Reciente  
en el Poniente de la Ciudad  
de México: El segmento  
o falla Plateros-Mixcoac

Viabilidad de un sistema  
oceánico-solar para suplir la  
demanda hídrica de la industria  
turística en Cozumel

Biofertilizantes  
a partir de residuos  
sólidos orgánicos

Ciclos de manejo vehicular  
mediante análisis  
de microviajes

# EDITORIAL

Con motivo de la celebración del próximo Día de las Maestras y los Maestros, en el primer Café académico del año realizado el pasado 26 de abril, entregamos medallas y reconocimientos a nueve académicos y académicas de nuestro Instituto por su labor docente durante 20 hasta 55 años. A todas y todos les expreso, a nombre de nuestra comunidad y de la UNAM, mi mayor agradecimiento por su gran trabajo, en el marco de las actividades sustantivas de esta Casa de Estudios. En ese mismo orden de ideas, también, quisiera felicitar calurosamente a la Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández, investigadora adscrita a la Coordinación de Ingeniería Ambiental, porque el 8 de marzo fue distinguida por su destacada labor, junto con académicas de todas las entidades de la UNAM, con el Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz, en una ceremonia que fue presidida por el Rector Leonardo Lomelí Vanegas.

Por otra parte, en el segundo bimestre de 2024, se han comenzado a retomar actividades del Plan de trabajo 2024-2028 para el IIUNAM; en particular, el Eje 1 de Vida y carrera académicas y el Eje 3 Docencia moderna y formación integral de recursos humanos. En Vida y carrera académicas, como lo comenté en el Café académico, los cuatro líderes de los Grupos de Investigación Interdisciplinarios entregaron un expediente con los informes técnico y financiero con la solicitud para la renovación del segundo año. Los resultados de la evaluación de los documentos entregados se darán a conocer en el mes de mayo; espero que los resultados obtenidos durante el primer año sean muy positivos y que ya estén desembocando en convenios de vinculación con los sectores empresarial y gubernamental. En el Eje de Docencia moderna y formación integral de recursos humanos, con base en la experiencia adquirida en la primera edición de la Olimpiada Estudiantil, se están haciendo los últimos ajustes para publicar la siguiente convocatoria.

En otro orden de ideas, con el fin de mejorar de manera continua los servicios que brinda la Administración del Instituto de Ingeniería, se han realizado mejoras a los sistemas electrónicos que se utilizan para realizar trámites a través de las cinco secretarías del IIUNAM (Académica, Administrativa, Técnica de Infraestructura, de Telecomunicaciones e Informática (TCI) y de Vinculación). Quisiera destacar que la Secretaría de TCI ha desarrollado sistemas para realizar solicitudes de nuestros talleres de Carpintería y Mecánico, así como del Servicio de Fotocopiado, entre otros. Además, los ajustes que se están

desarrollando comprenden encuestas de satisfacción de los servicios. La Unidad de Servicios de Información también se ha unido a esta iniciativa. Esto permitirá dar mejor atención a las solicitudes que se registren, como se establece en los criterios de evaluación del Sistema de Gestión de la Calidad de la UNAM.

Otra iniciativa que mejorará el trabajo académico es la automatización por parte de la Dra. Tamara Martínez Ruiz, Secretaria de Desarrollo Institucional, para que se implante el proyecto PC PUMA en nuestras instalaciones. Este proyecto, que está en proceso, tiene como objetivo actualizar y ampliar la capacidad y los servicios de la red inalámbrica del Instituto (WiFi), haciendo posible que nuestros visitantes o participantes a eventos organizados puedan conectarse a la internet.

En cuanto a los más recientes nombramientos de colaboradores, tengo el agrado de comunicar por este medio que, la Dra. María Eugenia Allende Arandía es la nueva jefa de la Unidad Académica Sisal en Yucatán, a partir del 1 de abril, en sustitución del Dr. Christian Appendini Albrechtsen. Además, como titular de la Secretaría Técnica de Infraestructura, el Mtro. Xavier Palomas Molina sustituye al Arq. Sebastián Israel Martínez Bucio. Agradezco a las personas que realizaron su labor en los cargos mencionados y felicito a quienes tomaron esa responsabilidad con toda la decisión y compromiso para desempeñarse lo mejor posible para contribuir a las áreas de apoyo correspondientes. La Dra. Allende tiene la encomienda de fortalecer la producción académica e incentivar la vinculación con las empresas, así como con los gobiernos locales y estatales que resulte en convenios de colaboración para la solución de problemas de la región. El Mtro. Palomas ha empezado a identificar y establecer un programa de mejora de todos los espacios que faciliten la labor de nuestra comunidad.

Finalmente, aprovecho este espacio para mandar una gran felicitación y abrazo a las madres y padres, así como al personal docente de nuestro Instituto, con motivo de la celebración de esas fechas. Espero que disfruten mucho esos días. |

Cordialmente,

**Dra. Rosa María Ramírez Zamora**

Directora

Instituto de Ingeniería, UNAM

Rector  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretaría General  
Dra. Patricia Dolores  
Dávila Aranda

Abogado General  
Mtro. Hugo Concha Cantú

Secretario Administrativo  
Mtro. Tomás Humberto  
Rubio Pérez

Secretaría de Desarrollo Institucional  
Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz

Secretario de Prevención,  
Atención y Seguridad Universitaria  
Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo

Coordinador de la Investigación Científica  
Dra. María Soledad Funes Argüello

Coordinador de Humanidades  
Dr. Miguel Armando López Leyva

Coordinador para la Igualdad de Género  
Dra. Norma Blazquez Graf

Coordinadora de Difusión Cultural  
Dra. Rosa Beltrán Álvarez

Director General de Comunicación Social  
Mtro. Néstor Martínez Cristo

Director de Información  
Mtro. Rodolfo González Fernández

Directora  
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
Dr. Carlos Javier  
Mendoza Escobedo

Subdirectora de Hidráulica y Ambiental  
Dra. Rosa  
María Flores Serrano

Subdirectora de Electromecánica  
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirectora de Unidades Académicas Foráneas  
Dra. Idania Valdez Vázquez

Secretaría Académica  
Dra. Norma Patricia López Acosta

Secretaría Administrativa  
Mtra. Dulce María López Nava

Secretario Técnico  
Arq. Xavier Palomas Molina

Secretario 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  
María de los Ángeles Negrete Orozco

## GACETA DEL IIUNAM

GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, Año 2023, Número 165, marzo - abril 2024, es una publicación bimestral de acceso abierto, Domicilio Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Instituto de Ingeniería, UNAM, Edificio 1 Fernando Hiriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, teléfono 5623-3600, Dirección electrónica de la publicación <http://www.iingen.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 1870-347X, 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.

## SISMICIDAD RECIENTE EN EL PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO: EL SEGMENTO O FALLA PLATEROS-MIXCOAC

LEONARDO RAMÍREZ GUZMÁN,  
MOISÉS CONTRERAS RUIZ ESPARZA,  
JORGE AGUIRRE GONZÁLEZ,  
BARUO DANIEL ALDAMA-SÁNCHEZ,  
ASMIT ROY BURMAN,  
MIGUEL ÁNGEL CARRILLO LUCÍA,  
MIGUEL LEONARDO SUÁREZ,  
MARCO ANTONIO MACÍAS CASTILLO,  
BEATRIZ CONTRERAS RUIZ ESPARZA  
Y MIGUEL ÁNGEL GARCÍA ILLESCAS

El análisis de información sismológica, satelital y el patrón de daños soportan la propuesta de la presencia de una falla ubicada en el poniente del Anillo Periférico que pasa por avenida Revolución de la CDMX, con una expresión superficial de una longitud

cercana a los 2 km, la cual, se le ha asociado con la actividad sísmica de los meses de diciembre de 2023 a febrero de 2024. Los resultados preliminares que se presentan requieren, sin duda, de una serie de exploraciones para determinar la estructura geológica y geofísica de la zona, y de ser necesario, estimar la magnitud potencial de la falla o segmentos de falla presente en los alrededores.

De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional, los microsismos de diciembre de 2023 a febrero de 2024, como se les ha denominado a los sismos de baja magnitud en el poniente de la capital, tienen profundidades menores a 1.4 km y han ocurrido en las alcaldías de La Magdalena Contreras y Álvaro Obregón. La Figura 1 ilustra con círculos los epicentros de la secuencia mencionada de acuerdo con las estimaciones calculadas. Sin embargo, observaciones de los autores y los reportes de daños de la Secretaría de Protección Civil de la Ciudad de México, ubican estructuras con afectaciones en una zona distante, considerando la magnitud de los sismos, con un patrón casi lineal que incluye las alcaldías Álvaro Obregón y Benito Juárez, en zonas consideradas por el reglamento de construcciones local (ver Figura 1).

Con la finalidad de comprender la sismicidad de la zona, la Coordinación de Ingeniería Sismológica y la Unidad de Instrumentación Sísmica (UIS) del Instituto de Ingeniería instalaron un arreglo de estaciones de registro sísmico con sensores de velocidad y aceleración. La Figura 2 muestra la ubicación de los puntos de medición. La red ha grabado de manera continua

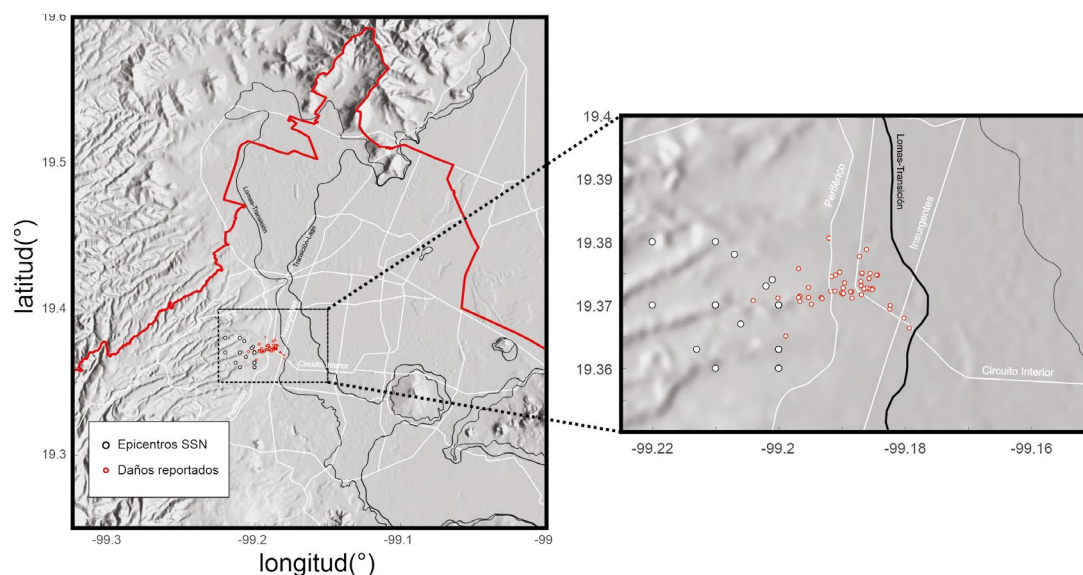


Figura 1. Zona de estudio Plateros-Mixcoac.  
Se muestran los daños reportados y los epicentros estimados por el Servicio Sismológico Nacional



desde la tercera semana de diciembre de 2023 hasta finales de febrero de 2024. Utilizando la información de este arreglo se reubicaron los epicentros de sismos reportados por el SSN, los cuales, resultaron estar más cerca de los daños observados. Lo anterior motivó un recorrido por la zona cercana a los mismos en la que encontramos una “grieta” que cruza casi ininterrumpidamente la zona de Mixcoac (ver Figura 2).

Los daños y la “grieta” sugieren deformaciones permanentes que analizamos a través de las imágenes satelitales. Considerando que la mejor alternativa para determinar movimientos permanentes del terreno en grandes áreas son las imágenes satelitales, decidimos recolectar información de varios días e hicimos un análisis conocido como DInSAR para identificar desplazamientos en ambos lados de la “grieta”, con la intención de determinar si había algún patrón que se pudiera asociar como una expresión superficial de una falla. La Figura 3 muestra nuestra interpretación preliminar de la información mencionada. La escala de colores representa el desplazamiento vertical del suelo. Al norte de la “grieta” se presentan hundimientos o desplazamientos negativos que se extienden ortogonalmente, aproximadamente 500 m; al sur, pequeños desplazamientos positivos con el área de influencia menor.

El patrón que se observa en la Figura 3 es similar al desplazamiento permanente generado por una falla de tipo normal (ver figura 4). Formalmente, no se han sugerido otras explicaciones; sin embargo, debe ser evidente para el lector que al presentarse sismos en una zona, éstos deben asociarse a una dislocación o falla si los registros presentan una llegada de onda *p* seguida de una *s*, lo cual, observamos en los registros de la red temporal y permanente. Además, de acuerdo con nuestras estimaciones de profundidad debieron nuclear a profundidades mayores a medio km. En este caso, hemos conjuntado tres evidencias para sustentar de manera preliminar que los sismos asociados a la sismicidad del periodo analizado corresponden a una falla que hemos denominado Plateros-Mixcoac, la cual, corre de acuerdo a lo indicado en la figura 2. Los elementos empleados para llegar a esta conclusión preliminar son: a) la coincidencia de los epicentros al norte de la “grieta”, b) desplazamientos verticales o hundimientos cuyo patrón es el de una falla normal, y c) daños en la zona epicentral.

### Una falla en una zona muy poblada de la capital

La estructura geológica debe formar parte de un sistema de fallas mayor que muy probablemente está activa –en general nos referimos a una falla activa cuando ha tenido actividad en el cuaternario- o se ha reactivado, que debido a los sedimentos más someros de la zona no había dejado evidencia superficial.

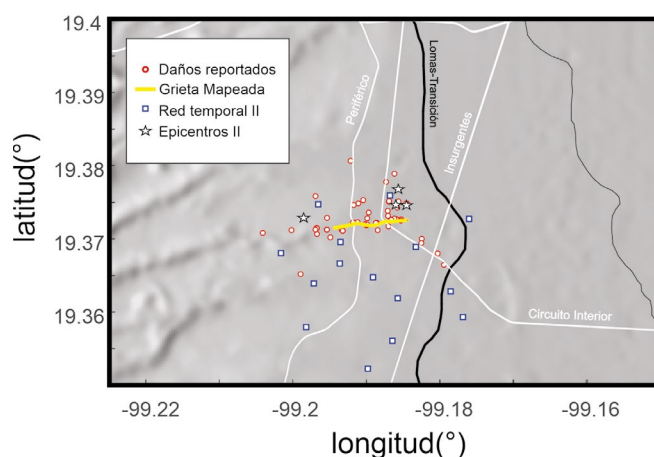


Figura 2. Red temporal del Instituto de Ingeniería y localizaciones epicentrales recalculadas. Se muestra también la grieta mapeada en las inspecciones realizadas

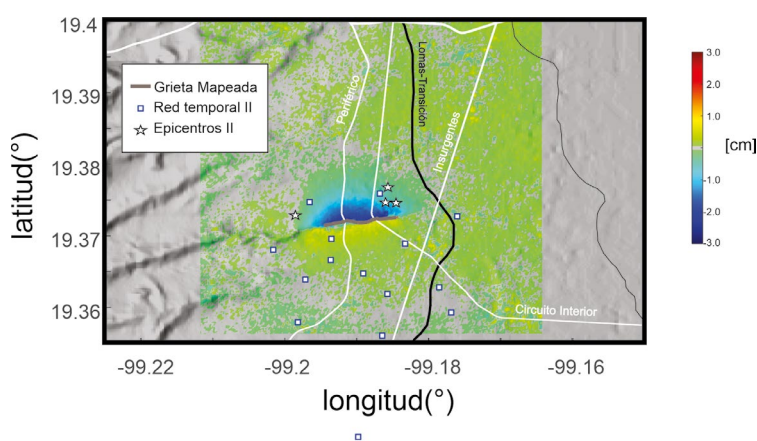


Figura 3. Desplazamientos inferidos utilizando la técnica DInSAR. Los valores negativos indican hundimientos

Debido a que el impacto que puede tener esta falla en las construcciones, no ha sido cuantificado en las acciones de diseño de esta zona, este es un tema de investigación en el Instituto de Ingeniería.

### ¿Qué podría causar la reactivación o movimientos en la falla?

Las causas que podrían provocar la nucleación de la ruptura en esta falla u otras cercanas son la acumulación de tensión regional, el hundimiento del valle de México, así como la recarga y descarga en la Sierra de las Cruces del acuífero que alimenta

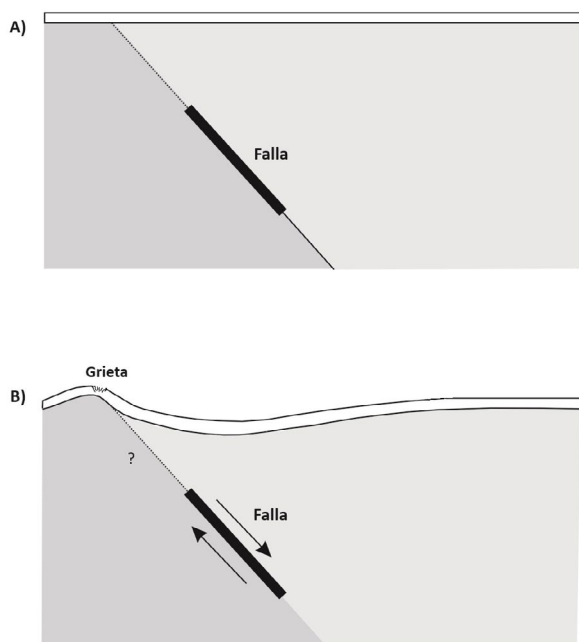


Figura 4. Fallamiento normal y probable explicación de la presencia de la grieta superficial observada. Es incierta la extensión y geometría de la falla propuesta

a la zona metropolitana. También, se ha pensado que los sismos de gran magnitud son un detonante. En todos los casos, se podrían originar esfuerzos capaces de inducir los temblores.

Hasta hoy, no tenemos una explicación definitiva sobre el origen de los microsismos. Existen registros de sismos desde las primeras siete décadas del siglo XX, donde Figueroa (1971) reportó más de 650 temblores, seis de ellos clasificados como fuertes, alcanzando en algunos sitios hasta VI en la escala de intensidades de Mercalli modificada. Además, Figueroa reportó la existencia de tres enjambres sísmicos en 1950, 1956 y 1959, al oeste de Mixcoac. En 1982 Havskov reportó un enjambre de cinco sismos con magnitudes de 2.7 a 3.2. A partir de la década del siglo XX la actividad sísmica en el valle ha sido reportada de manera consistente por el Servicio Sismológico Nacional (SSN). Gracias al monitoreo sabemos que la sismicidad en la capital no es nueva, que los sismos no han excedido la magnitud 4 y que se han presentado con epicentros cercanos a la superficie.

Poco a poco nos iremos acercando para conocer las causas y los detalles que ocasionan los sismos en el poniente. Hoy podemos decir que es muy probable que la estructura geológica causante de los sismos de la secuencia discutida en documento se haya originado en un segmento o falla, la Plateros-Mixcoac, independiente ubicada a profundidades considerables cuyo potencial aún desconocemos.

## Conclusiones

Mediante la integración de información sismológica, satelital y daños en estructuras hemos identificado, de manera preliminar, una estructura geológica que hemos denominado la falla o el segmento Plateros-Mixcoac.

Existen todavía muchas interrogantes sobre la sismicidad en la zona poniente de la capital. Sin embargo, al ir definiendo las diferentes fallas que pueden ser la causa de los movimientos, iremos explorando los posibles mecanismos que modifican el estado de esfuerzos que provocan la nucleación que da pie a los sismos.

## Instrumentación en campo y procesamiento

Personal de la Unidad de Instrumentación Sísmica y Coordinación de Ingeniería Sísmológica: Mauricio Ayala, Héctor Sandoval, Miguel Carrillo, Cristian Tejada, Alejandro Mora, Luis Alberto Aguilar, Israel Molina, Ricardo Vázquez, Leonardo Ramírez, Moisés Contreras, Marco Antonio Macías, Juan Manuel Velasco, Gerardo Castro, Miguel Leonardo, David Almora, Javier Lermo, Citlali Pérez, Ana Laura Ruiz y María del Rosario Delgado.

## Agradecimientos

A Nueva Walmart de México, en especial a la Lic. Alejandra Leonel de Cervantes e Ing. Germán Garate. A la Bióloga María Dolores Valle, directora general de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), por el apoyo para la instalación de equipo en la ENP 8. Al Lic. Rafael Humberto Marín, director general de Análisis de Riesgos de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (SGIRPC) de la Ciudad de México, quien nos brindó las facilidades para la instalación de un equipo en las oficinas de SGIRPC. A todos los particulares que nos permitieron instalar un equipo en su casa.

## Referencias

1. Figueroa, J. (1971). Sismicidad en la cuenca del Valle de México. Serie de Investigación 289. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
2. Havskov, J. (1982). The earthquake swarm of february 1981 in Mexico City. *Geofísica Internacional*, 21(2), 157-175. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1982.21.2.909>.
3. Servicio Sismológico Nacional (SSN, 2024). Universidad Nacional Autónoma de México, <http://www.ssn.unam.mx/>.

## VIABILIDAD DE UN SISTEMA OCEÁNICO-SOLAR PARA SUPLIR LA DEMANDA HÍDRICA DE LA INDUSTRIA TURÍSTICA EN COZUMEL

JESÚS FLORIDO ORTEGA,  
EDGAR GERARDO MENDOZA BALDWIN  
Y ESTELA CEREZO ACEVEDO

### RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó una evaluación técnico-económica de un sistema solar-oceánico capaz de abastecer la demanda de agua y su fracción caliente, requerida en el sector turístico de Cozumel. Los resultados muestran que el sistema es capaz de satisfacer la totalidad de la demanda durante diez meses del año; pero sólo una fracción durante el resto del año. Además, se encontró que el costo nivelado del agua es rentable en comparación con las tarifas locales, mientras que el costo nivelado del calor sólo resulta viable en comparación con el combustible fósil más caro.

### INTRODUCCIÓN

El sector turístico es fundamental para la economía global, representando aproximadamente 10% del Producto Interno Bruto mundial y generando una considerable cantidad de empleos<sup>[1]</sup>. Sin embargo, también causa impactos negativos, como huellas hídricas y de carbono, así como pérdida de biodiversidad en los destinos turísticos<sup>[2]</sup>. Para hacerlo más sostenible, es crucial abordar el uso de agua y energía. El consumo de agua turística *per cápita* es varias veces mayor que el consumo local, especialmente en países en desarrollo<sup>[3]</sup>. Además, el turismo demanda una gran cantidad de energía, principalmente de fuentes de combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero<sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup> <sup>[6]</sup>.

Los destinos turísticos en islas y áreas costeras remotas enfrentan éstos y otros desafíos adicionales, debido tanto a su dependencia de recursos limitados como a la dificultad en el suministro de energía y agua<sup>[7]</sup>. Ante esto, se están explorando tecnologías que aprovechan las energías del océano, como la energía térmica oceánica, como posibles soluciones para estas áreas, ya que pueden proporcionar agua desalada y electricidad<sup>[8]</sup> <sup>[9]</sup> <sup>[10]</sup>.

La isla de Cozumel, en México, enfrenta problemas similares, dependiendo de una única fuente de agua subterránea y de una

dependencia energética con la energía generada en continente, así como de la obtenida con centrales de diésel instaladas en la isla <sup>[3]</sup> <sup>[11]</sup>. Por estas razones, en este trabajo se realizó un estudio para implementar un sistema energético oceánico-solar integrado con una planta de energía oceánica por gradiente térmico, ósmosis inversa y calentadores solares para diversificar la matriz energética y abastecer tanto agua como energía al sector turístico de Cozumel.

### METODOLOGÍA

#### Demanda de agua y su fracción caliente del sector turístico de Cozumel

Para la caracterización de la demanda de agua en Cozumel, se utilizó la metodología de cálculo del documento “Requisitos mínimos y metodología de evaluación de sistemas de calentamiento solar de agua para hoteles”, publicado por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México. Este documento, fue elaborado específicamente para el sector turístico hotelero mexicano para incentivar la instalación de tecnología termo-solar, donde se encuentra incluida la isla de Cozumel. Para utilizar esta metodología, se descargaron los indicadores turísticos disponibles en la base de datos de la Secretaría de Turismo del Gobierno de México (DATATUR), del sector hotelero de Cozumel para el periodo de 2004 a 2009. Con esta información, se calculó tanto la demanda de agua mensual como la fracción de agua caliente correspondiente. Cabe señalar que, el valor de la temperatura del agua caliente requerida por el sector hotelero se fijó en 60°C, como es normalmente sugerido en la literatura<sup>[12]</sup> <sup>[13]</sup>.

Con los resultados anteriores, se obtuvieron las curvas de demanda mensual de agua total y de su fracción caliente por cada categoría hotelera en Cozumel a partir del ajuste del uso del método de Montecarlo simple. Las curvas de demanda corresponden al percentil 95 de los valores proyectados.

#### SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO DE INSTALACIÓN

##### Selección del sitio de instalación

Para determinar el sitio de instalación, se identificó que, entre los criterios de selección de los componentes del sistema oceánico-solar (sistema termo-solar, OTEC y ósmosis), los criterios del sistema OTEC resultan ser los más restrictivos en la selección del punto de propuesta.

##### Caracterización del recurso renovable

Para obtener el recurso solar, se descargó el año típico meteorológico de la región de estudio, mientras que, para caracterizar

el recurso térmico oceánico, se descargó la batimetría de los alrededores de la isla, así como los datos de temperatura y salinidad tanto para la capa superficial como de zonas profundas del mar. Esta información se procesó y analizó para su posterior uso.

## **DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA A PARTIR DE LA DEMANDA DE AGUA TURÍSTICA**

### **Dimensionamiento y simulación del sistema OTEC**

Con la información de demanda de agua, se calcularon los caudales de agua marina superficial de bombeo del sistema OTEC, con la finalidad de obtener el dimensionamiento óptimo que resultara en la mayor cobertura de desalación en la mayoría de los meses del año bajo condiciones operativas estables.

Estos cálculos del ciclo termodinámico, las ecuaciones, los parámetros y las variables de diseño fueron programados en Python y se pueden consultar en el trabajo extenso de este artículo en el repositorio de Tesis UNAM titulado: Viabilidad de un sistema oceánico-solar para suplir la demanda hídrica de la industria turística en Cozumel.

### **Sistema termo-solar**

Para el dimensionamiento y simulación del sistema termo-solar, se utilizó el *software* libre System Advisor Model (SAM), versión 2022.11.21. De manera análoga al sistema anterior, los parámetros y consideraciones de diseño ingresados en el *software* se pueden consultar en el trabajo extenso.

### **Sistema de ósmosis inversa**

Se seleccionó un tamaño de planta<sup>[14]</sup> capaz de darle un tratamiento al agua desalada con el sistema OTEC sin que la demanda de energía eléctrica por este sistema sobrepasara a la generación eléctrica OTEC.

## **EVALUACIÓN FINANCIERA**

### **Indicadores inflacionarios y de tipo de cambio**

Para la evaluación financiera, se utilizaron indicadores inflacionarios y de tipo de cambio tanto de México como de Estados Unidos, así como indicadores propios de la industria asociada a los componentes principales de cada sistema. Estos indicadores fueron referenciados al mes de marzo de 2023 con la finalidad de actualizar el valor del dinero en el tiempo a una misma fecha.

### **Costo de capital**

Para determinar las tasas de descuento, se implementó el modelo Capital Asset Pricing Model (CAPM). Esto permitió calcular cuatro valores de tasas de descuento en términos reales por giro de negocio con o sin deuda, contemplando la estructura de deuda y de capital propio, características de cada giro de negocio.

## **ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA OCEÁNICO SOLAR**

### **Sistema OTEC de ciclo abierto**

Para determinar los costos del sistema OTEC se consultaron y actualizaron los valores reportados por el Dr. Vega<sup>[15]</sup>, de acuerdo con lo sugerido en la literatura<sup>[16]</sup>, donde se calcularon los costos de cada componente y concepto en función de la capacidad nominal.

### **Sistema termo-solar**

Para determinar los costos del sistema termo-solar se cotizó, mediante consultoría, el costo total de la propuesta.

### **Sistema de ósmosis inversa**

Los costos del sistema de ósmosis inversa fueron obtenidos a partir de la literatura<sup>[14]</sup> y de ecuaciones de economía de escala para una planta con capacidad similar a la requerida por el sistema propuesto en el presente trabajo.

### **Cálculo del costo nivelado**

El cálculo del costo nivelado se efectuó para cada componente del sistema oceánico-solar; así como para la electricidad, el agua desalada y/o ambos productos en conjunto, donde las consideraciones generales fueron: a) Un periodo de evaluación acorde al tiempo de vida útil del componente menor del sistema, y b) un análisis tarifario de electricidad, agua y calor de proceso correspondientes al sector turístico de Cozumel o de la región local en general.

### **Evaluación financiera del proyecto**

Para evaluar la rentabilidad financiera del proyecto, se utilizaron los resultados de las simulaciones de cada componente del sistema oceánico-solar a lo largo de su vida útil; de igual manera, se usaron las tasas de descuento de los giros de negocio renovable (plantas termo-solares) y de venta de agua (componentes OTEC y ósmosis), con un plazo de deuda equivalente a la mitad del horizonte de evaluación y un incremento de la deuda por periodo constructivo. Todo esto acoplado al esquema de depreciación fiscal mexicano. Se consideró un esquema de cogeneración. Estas consideraciones se pueden consultar en el trabajo extenso.

## **RESULTADOS**

### **Perfiles de demanda de agua**

En la Figura 1, se muestran los percentiles 95 de demanda de agua en el sector turístico de Cozumel, donde es posible identificar que en los meses de septiembre y octubre ocurren los mayores consumos, en comparación con el resto del año. Por esta razón, se optó por modificar tanto el perfil de demanda de agua total como su fracción caliente para asegurar un

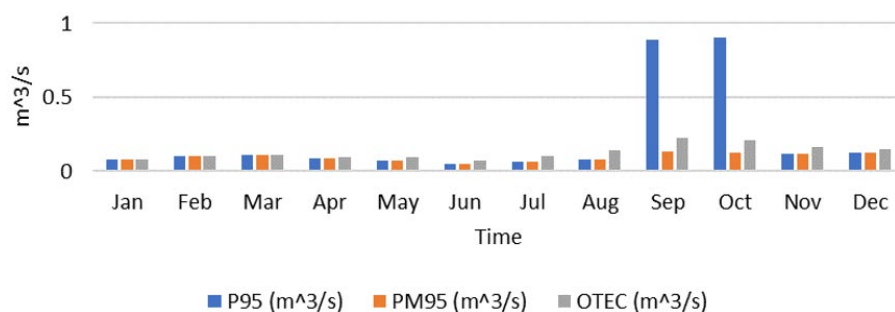


Figura 1. Perfiles de demanda de agua de uso municipal y de agua caliente, percentiles 95 y perfil modificado

margen operativo más estable, arriesgando la cobertura total únicamente en los meses de mayor afluencia turística.

## SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

### Selección del sitio

Como se puede ver en la Figura 2, se muestran dos puntos indicados en color amarillo, los cuales, corresponden con las ubicaciones de la propuesta del sistema oceánico-solar. Aquel punto ubicado sobre el mar refiere a la ubicación de la planta OTEC de ciclo abierto, mientras que el segundo punto representa la ubicación del resto del componente. Cabe señalar que, en el presente trabajo no se contempló la gestión de distribución de los productos obtenidos, por lo que se recomienda realizar una nueva valuación que así lo contemple.

### Caracterización del recurso renovable

Al analizar los datos, se identificó que la insolación solar en Cozumel no sostiene gran variación durante el año en su recurso solar, sosteniendo valores de insolación promedio diaria global de entre 15 y 20 MJ/m² en el primer caso, y de entre 5 y 10 MJ/m² de la componente difusa.

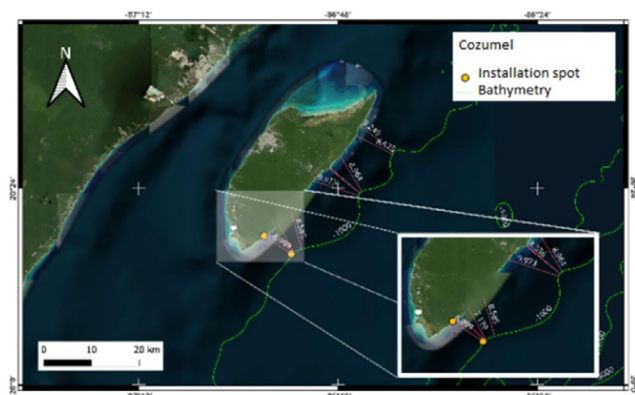


Figura 2. Batimetría y ubicación de los sitios de instalación

En cuanto al recurso térmico oceánico, durante todo el año, el gradiente de temperatura es superior a los 21 °C, llegando a sostener valores de hasta 24 °C. En cuanto a los valores de salinidad del mar, la superficie marina en esa zona sostiene valores muy estables alrededor de los 36 UPS, cuestión que se mantiene igual en zonas profundas donde la salinidad registra valores cercanos o iguales a los 35 UPS.

## DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN

### Sistema OTEC

Para efectuar su dimensionamiento, se llevaron a cabo varias simulaciones, para determinar los parámetros de la configuración óptima. Al hacerlo, se obtuvo que el ciclo termodinámico OTEC de ciclo abierto, logra generar desde 5 hasta los 10.7 MW durante los meses de julio a diciembre, mientras que en el resto del año se tienen valores desde los 3.5 MW hasta casi los 5 MW.

En la Figura 1, se puede apreciar que la demanda de agua es totalmente cubierta (enero a marzo), incluso rebasada en gran parte del año, con excepción de los meses de septiembre y octubre, donde se logra una cobertura parcial.

### Sistema termo-solar

En la Figura 3 se muestra una comparación entre la demanda y cobertura de agua caliente por parte del sistema termo-solar completo, en dicha imagen, se puede apreciar un esquema equivalente a lo ocurrido con el sistema OTEC.

## EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD FINANCIERA

### Estimación de costos

En la Tabla 1 se muestran los montos de inversión de cada uno de los componentes del sistema oceánico-solar. En dichos montos, se puede apreciar que las mayores erogaciones corresponden al sistema OTEC, con excepción de los costos de mantenimiento del sistema de ósmosis inversa.



Tabla 1. Costos de los componentes de sistema oceánico-solar

| Sistema | Capacidad               | Inversión (\$MUSD 2023) | O&M (\$MUSD 2023) | R&R (\$MUSD 2023) |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|
| OTEC    | 13 MW <sub>e</sub>      | 312.12                  | 0.28              | 0.79              |
| Ósmosis | 700 m <sup>3</sup> /día | 0.41                    | 0.31              | -                 |
| Solar   | 1.36 MW <sub>t</sub>    | 1.15                    | 0.02              | -                 |

### Cálculo del costo nivelado

Al calcular los costos nivelados del sistema, se obtuvo que el sistema OTEC sostiene un costo nivelado de la electricidad bastante elevado 15 MXN/kWh (0.79 USD/kWh), comparada con la tarifa GDMTH-Peninsular nivelada de 2.47 MXN/kWh (0.13 USD/kWh); cuestión contraria con el costo nivelado de desalación de agua OTEC obtenido de 0.171 MXN/m<sup>3</sup> (0.009 USD/m<sup>3</sup>), el cual, es sumamente atractivo frente a las tarifas de agua local (6.13 MXN/m<sup>3</sup> [Cozumel]<sup>[3]</sup>, 40.73 MXN/m<sup>3</sup> [Cancún-comercial]<sup>[17]</sup>, 29.26 MXN/m<sup>3</sup> [Cancún]<sup>[17]</sup>). Por su parte, el sistema de ósmosis resulta atractivo frente a las tarifas de agua con un valor de 13 MXN/m<sup>3</sup> (0.70USD/m<sup>3</sup>), mientras que el sistema termo-solar sostiene un costo nivelado de calor alto 3.04 MXN/kWh (0.16 USD/kWh), únicamente competitivo comparado con el costo nivelado de calor del combustible más contaminante (Diésel-8.55 MXN/kWh<sup>[18]</sup>). Por su parte, el agua con tratamiento asciende a un valor de 13.43 MXN/m<sup>3</sup> (0.707USD/m<sup>3</sup>), valor que sigue siendo competitivo ante las tarifas locales.

### Evaluación financiera

Al efectuar la evaluación financiera, se obtuvieron valores muy similares a los reportados en la sección anterior; sin embargo, en el sistema OTEC se efectuó un análisis de costo nivelado contemplando un esquema de cogeneración, donde

se fijó el costo de la venta de electricidad al precio de la tarifa local (2.47 MXN/kWh). Al hacerlo, se obtuvo un costo nivelado de agua de 0.19 MXN/m<sup>3</sup> (0.01 USD/m<sup>3</sup>) bastante atractivo. En cuanto al resto de componentes se obtuvieron valores similares donde el sistema de ósmosis resultó en 14.44 MXN/m<sup>3</sup> (0.707 USD/m<sup>3</sup>) y el sistema termo-solar en 3.23 MXN/kWh (0.17 USD/kWh). Por su parte, el agua con tratamiento asciende a un valor de 14.63 MXN/m<sup>3</sup> (0.77USD/m<sup>3</sup>) valor que sigue siendo competitivo ante las tarifas locales.

### CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se determinó que el sistema oceánico-solar sostiene la capacidad para satisfacer el total de la demanda de agua y su fracción caliente del sector turístico de Cozumel durante la mayor parte del año, con excepción de los dos meses con mayor afluencia turística.

La evaluación financiera del proyecto reveló que la venta de agua es la línea de negocio más rentable, con costos nivelados económicamente atractivos en comparación con las tarifas locales; mientras que, las menos rentables son la venta de agua caliente y la venta de electricidad. Ante esto, se sugiere una reevaluación financiera con un esquema de distribución de productos, donde los márgenes de venta de agua podrían mantener su viabilidad económica, a diferencia de la venta de agua caliente.

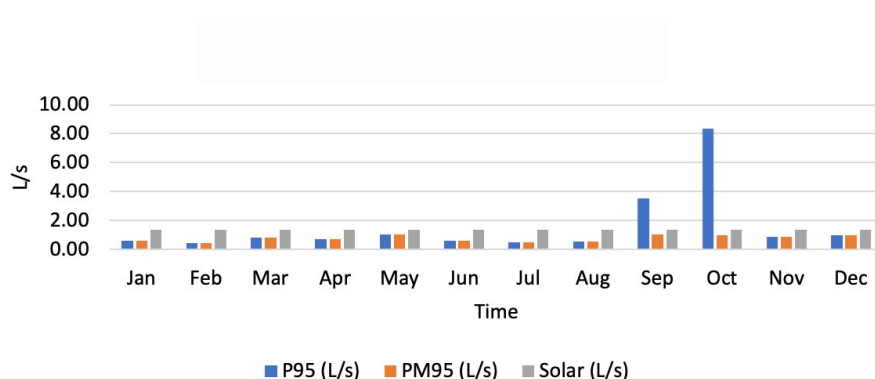


Figura 3. Demanda y cobertura de agua caliente por parte del sistema termo-solar



Referencias

### BIOFERTILIZANTES A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

IVÁN MORENO ANDRADE,  
ALEJANDRO VARGAS CASILLAS  
Y JULIÁN CARRILLO REYES

Los residuos orgánicos representan una parte significativa de los desechos que se generan en los hogares, en las industrias y en las actividades agrícolas. Los residuos de comida, de mercados y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos son generados en gran cantidad en nuestro país (Figura 1). Estos residuos, originalmente percibidos como una problemática ambiental, ahora, se vislumbran como una valiosa materia prima para la producción de biocombustibles gaseosos y la obtención de subproductos beneficiosos para lograr un equilibrio en el eje agua-energía-ambiente-seguridad alimentaria. Esta transformación de la materia orgánica se puede llevar a cabo mediante el proceso que se conoce como *digestión anaerobia*, donde microorganismos, en ausencia de oxígeno, descomponen los residuos orgánicos y pueden generar productos de alto valor, como biogás, ácidos orgánicos, proteína celular, biofertilizantes y hasta bioplásticos. Para ello, es necesario el monitoreo y control de las variables de proceso, como son: la temperatura, la cantidad de residuos, el tiempo de proceso o la selección de microorganismos especializados, entre otros. Este método genera productos en fase gaseosa, como hidrógeno o metano, también, en fase líquida, donde se acumulan productos valiosos que pueden ser extraídos y purificados para su posterior comercialización. El resultado final, conocido como digestato, constituye un efluente rico en nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, micronutrientes y materia orgánica parcialmente degradada que puede aumentar el contenido de humus en el suelo.

Tomando en cuenta las características de los digestatos, éstos pueden ser empleados como: a) biofertilizantes, que aportan nutrientes y los liberan gradualmente a lo largo del tiempo, mejorando así, su disponibilidad para las plantas y reduciendo el riesgo de lixiviación hacia los cuerpos de agua; b) mejoradores de suelos, que incorporan materia orgánica al suelo, mejorando su estructura y aumentando la retención de agua y nutrientes, haciéndolos más saludables y productivos; c) prebióticos agrícolas, que favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos para la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. Lo anterior contribuye a la agricultura sostenible, pues evita el uso de fertilizantes químicos, conserva recursos y mejora la salud del suelo.

El uso de los digestatos puede jugar un papel fundamental para la agricultura sostenible, ya que reducen la dependencia



Figura 1. Ejemplo de residuos sólidos orgánicos para producción de biofertilizantes

de los fertilizantes químicos, preservan los recursos naturales y mejoran la calidad del suelo. Tiene beneficios económicos a largo plazo en términos de costos de producción y sostenibilidad ambiental, demostrando mejora en la fertilidad del suelo, al igual que en la disponibilidad de nutrientes, que se encuentran de manera más equilibrada que en los fertilizantes químicos convencionales. Además, se ha observado que estimulan la actividad de bacterias y hongos beneficiosos en el suelo, lo que ayuda a proteger a las plantas contra organismos patógenos y mejora la salud general del ecosistema agrícola.

La presencia de materia orgánica en los digestatos desempeña un papel crucial en la mejora de la estructura del suelo al incrementar su capacidad para retener agua y aire. Este fenómeno conduce a la formación de un suelo rico en nutrientes, con una textura adecuada y bien drenado, proporcionando un ambiente óptimo para el desarrollo de raíces saludables y el crecimiento vigoroso de las plantas. Además, esta mejora en la estructura del suelo contribuye significativamente a mitigar problemas asociados con la erosión, como la pérdida de nutrientes. Al fomentar el crecimiento de microorganismos benéficos gracias a sus propiedades prebióticas, los digestatos promueven una liberación gradual de nutrientes en el suelo. Esta actividad biológica también genera compuestos bioactivos que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual, puede traducirse en cultivos más robustos con mayor rendimiento. En conjunto, estos beneficios resaltan el valor de los digestatos como un recurso valioso en la mejora de la salud del suelo y la productividad agrícola.

Tomando en cuenta lo anterior, se ha buscado evaluar el uso de digestatos y efluentes derivados del tratamiento de residuos sólidos orgánicos y aguas residuales como biofertilizantes,

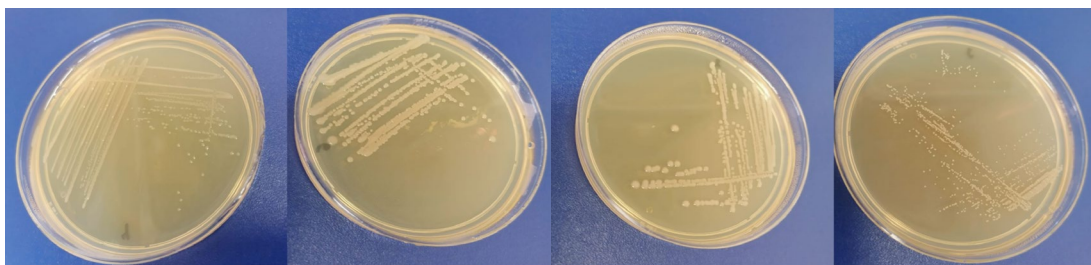


Figura 2. Crecimiento de bacterias del suelo empleando digestatos como prebiótico

prebióticos y mejoradores de suelo, dentro del proyecto “Cambio de paradigma: residuos como materia prima para conciliar el eje agua-energía-ambiente-seguridad alimentaria” de los Grupos Interdisciplinarios de Investigación del Instituto de Ingeniería (<https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/GII/Paginas/rt/Proyecto-4.aspx>). En este proyecto se busca evaluar digestatos provenientes de procesos anaerobios de distintos residuos sólidos orgánicos (de cafetería, de la central de abastos, de nejayote\*, de nopal, de alimentos y de agroindustriales) para determinar la factibilidad del uso del digestato como prebiótico en suelos (evaluación del crecimiento microbiano), su efecto para incrementar la germinación de semillas y la posible fitotoxicidad de plantas. Así mismo, se busca la producción de biofertilizantes a partir de florecimientos macroalgales masivos ocurriendo en lagunas costeras del estado de Sinaloa.

Entre los resultados que se han obtenido se puede mencionar la determinación de dosis óptimas de germinación y de concentraciones que puedan producir posibles efectos fitotóxicos. Además, el uso de digestatos de residuos de alimentos y de la fracción orgánica de residuos municipales fueron empleados como medio de cultivo para bacterias aisladas de una muestra de suelo, promoviendo su crecimiento y aumentando la actividad microbiana del suelo (Figura 2). Actualmente, digestatos derivados de diferentes residuos orgánicos se están evaluando en campo, comparándolos con lixiviados de vermicomposta y fertilizantes comerciales.

Dentro del proyecto, se busca la optimización de la producción de los digestatos y la recuperación de biocombustibles gaseosos, para lo cual, se busca el desarrollo de un sistema integral automatizado para producción de prebiótico agrícola. El sistema toma como base la automatización del proceso que se realizó en un proyecto previo, donde se instaló un sistema de monitoreo y control en una empresa que produce biofertilizante comercial por medio de digestión anaerobia de residuos orgánicos (Figura 3). El sistema contará con una interfaz gráfica que permita al usuario visualizar y programar todos los elementos del proceso, un biorreactor termostático automatizado o digestor anaerobio; un contenedor para recibir los residuos a utilizar y ajustar su pH; bombas de llenado, recirculación y vaciado; electroválvulas y un sistema de medición de biogás. En este sistema el usuario sólo se encarga de alimentar los residuos agrícolas y de obtener el digestato o prebiótico. De manera automática el sistema controla el pH, alimenta al digestor anaerobio, activa la recirculación periódicamente, mantiene la temperatura, monitorea continuamente el

biogás generado e indica al usuario con una alerta visual cuándo es prudente terminar la biorreacción. La principal característica del sistema será la capacidad de adaptarse a variaciones en la composición y concentraciones del residuo alimentado, generando una mejora progresiva en la calidad del digestato producido, así como una adaptación positiva y sinérgica de los microorganismos que llevan a cabo la digestión anaerobia. Finalmente, se prevé la posibilidad de agregar módulos antes o después del proceso, para satisfacer las necesidades de los posibles usuarios, como fases de pre-tratamiento de los residuos, un módulo de acondicionamiento y almacenamiento de biogás, u otros.

Finalmente, cabe remarcar que la producción de biofertilizantes es sólo una parte del proyecto de Grupos Interdisciplinarios de Investigación del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Se están conjuntando esfuerzos para desarrollar procesos eficientes mediante los cuales se aprovechen los residuos orgánicos para la generación de biocombustibles y productos de valor agregado, buscando que sean eficientes y económicamente viables. En este sentido, se plantean soluciones sostenibles de producción de bioenergéticos y bioproductos a partir de residuos considerando el contexto mexicano, en el marco de la economía circular y para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Figura 3. Instalación de un sistema de monitoreo y control en una empresa que produce biofertilizante a partir de residuos sólidos orgánicos



## CICLOS DE MANEJO VEHICULAR MEDIANTE ANÁLISIS DE MICROVIAJES

CEDILLO CORNEJO, E. I; GONZÁLEZ OROPEZA, R. I.  
Y VICENTE Y RODRÍGUEZ, W.

Para mitigar el deterioro de calidad del aire producido por emisiones contaminantes de fuentes como los vehículos terrestres, los gobiernos en cada región del mundo aplican acciones para protección ambiental como los programas para control de emisiones; en ellos, es usual incluir una evaluación vehicular en dinamómetro, que ocurre cuando un técnico capacitado opera un vehículo con sus ruedas motrices montadas en un rodillo dinamométrico mientras se simula un tránsito homologado, midiendo del tubo de escape la concentración de contaminantes como óxidos de nitrógeno, hidrocarburos inquemados, monóxido de carbono y dióxido de carbono, mediante la sonda de un analizador de gases, para verificar que no se rebasan los límites establecidos en la normativa vigente (Figura 1).

Un ciclo de manejo vehicular (driving cycle) es el componente que funciona como un ejemplo homologado de tránsito real, tanto para una evaluación en dinamómetro como para casos de simulación numérica que calculan los contaminantes emitidos por un modelo de vehículo; el ciclo está compuesto en su forma más simple por una curva que representa a la velocidad que todos los vehículos en medición deben seguir para que los resultados de contaminación sean comparables con los límites en normativa; los métodos generales que existen para construir ciclos emplean alguna técnica de análisis como microviajes, segmentos de tránsito, clasificación de patrones o modos de tránsito [2008 Dai].



Figura 1. Evaluación vehicular en un dinamómetro de Unidad de Investigación y Control de Emisiones

Para comercializar sus unidades los fabricantes automotrices certifican las emisiones contaminantes de sus vehículos nuevos; en Estados Unidos de Norteamérica, lo hacen a través del FTP-75 (Federal Test Procedure) y en la Unión Europea utilizan el WLTP (World Harmonized Light-duty vehicle Test Procedure). El New European Driving Cycle (NEDC) es el primer ejemplar método creado para transporte ligero en Europa, con cuatro segmentos de tránsito urbano que anteceden a uno de tránsito extraurbano (Figura 2).

En México, los fabricantes automotrices para comercializar sus vehículos nuevos certifican las emisiones contaminantes de éstos utilizando FTP-75, los primeros dos segmentos de NEDC se usan en las evaluaciones de Programa de verificación vehicular obligatoria [1997 DDF].

En otros países, para estas certificaciones, se han tomado en cuenta los datos de tránsito regional, la topografía, etc. Por ello, consideramos que nosotros también debemos registrar las condiciones locales tales como: autovías, topografía, a fin de obtener resultados de contaminación cercanos a la realidad local.

Recientemente, una serie de estudios se ha enfocado en construir ciclos de manejo vehicular para automóviles, autobuses urbanos y motocicletas, que servirán en el cálculo de los contaminantes que emiten esos vehículos en la Zona metropolitana del Valle de México; dos ciclos de manejo vehicular (nombrados según su duración en segundos) se han completado con datos de tránsito real en autovías extraurbanas (autopistas, carreteras, vías de acceso controlado), urbanas (avenidas), intraurbanas (calles), uno para motocicletas (Figura 3) y otro para automóviles (conocidos como "vehículos ligeros" en normas oficiales mexicanas, Figura 4); en ambos casos su gráfica muestra dos curvas formadas con datos en cada segundo del ciclo, una con aceleraciones y desaceleraciones representadas en los incrementos y decrementos de velocidad vehicular; la otra con subidas y bajadas de la autovía representadas en la

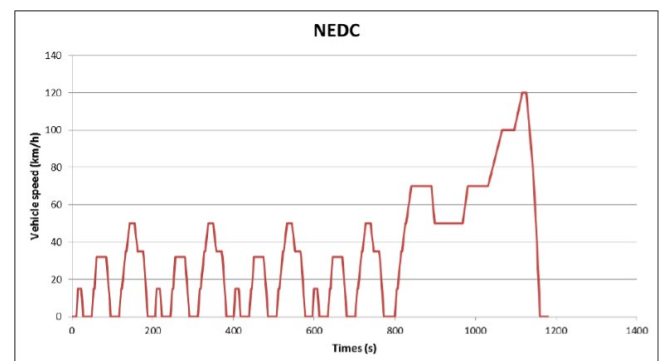


Figura 2. Ciclo de manejo vehicular NEDC [1990 ECE]



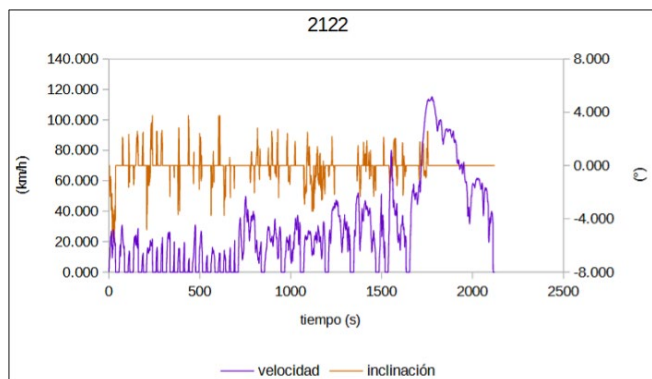


Figura 3. Ciclo de manejo vehicular 2,122 para motocicletas en Zona metropolitana del valle de México [2023 Guerrero]

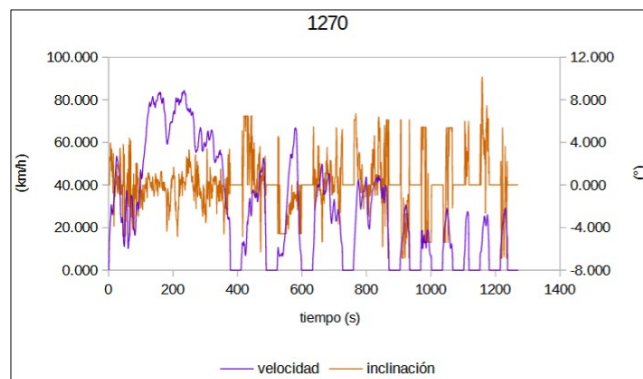


Figura 4. Ciclo de manejo vehicular 1,270 para automóviles en la Zona metropolitana del valle de México [2019 García]

inclinación vial; el ciclo 2122 para motocicletas tiene velocidad media de 38 km/h, velocidad máxima de 115 km/h, distancia total de 16,460m, periodo total cercano a 35 minutos (2,122 s); el ciclo de 1,270 para automóviles tiene velocidad media de 39 km/h, velocidad máxima de 83 km/h, distancia total de 9,681 m y periodo total cercano a 21 minutos (1,270 s); los estudios fueron desarrollados en la Unidad de Investigación y Control de Emisiones de la Facultad de Ingeniería con apoyo del Instituto de Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México.

La construcción de ambos ciclos se efectuó en seis etapas con un método que emplea análisis de microviajes [2008 Dai]: I) se definió un conjunto muestral con vehículos seleccionados para medición considerando algunas de sus características como son cilindrada, cantidad de cilindros y año de producción; II) se montó un rastreador con conexión satelital para registrar velocidad vehicular con inclinación vial en vehículos considerados en el conjunto muestral pertenecientes a participantes voluntarios cuyo tránsito ocurría en los tres tipos de autovías locales; III) se agruparon los datos en microviajes, o sea, cada segmento donde la velocidad vehicular crece y decrece desde un reposo hasta otro; IV) se agruparon los microviajes en categorías extraurbano, urbano, intraurbano, según su velocidad media (Figura 5); V) se concatenó en cada ciclo de una serie preliminar la mínima cantidad de microviajes que representan de mejor manera al tránsito de todos los vehículos analizados, por lo que el periodo total de cada ciclo construido es la suma de periodos de los microviajes que lo componen; VI) se seleccionó de la serie el ciclo más exacto por alcanzar un valor mínimo en el error relativo de su FIT (Factor de Irregularidad de Tránsito) comparado con FIT del tránsito real original; FIT es un cociente de la distancia que se recorre con aceleración positiva entre la distancia total, útil para expresar la agresividad de un ciclo, porque cuando su valor es mayor representa mayor cantidad de incrementos de velocidad en el ciclo analizado, eventos que caracterizan a un tránsito agresivo con gran emisión de contaminantes por la gran demanda de potencia requerida al motor del vehículo [Cedillo, 2019].

Se encontraron resultados interesantes tras comparar el nuevo ciclo de 1,270 con los tres ciclos convencionales (FTP-75, NEDC, WLTP); WLTP tiene la mayor velocidad máxima de todos, lo que puede atribuirse a que el tránsito extraurbano no es tan veloz cerca de Ciudad de México como en otras ciudades del mundo; WLTP y 1,270 tienen la mayor agresividad por su valor FIT y periodo estático similar; un indicio de que las mediciones con FTP-75 durante una evaluación en dinamómetro subestiman la emisión real de contaminantes en la Zona metropolitana del valle de México por imponer menor demanda de potencia que la presente en tránsito real; la similitud de microviajes, velocidad media, distancia recorrida, periodo total, entre NEDC y 1,270 demuestran una coincidencia de las interrupciones de desplazamiento entre el modelo europeo y el tránsito mexicano (Figura 6).

En síntesis, un ejemplar representativo del tránsito con vehículos en autovías de una localidad puede considerarse caracterizado por tres factores: I) el tipo de vehículo que se evaluará en dinamómetro; II) el tipo de autovía transitada, porque de ellas influyen cualidades como amplitud, cantidad de carriles, distancia entre cruces, semáforos y reductores de velocidad; III) la zona geográfica representada, porque de ella influyen cualidades como estilo de manejo vehicular, clima, topografía y/o extensión urbana.

Los dos ciclos de manejo vehicular presentados aquí, 2,122 para motocicletas y 1,270 para automóviles, son concatenaciones de microviajes que representan mejor al tránsito real que los ciclos convencionales en una evaluación vehicular porque contienen la información local de estilo de manejo, vehículos y autovías en la Zona metropolitana del valle de México.

Con cada desarrollo de ciclos de manejo vehicular se confirma la gran importancia de procurar la representatividad en datos, algoritmos y validación, de su proceso de construcción para que la exactitud entre el ciclo y el tránsito representado permita aproximar mejor los resultados de contaminación a la afectación real producida en la calidad del aire, tanto si el ciclo será empleado para evaluación en dinamómetro como para simulación numérica de contaminantes.

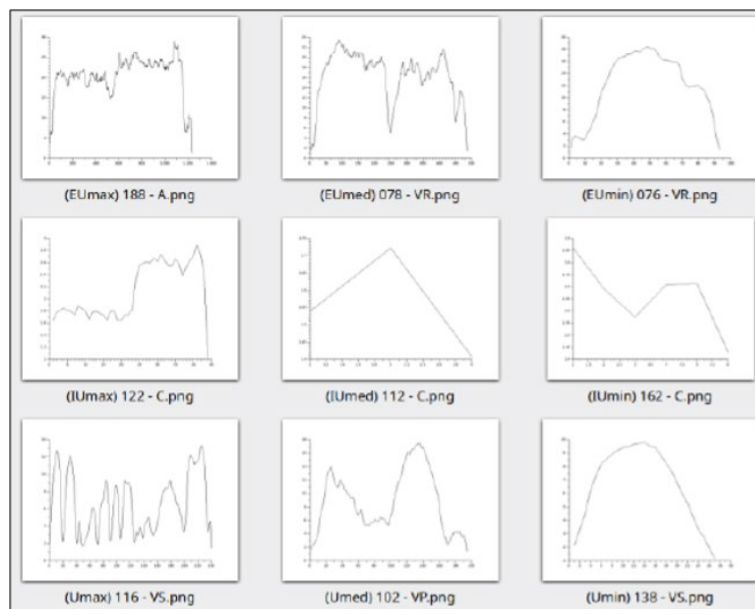


Figura 5. Colección de microviajes extraurbanos (fila superior), urbanos (fila inferior), intraurbanos (fila media), que se concatenan para construir un ciclo de manejo vehicular [Cedillo, 2019]

| ciclo de manejo vehicular           | FTP-75<br>[1975 EPA] | NEDC<br>[1990 ECE] | WLTP (C3)<br>[1998 ECE] | 1270<br>[2019 García] | 2122<br>[2023 Guerrero] |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| factor de irregularidad de tránsito | 0.813                | no calculada       | 1.656                   | 1.340                 | 1.140                   |
| micro-viajes                        | 23                   | 13                 | 7                       | 11                    | <u>30</u>               |
| velocidad media (km/h)              | 25                   | 33                 | <u>47</u>               | 39                    | 38                      |
| velocidad máxima (km/h)             | 91                   | 120                | <u>131</u>              | 83                    | 115                     |
| distancia (m)                       | 17770                | 10930              | <u>23266</u>            | 9681                  | 16460                   |
| periodo estático (s)                | <u>1026</u>          | 333                | 357                     | 385                   | 590                     |
| periodo total (s)                   | <u>2477</u>          | 1184               | 1800                    | 1270                  | 2122                    |

Figura 6. Comparación de algunos parámetros entre los ciclos FTP-75, NEDC, WLTP, 1270 y 2122

### Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT proyecto IG100222.

### Referencias

- [ECE, 1990] "World forum for harmonization of vehicle regulations" (UNECE/TRANS/WP29); United nations Economic commission for Europe, AD 1990.
- [DDF, 1997] "Programa de verificación vehicular obligatoria 1997 para el primer periodo" (1997-01-29); Departamento del distrito federal; Diario oficial de la federación, AD 1997.
- [Dai, 2008] "Driving cycles: a new cycle-building method that better represents real-world emissions"; Dai, Niemeier, Eisinger; University of California, AD 2008.
- [Cedillo, 2019] "Síntesis de ciclos de manejo vehicular para el análisis de emisiones contaminantes"; Cedillo Cornejo E.; Universidad Nacional Autónoma de México, AD 2019.
- [García, 2019] "Síntesis de ciclos de manejo vehicular para automóviles en la Zona metropolitana del valle de México"; García, Hernández; Universidad Nacional Autónoma de México, AD 2019.
- [Guerrero, 2023] "Aplicación de síntesis de ciclos de manejo vehicular a motocicletas de la Zona metropolitana de la Ciudad de México"; Guerrero Beltrán I.; Universidad Nacional Autónoma de México, AD 2023.

### PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

#### RECONOCIMIENTO SOR JUANA

Con el fin de rendir homenaje a la destacada labor académica 78 profesoras e investigadoras de la UNAM recibieron de manos del rector Leonardo Lomelí Vanegas el Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz.

En esta ocasión la Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández, investigadora de la Coordinación de Ingeniería Ambiental se hizo acreedora a esta distinción por lo que la felicitamos calurosamente.

Enhorabuena. |



#### CEREMONIA PROTOCOLARIA DE LA FIRMA DEL CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE EL IIUNAM Y LA EMPRESA ENGIE

El pasado 26 de febrero se firmó un convenio de colaboración entre la empresa ENGIE, líder mundial en energía y el Instituto de Ingeniería con el fin de realizar proyectos de investigación, intercambio de estudiantes y estancias académicas.

Con esta firma se formaliza la colaboración entre ambas instituciones para avanzar en la construcción de una nueva red de trabajo en este tema tan importante como es la energía, mismo que será abordado desde distintos ejes: industria, gobierno y la academia.

ENGIE, además, coincide en sus políticas con las del IIUNAM, ya que toma en cuenta la sustentabilidad y la equidad de género. Estamos convencidos que con este trabajo conjunto se beneficiará a la sociedad, a los académicos, a los estudiantes y a la empresa ENGIE.

Al terminar, la Dra. Ramírez Zamora invitó a toda la comunidad del Instituto de Ingeniería, para que participe con entusiasmo, energía y capacidades en esta nueva etapa que seguramente será muy exitosa.

Estuvieron presentes en la firma la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería, la vicepresidenta de Asuntos Gubernamentales y Sustentabilidad de ENGIE, Ana Ludlow, acompañadas del gerente de Relaciones Institucionales, Carlos Esquivel; Ariana Uribe de Recursos Humanos, Adriana Hernández de Comunicación, Alejandro Saucedo de Diversidad e Inclusión y Evelina Marín directora de Sustentabilidad; por parte del IIUNAM asistieron la Dra. Norma Patricia López, Secretaria Académica; la Mtra. Rocío Cassaigne, Secretaria de Vinculación; la Lic. Georgina Bazán, jefa de la Unidad de Convenios y Contratos, así como el Dr. Héctor Aviña, especialista en energía. |





## DÍA MUNDIAL DEL AGUA, IIUNAM 2024

Con el fin de celebrar el Día Mundial del Agua, el Instituto de Ingeniería de la UNAM organizó, por primera vez, una serie de conferencias; al dar la bienvenida, la Dra. Rosa María Flores a nombre de la directora la Dra. Rosa María Ramírez Zamora agradeció a los participantes haber hecho un espacio en sus agendas para abordar este tema que es de suma importancia. Por su parte, el Dr. Edgar Mendoza y la Mtra. Margarita Cisneros manifestaron su convicción de que, con acciones sencillas y científicas bien fundamentadas, con las pláticas de nuestros expertos podemos identificar qué necesitamos realizar para preservar el agua que es indispensable para la vida.



Dra. Rosa María Flores Serrano

La prioridad para el reúso de agua es seguir el patrón que se tenga en cada país, en algunos lugares se emplea para riego, en otros para consumo humano como es Namibia y Singapur, en otros para reúso industrial como Alemania y Estados Unidos, con estas palabras inició su intervención la **Dra. Blanca Jiménez Cisneros**, investigadora del IIUNAM, actualmente embajadora en Francia quien abordó el tema de **la Importancia del reúso de agua para la agricultura: tendencia internacional**.

Actualmente, la disponibilidad de agua no es suficiente para satisfacer la demanda y esto nos hace descubrir la importancia del reúso. Desde hace muchos años se conocen las ventajas y desventajas del reúso del agua, sin duda, el más importante es para el riego. El agua, a diferencia de otros recursos naturales no se destruye, por ende, siempre la hemos estado reutilizando, en ocasiones de una manera que no es la adecuada como es el uso de aguas negras para riego agrícola.

El reúso permite incrementar la disponibilidad, pero sobre todo, proporciona confiabilidad a los agricultores, pues deben suministrar agua a las plantas justo cuando éstas la necesitan, lo que permite tener mejores cosechas.

También, tenemos la desalación, pero es más costoso, se requiere de mucha energía para lograr separar las moléculas

que se agarran con mucha fuerza a la sal, si a eso le agregamos el transportarla hacia las zonas de riego el costo se incrementa considerablemente.

Además, los agricultores tienen mucha facilidad en aceptar el reúso, no así otros miembros de la sociedad, entre ellos, los ecologistas y algunas sociedades formadas en el tema de la salud por no entender el reúso del agua.

Sin duda, hay una gran cantidad de beneficios directos al ordenar el reúso, porque siempre conviene sacar el agua, utilizarla primero para tomar, luego, el agua que se utiliza en las ciudades reciclarla para riego en la agricultura, con esto se pueden obtener de tres a cinco cultivos al año en lugar de uno a dos que es cuando se utiliza el riego de temporal. Así, no sólo se apoya la seguridad alimentaria, además se incrementa los ingresos de las personas, así como el precio de la renta y venta de la tierra. Está contabilizado que donde hay agua de reúso suben los valores de los terrenos, se tiene un menor costo de suministro porque es mucho más barato reusar un agua que ya esté en superficie que sacar agua de los acuíferos porque hay que bombearla.

Pero, con el tema de cambio climático se ha encontrado que el reúso puede llegar a fijar cuatro toneladas de carbono por hectárea por año, esto también nos ayuda como medida de mitigación, es un fertilizante natural que no acidifica los suelos como los fertilizantes químicos, ayuda a contribuir y a formar el suelo al crear el humus; además, disminuye el empleo de energía por el uso de combustibles fósiles.

Como conclusión, es muy importante promover el reúso, incluso la agricultura, aun cuando se reúse, va a seguir teniendo una demanda muy importante de agua, por ello, es necesario trabajar con métodos que reduzcan la demanda de agua para riego.

No reconocer el reúso ni el reciclado del agua, simplemente es negar la realidad, de hecho, esto lo venimos desarrollando desde hace mucho tiempo y debe continuar -concluyó-.



Dra. Blanca Jiménez Cisneros



Dr. Rafael B. Carmona Paredes

El **Dr. Rafael Carmona Paredes**, investigador del IIUNAM actualmente comisionado como coordinador general del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), dijo que con el fin de optimizar la operación de una red hidráulica tan compleja como la de la Ciudad de México, en el **SACMEX** han desarrollado una plataforma que tiene datos hidráulicos, como son las presiones, los gastos y datos territoriales que contiene la información proporcionada por la gente, principalmente quejas; además, afirmó: hemos recopilado información de fallas en pozos, válvulas, compuertas, etcétera, para que con datos reales se logre la mejor distribución del agua en nuestra ciudad.

La información cruzada de estas dos plataformas nos permite revisar cada mañana, con los operadores de la red los problemas del día anterior, tener claridad de las condiciones de disponibilidad de agua, tanto de las entradas de agua en bloque como de los pozos dentro de la ciudad, anticipar problemas para los próximos días, semanas, meses, épocas y plantear opciones de solución; además, informar a los vecinos de zonas que podrían ser afectadas por reducción en el suministro de agua y programar apoyos de entrega de agua con pipas, por ejemplo.

En la plataforma hemos clasificado a la ciudad en distintas zonas de acuerdo con los sitios de entrada del agua, provenientes en su mayoría de las dos entradas principales de agua que se encuentran en el poniente: Lerma y Cutzamala, cuyos túneles desembocan en el municipio de Naucalpan, donde nacen los conductos que nos permiten traer el agua al interior de la ciudad.

También, tenemos, en la Gustavo A. Madero los tanques Chalmitta que son alimentados por agua del PAI norte que maneja la CONAGUA. Los tanques Santa Isabel en Chiconautla, que son alimentados por pozos que operamos nosotros en Ecatepec. La Caldera, en la zona oriente de Iztapalapa, en la parte más alta de la Sierra de Santa Catarina. Los demás son pozos y algunos manantiales en el poniente y sur de la Ciudad.

La plataforma nos indica, además de las zonas de influencia, cuánta agua tenemos en cada una de estas entradas, nos indica también los incidentes, o sea, los reportes de faltas de agua que comunica la población; en el C5 se clasifican y a nosotros nos llega lo que corresponde al agua.

La plataforma también nos permite conocer los pozos que están fuera de servicio porque están en mantenimiento, “cambio de bomba”, porque le robaron el cable, porque chocó un coche contra el poste donde está el transformador. Bueno, 480 l/s es más o menos un promedio del agua no producida por los pozos fuera de servicio.

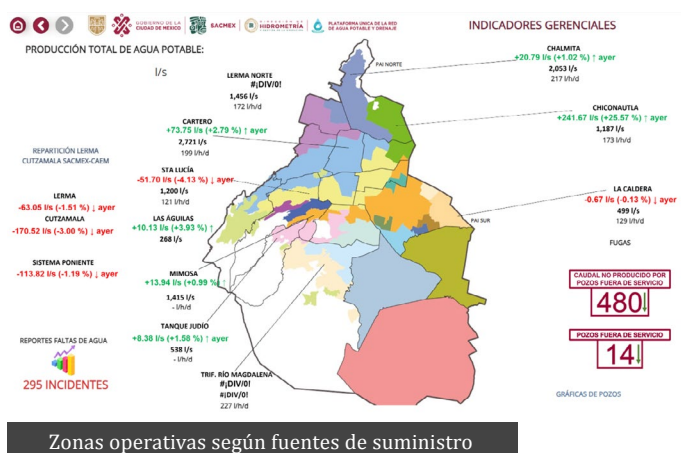
La primera reducción por parte del Cutzamala fue en septiembre de 2022, la siguiente fue en la semana del 16 de octubre de 2023, donde bajamos de 8,200 l/s para la Ciudad de México a 7,900-7,950, la que sigue fue el 11 de noviembre de 2023, con una reducción más fuerte, ahí se ve un escalón bajando de 8,000 a 6,000-6,200, la del 12 de enero de 2024, bajó de 6,200 a los 5,000 que tenemos actualmente

En enero de 2019 recibíamos 10,100 l/s del Cutzamala, hoy recibimos 5,000 l/s y hemos tenido que trabajar con eso apoyándonos en esta plataforma de datos que nos permite tomar decisiones, anticipar lo que puede pasar y mirar las cosas que tenemos que atender.

Otra herramienta que hemos desarrollado en el SACMEX es la plataforma donde ilustramos los reportes de cada día, ahí vemos los puntos donde la Ciudad tiene problemas por falta de agua, a diferencia de antes, ahora podemos ver si tenemos o no tenemos presión en una tubería, conocer cuál es el motivo y resolverlo.

En esta plataforma están identificados los puntos de entrada del túnel a Atarasquillo del sistema Lerma, del túnel Analco-San José del Sistema Cutzamala. A la salida del túnel Atarasquillo, en la zona de El Venado nacen dos líneas principales, el Lerma Norte y el Lerma Sur. El ramal norte del Lerma, pasando por la Caída del Borracho entrega agua para las Lomas de Chapultepec, seguimos hacia la zona de Miguel Hidalgo tanto centro como norte y más adelante hacia la zona de Azcapotzalco. Los ramales sur-poniente nos llevan agua para las distintas derivaciones que nos permiten traer agua hacia las alcaldías del centro de la ciudad: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Coyoacán y Tlalpan.

En la sesión de ayer vimos que el Lerma presentaba una disminución de 400 l/s, lo primero es ver ¿A qué impacta? Lo segundo



¿por qué está faltando agua del Lerma? Afortunadamente, ahora tenemos cuatro puntos de medición en Lerma, así es que, ya no es necesario recorrer los 100 km de distancia que tiene este río, podemos identificar más rápido el problema.

Un punto importante de control es El Venado, cuando hay variaciones en esta entrada se afecta el ramal norte. De la zona norte se alimenta San Joaquín en Las Lomas de Chapultepec, de ahí bajamos hacia los tanques de Dolores, los tanques Aeroclub 1, qué bañan a la parte norte de la Miguel Hidalgo y los tanques Aeroclub 2 y 3 son puntos de suministro y de entrada del agua a Azcapotzalco.

Ahora nuestra forma de trabajo consiste en analizar cada problema, por ejemplo ¿cómo logro evitar que todo el problema se cargue sólo en una zona de la ciudad?, por lo pronto, revisamos que todos los pozos de la zona afectada estén operando correctamente, organizamos las brigadas de pipas para atender los puntos débiles. Con la información que tenemos registrada hemos podido tomar acciones con antelación.

Actualmente, tenemos gran cantidad de información almacenada para toda la ciudad, por ejemplo, el 12 de enero fue el último recorte de Cutzamala por lo que tuvimos que hacer ajustes en la red para mejorar la distribución, en esta ocasión, afectamos a las Lomas de Chapultepec donde no están acostumbrados a no tener agua, entonces, tuvimos una buena cantidad de reportes y varias notas en los periódicos.

El análisis de la información, nos permite saber cómo responde la red ante variaciones, primero de las entradas de agua, segundo de las acciones que nosotros vamos haciendo sobre puntos donde podemos actuar para tratar de hacer cada día una mejor distribución.

En esta última semana de febrero y a principio de marzo, los problemas más fuertes se presentaron en Azcapotzalco por fallas en el sistema Lerma, en Cuajimalpa por variaciones en la entrada de agua del Cutzamala, en Iztacalco por pozos, en Tlalpan el comportamiento es errático, lo seguimos estudiando y analizando con base en esta información. Y así vamos viendo distintos escenarios, el de tres meses, el de tres semanas y podemos tener escenarios más grandes.

El sistema Lerma en cada estiaje del 15 de febrero al 15 de mayo toma agua para riego en las zonas agrícolas del Lerma, entonces, la cantidad de agua que entra a la ciudad disminuye. Analizando la información histórica de 2021 a la fecha, nos damos cuenta que entre el 15 de febrero y 15 de mayo con la poca agua que está llegando del Cutzamala podemos tener un gran problema, así que, es necesario tomar acciones importantes que iniciamos en noviembre del año pasado con la rehabilitación de pozos que tenemos en el sistema Lerma. Ahora el sistema Lerma está tomando 925 l/s para riego, agua que deja de llegar a la Zona Metropolitana del Valle de México, a la Ciudad de México y a los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Atizapán de Zaragoza.

Inmediatamente, después de la última reducción proveniente

del Cutzamala, el pasado 12 de enero llegamos a tener hasta 1,300 quejas, en este momento hemos logrado mantener el total de reportes de faltas de agua entre 200 y 400 con bastante menos agua que la que teníamos el año pasado a las mismas fechas.

Hoy operamos la Red de Distribución de Agua de la Ciudad de México con información en tiempo real que recibimos, ordenamos y clasificamos en las dos plataformas que les había mencionado, una de datos hidráulicos y otra de datos territoriales; pero más allá de generar bases de datos, debemos tener un compromiso mucho mayor y el compromiso es que el personal del SACMEX rompa con la vieja tradición de decir “pues si así se ha hecho durante más de 30 años, mi papá me dijo que el tanque se abre a las 6 y se cierra a las 12, ¿Cuánta agua hay? ah no sé, el tanque se abre a las 6 y se cierra a las 12”. Eso no puede ser.

Lo que queremos conseguir es que nuestros trabajadores adopten el análisis diario de la información como el camino correcto para avanzar hacia la excelencia operativa, todos los días a las 08:30 de la mañana con los operadores revisamos qué es lo que sucedió ayer, qué es lo que tenemos pendiente de días anteriores, qué es lo que puede pasar el próximo día, la próxima semana, en los meses siguientes o en la siguiente época de estiaje. Que hagan suya esta herramienta y esta metodología de trabajo para que puedan operar de mejor manera la red hidráulica de la CDMX que es muy compleja -concluyó-.



Mtro. Jorge Arriaga Medina

La siguiente presentación estuvo a cargo del maestro **Jorge Arriaga**, en representación del Dr. Fernando González Villarreal, director general del Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de la UNESCO e investigador del IIUNAM. El maestro Arriaga se refirió al libro *Perspectivas del Agua en el Valle de México*.

El Valle de México -comentó- es una cuenca endorreica que está a 2,200 m sobre el nivel del mar, de 9,600 km de superficie territorial. Es importante no poner en riesgo el abastecimiento de la Cuenca, porque implica aumentar la vulnerabilidad de 23 millones de personas y las actividades económicas que producen 25% del PIB nacional.

Cuando vemos las fuentes de abastecimiento, queda claro que el Día Cero no está en junio, porque el sistema Lerma





y Cutzamala simplemente aporta 28% del abastecimiento, 67% depende directamente de los acuíferos. De acuerdo con estudios realizados en el Instituto de Ingeniería, encabezados por el Dr. González, indican que estamos consumiendo el agua que lleva almacenada por más de 40,000 años en una sola generación. Así, el Día Cero no se presentará en junio de este año, pero puede estar en cuarenta años si continuamos con un escenario tendencial.

En la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), 70% del agua es de uso público urbano, por tanto, todo lo que podamos hacer en nuestros hogares, en la universidad tiene un impacto mayor en la disponibilidad de agua. A este uso le sigue el agrícola, el industrial y el de termoeléctricas, respectivamente. A nivel nacional, 76% del agua se emplea en la agricultura.

El Valle de México presenta grandes retos en sus fuentes de abastecimiento. Por un lado, la disponibilidad de aguas superficiales representa muy poco porcentaje de lo que consumimos y la calidad del agua va en deterioro.

Por otro lado, hablando de las aguas subterráneas, si continuamos con este escenario tendencial el acuífero contaría con una disponibilidad para dotar a la población por 40 o 50 años, pues en este momento se extrae 2.15 veces más del agua de la que se recarga.

Los impactos sobre los acuíferos son grandes. La recarga natural se ha ido disminuyendo como consecuencia de la ampliación de la zona urbana. La sobreexplotación provoca hundimientos diferenciales que impactan en la infraestructura. Como no podemos abastecernos con el agua que tenemos disponible dentro de la Cuenca, recurrimos a un sistema de abastecimiento y desalojo de agua residual muy complejo, que nos conecta con otras cuencas; estas entradas de agua al Valle de México se están viendo afectadas por esta sequía que comenzó desde el año pasado.

Con respecto a las aguas residuales, 85% del agua se expulsa hacia Hidalgo y sólo 12% se queda en el Valle. Necesitamos que el agua del Valle se quede en el Valle.

Además, tenemos una infraestructura que es insuficiente y se encuentra en deterioro, ejemplo de ello es que 40% del agua se pierde en fugas en las redes de distribución y 60% del agua se

pierde en el riego. En general, la infraestructura ha sobrepasado su vida útil. El sistema Cutzamala, se construyó para un horizonte de veinte años y lleva 42 años operando sin recibir un mantenimiento mayor que demandaría por el servicio que proporciona a 23 millones de personas. Hay miles de kilómetros de tuberías cuya vida útil está rebasada, incluso la de Ciudad Universitaria tiene más de sesenta años. Los sismos también han causado afectaciones en la infraestructura hidráulica.

Los desafíos son también de tipo institucional. De acuerdo con ANEAS, los cargos directivos de los organismos operadores se rotan cada 1.5 años, entonces, la capacidad que adquieren para dirigir un organismo operador es prácticamente nula. Por tanto, los prestadores de servicio de agua y saneamiento son poco eficientes y tienen problemas institucionales, económicos, financieros y técnicos. Es evidente también la ausencia de un organismo metropolitano que tenga autonomía para la toma de decisiones y coordinación de los actores.

En la elaboración del documento de análisis participó un grupo de expertos para plantear una estrategia de seguridad hídrica para el Valle de México, que tiene catorce acciones concretas con un horizonte para 2040 y con un costo estimado de implementación de 97,000 millones de pesos, adicionales a lo que ya se invierte.

Los recursos financieros provendrían de la reestructuración del fideicomiso 1928, de los recursos cobrados por derechos de agua en el Valle, de la concentración de subsidios para financiamiento de infraestructura regional y de una diversificación de fuentes de financiamiento.

Necesitamos un liderazgo que implemente acciones con visión de futuro, después necesitamos mejorar la gobernabilidad, creando esta institución que cuente con un comité de dirección donde esté el más alto nivel: la dirección general de la Comisión Nacional del Agua, la jefatura de Gobierno de la Ciudad de México y las o los gobernadores del Estado de México, Tlaxcala e Hidalgo para tomar decisiones de manera más expedita.

En cuanto a la Gestión Integral de los Recursos Hídricos, primero hay que reglamentar para saber la cantidad de agua que puede usar cada persona; también, hay que impulsar la recarga artificial y cancelar los aprovechamientos irregulares que, lamentablemente, ante esta situación de sequía, se están volviendo más frecuentes.

Ya se había pensado desde hace mucho la necesidad de una nueva fuente de abastecimiento, hay que darle mantenimiento mayor al sistema Lerma-Cutzamala, hay que renovar la red para reducir las fugas, después, hay que ampliar las coberturas entre los sectores rural y urbano; para el uso agrícola se propone racionalizar o cancelar el uso de agua de primer uso dentro del Valle de México, optar por el intercambio de agua potable por residual tratada, incluso, pensar en la tecnificación y modernización si las anteriores no fueran posibles. Estar comprometidos con la conservación y ampliación de las zonas de recarga, reforestación, vegetación y recuperación de ríos humerales.



Finalmente, necesitamos transitar hacia el desarrollo de ciudadanos hidro-inteligentes que estén bien informados. La creación de este Acuerdo por la Seguridad Hídrica en el Valle de México será presentada en el H. Congreso de la Unión por el Dr. González Villarreal, esperando que los poderes se adicione con el fin de alcanzar un compromiso político y contar con los recursos suficientes para implementarlo.



El **Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería** -afirmó el **Mtro. Alejandro Sánchez Huerta**, académico del IIUNAM- es un sistema de monitoreo de lluvia en tiempo real que inició su labor hace aproximadamente nueve años bajo la dirección del Dr. Adrián Pedrozo Acuña; actualmente encargado de la dirección del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que hoy en día me toca coordinar.

El Observatorio Hidrológico cuenta con 55 estaciones para la medición de lluvia en tiempo real; son estaciones de monitoreo de última generación, todas ellas localizadas en la zona metropolitana del Valle de México, en todas las alcaldías tenemos al menos una estación, además, en algunos de los municipios conurbados del Estado de México.

Para la medición de la lluvia existen métodos directos o indirectos. La medición indirecta se lleva a cabo a través de la interpretación de imágenes obtenidas por satélites o por radares meteorológicos en el Valle de México; el Sistema de Aguas de la Ciudad de México tiene en el Cerro del Estrella uno de estos radares precisamente. Esta técnica tiene amplia cobertura espacial, pero quizá adolece de precisión si queremos una medición muy puntual. Por otro lado, la medición directa permite medir la precipitación de manera muy precisa, muy exacta, pero si queremos tener una amplia cobertura espacial necesitamos tener una red de equipos de medición.

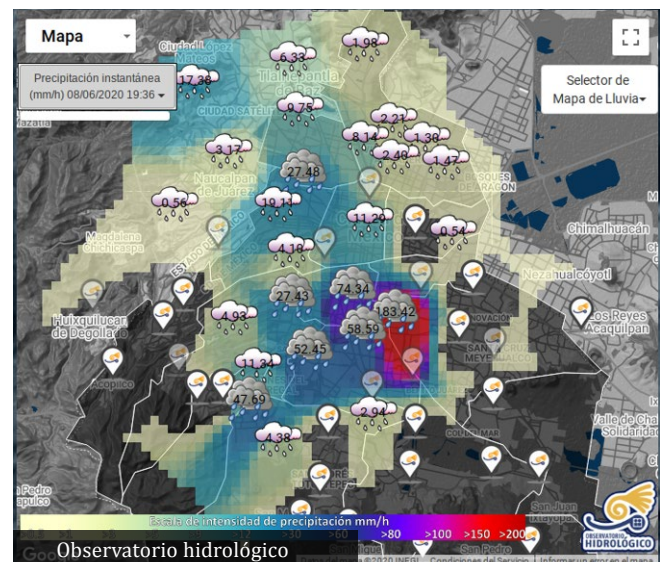
El Observatorio Hidrológico, considerado al inicio de su operación como la red de disdrómetros más grande del mundo tiene 55 estaciones equipadas, en algunas de ellas, con un disdrómetro óptico láser y otras con pluviómetro de pesaje, equipos

adaptados a la tecnología moderna capaces de registrar y medir la intensidad de precipitación de manera instantánea o acumulada. En el caso de los disdrómetros, es posible medir, además, muchos otros parámetros como la visibilidad del número de gotas y la energía cinética de la lluvia. Algo importante por destacar, es que los disdrómetros permiten determinar el tipo de precipitación, no es lo mismo agua que granizo, estos equipos nos permiten hacer esa distinción.

El Observatorio Hidrológico cuenta con 39 disdrómetros y 16 pluviómetros de pesaje. En cualquier caso, la estación cuenta además con paneles solares y un banco de baterías para la alimentación continua de energía eléctrica; cuenta también con una microcomputadora para la adquisición de los datos, acoplada a un módem celular que nos permite hacer la transmisión de la información.

De igual manera, la computadora permite almacenar información de forma tal que, si por alguna razón se interrumpe la comunicación con la red celular, la información no se pierde y puede ser presentada al usuario a través de la página web del Observatorio Hidrológico, mediante el envío de correos electrónicos a personas interesadas en recibir esta información, o a través de una cuenta de Twitter donde el usuario interesado puede recibir alerta de los fenómenos que se están presentando.

El Observatorio Hidrológico muestra la intensidad de precipitación en el Valle de México medida en milímetros por hora que indica la velocidad con la que se acumula la lluvia, donde cada milímetro de intensidad representa el verter un litro de agua por metro cuadrado de superficie. También, tenemos un mapa de precipitación acumulada y una tabla donde se ven los lugares donde se ha presentado la mayor precipitación acumulada en ese periodo que nosotros seleccionamos previamente.



La información recabada no sólo es muy útil para el usuario, también para las autoridades encargadas de la operación de los sistemas de drenaje de una ciudad, ya que pueden anticiparse y tomar decisiones.

Por último, con el apoyo de la Unidad de Patentes y Transferencia Tecnológica del Instituto de Ingeniería, que depende de la Secretaría Técnica de Vinculación, pudimos obtener el título de registro de marca a favor de la UNAM "Observatorio Hidrológico Instituto de Ingeniería".



Mtra. Nikté Ocampo Guerrero

Durante su participación la **Mtra. Nikté Ocampo Guerrero**, profesora de la Facultad de Ingeniería de la UNAM- comentó que es indudable el papel de las mujeres en la gestión sostenible de los **recursos hídricos y su impacto en la sostenibilidad del medio ambiente y la sociedad**, por ello, es necesario reflexionar sobre la misión que nuestra práctica ingenieril representa en el acceso equitativo al agua. En este caso, creo que es un factor de empoderamiento para las mujeres porque contribuye a abordar las causas profundas de la pobreza y la desigualdad.

El objetivo central del Día Mundial del Agua es lograr el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 de la ONU que es "Agua limpia y saneamiento" para todos en 2030. En el mundo hay 2,200 millones de personas que todavía viven sin acceso al agua potable, por ello, es importante apoyar este objetivo para lograr servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos.

En más de 80% de los hogares donde hay que ir a buscar el agua son las mujeres y las niñas las que se encargan de ello, es un rol de género a pesar de ser una tarea peligrosa y físicamente extenuante con consecuencias de afectaciones en la columna.

Los largos viajes a pie, a menudo más de una vez al día, pueden dejar a las mujeres y a las niñas vulnerables a ataques sexuales en senderos peligrosos y a menudo les impiden ir a la escuela por cumplir estas obligaciones. Así, el vínculo agua-género nos hace pensar que, sin servicios de agua, saneamiento e higiene gestionados de forma segura, las mujeres y las niñas se ven afectadas en

su capacidad para estudiar, trabajar y vivir con dignidad.

Es importante tomar en cuenta que las mujeres y las niñas necesitan un espacio limpio, funcional, con llave y segregado por género, con acceso a productos sanitarios y sistemas de eliminación para que puedan gestionar la higiene menstrual, el embarazo y el parto.

Los datos existentes sobre salud menstrual suelen referirse a las niñas y mujeres entre 15 y 49 años, a nivel mundial, este grupo ya comprendía casi 2,000 millones de mujeres en 2022; estamos hablando de 10% de la población que no tiene agua. Sin embargo, sus voces y sus necesidades a menudo están ausentes en el diseño y la implementación de las mejoras o la ampliación de los servicios, lo que garantiza una continua marginación.

Un dato interesante es que un millón de muertes al año están asociadas con nacimientos insalubres, las infecciones representan 26% de las muertes neonatales y 11% de la mortalidad materna. Estos son datos de UNICEF y la Organización Mundial de la Salud de 2019.

Para lograr la erradicación de la pobreza decimos que no sólo debemos alcanzar el objetivo 6, debemos vincularlo con otros objetivos: 1, 3, 4, 5, 8 y 11, para dar fin a la pobreza, trabajo decente, crecimiento económico, salud y bienestar, educación de calidad, igualdad de género, ciudades y comunidades sustentables.

Me gustaría pensar que nuestra práctica no sólo tiene la responsabilidad técnica de diseñar las infraestructuras, también, tiene la responsabilidad social de garantizar este acceso equitativo al agua; debemos considerar aspectos éticos de colaboración interdisciplinaria, de educación y de innovación porque la ingeniería puede contribuir significativamente a la promoción de esta equidad de género en el acceso al agua y en el cumplimiento de los Derechos Humanos fundamentales incluido el acceso al agua.

Al término del evento los asistentes pudieron disfrutar de la participación del Quinteto y Coro de Minería. |





## ANIVERSARIO Y RECERTIFICACIÓN ISO 9001:2015 DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL (LIA)

El Laboratorio de Ingeniería Ambiental obtuvo de nueva cuenta la recertificación ISO 9001:2015 que estará vigente por tres años, de octubre de 2023 a octubre 2026, con el compromiso de seguir cumpliendo con los requisitos que establece la norma internacional de referencia.

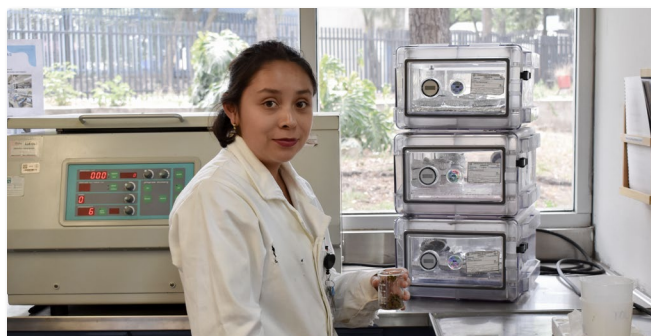
Para el Instituto de Ingeniería el LIA constituye un pilar importante para las investigaciones experimentales que se realizan en este centro de investigación; para el personal académico que se desempeña en este laboratorio es un orgullo contar con una distinción de primer nivel, lo cual, refrenda el compromiso de nuestro trabajo —comenta la Dra. Susana Saval, responsable del LIA—.

Además, el pasado 1 de abril se cumplieron veinte años de la reinauguración del Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA), tal como se encuentra en la actualidad. Ese mismo día se cumplieron diez años que el LIA adoptó el logotipo que



constituye un distintivo con el cual se identifica a este laboratorio, así como a todos los documentos de su Sistema de Gestión de la Calidad. Dicho logotipo cuenta con los registros de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial en las clases 16 y 41, obtenidos mediante la intervención de la Dirección General de Propiedad Intelectual de la UNAM.

Enhorabuena. |



## CHRISTIAN ABENDROTH, PROFESOR VISITANTE

Fortalecer la cooperación internacional entre universidades y fomentar la capacitación de los estudiantes en temas de ingeniería ambiental fueron los objetivos del curso Anaerobic Microbiomes and their Applications que impartió en el Instituto de Ingeniería el Dr. Christian Abendroth, profesor de la Universidad de Brandemburgo, Alemania, del 11 al 21 de marzo de 2024.

El curso organizado por el M. C. Constantino Gutiérrez Palacios y la Dra. María Neftalí Rojas Valencia tuvo una asistencia de 35 estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado en ingeniería ambiental.

Los temas abordados fueron: Photosynthesis, microbiomes, anaerobic digestion and dark fermentation, biochemistry of fermentation, taxonomic profiles of anaerobic digesters,



proteomic profiles of anaerobic digesters and manipulation of anaerobic digester microbiomes.

Agradecemos al Dr. Christian Abendroth su disposición para establecer lazos de colaboración entre ambas universidades. |



## NUEVO NOMBRAMIENTO



La Dra. María Eugenia Allende Aranda ha sido designada como jefa de la Unidad Académica Sisal, en sustitución del Dr. Christian Appendini Albrechtsen. Agradecemos al Dr. Appendini su trabajo, compromiso y dedicación durante su gestión y le deseamos éxito en su año sabático. Estamos seguros que la Dra. Allende tendrá un excelente desempeño. |

## "EL DEPORTE NOS UNE" JORNADA DEPORTIVA EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA

El fomento del deporte y la integración de la comunidad del Instituto de Ingeniería, fueron los pilares que dieron vida a la jornada deportiva con el lema "El deporte nos une"; actividad organizada por el Ing. Valente Vázquez Tamayo el pasado 5 de diciembre en el Estadio de Prácticas "Roberto Tapatío Méndez" de Ciudad Universitaria.

Con una atmósfera llena de energía, camaradería y competitividad, los miembros asistentes se unieron en una serie de

desafíos deportivos, tales como carreras de velocidad de 100 y 200 metros, tiros penales, competencia de dominadas, culminando con un apasionante encuentro de fútbol que reunió a equipos conformados por académicos, administrativos, honoristas y estudiantes, quienes demostraron su destreza en el campo de juego.

Este evento, el cual tuvo la participación de alrededor de 30 miembros de la comunidad del IIUNAM, no sólo reflejó el desempeño deportivo de los participantes, sino también el sentido de comunidad y pertenencia entre los asistentes.

Con estas jornadas deportivas se busca promover un estilo de vida activo y saludable, además de reforzar los lazos de quienes forman parte de esta comunidad. Te invitamos a participar en las siguientes actividades que el Instituto de Ingeniería tiene para ti. |





# 1er Congreso Internacional de **INGENIERÍA AMBIENTAL** — C I A M B —

19, 20 Y 21 DE JUNIO DE 2024

- SALÓN DE SEMINARIOS EMILIO ROSENBLUETH. EDIFICIO 1, INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
- SALONES DE USOS MÚLTIPLES DE LA TORRE DE INGENIERÍA

## EJES

- ✓ Contaminación Atmosférica
- ✓ Agua
- ✓ Suelo
- ✓ Residuos
- ✓ Sustentabilidad, Economía circular, Ciclo de vida

### DUDAS Y COMENTARIOS CON:

Alfredo Martínez Cruz - AMartinezCr@iingen.unam.mx

Erik Saúl Huidobro Medina - EHuidobroM@iingen.unam.mx

### COORDINADORA DEL EVENTO:

Dra. María Neftalí Rojas Valencia - Presidenta SACC-IA



Registro e inscripciones abiertas en:  
<https://forms.office.com/r/eKzeYy5uZM>

<https://eventos.iingen.unam.mx/CIAMB2024>



IMTA  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA  
DEL AGUA



CONSORCIO UNIVERSITARIO  
DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS  
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

