



# GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

ISSN: 1870-347X

No. 171 | marzo - abril 2025



Cromatografía de líquidos con detección de masas aplicado al estudio de moléculas de interés ambiental

Variabilidad espacio-temporal de la dinámica oceánica sobre la plataforma norte de la Península de Yucatán

Evolución de fases gaseosas en flujos de alta velocidad en reactores químicos industriales recirculantes

Costos de los viajes en transporte público en la zona metropolitana del valle de México

# EDITORIAL

Durante el segundo bimestre de 2025, en particular a lo largo del mes de marzo, hemos celebrado con diversos eventos el Día Internacional de la Mujer y, asimismo, varios de nuestros académicos han sido acreedores a premios y reconocimientos muy importantes.

En primer lugar, quisiera mencionar el ciclo de conferencias "Investigadoras pioneras del Instituto de Ingeniería", que fueron impartidas en orden cronológico por las doctoras Sonia Ruiz Gómez, Blanca Elena Jiménez Cisneros, Rosario Iturbe, María Teresa Orta Ledesma y Cristina Verde Rodarte. El objetivo principal de estas ponencias fue reconocer la excelente trayectoria de estas cinco académicas y que presentaran su opinión personal de los temas de investigación y desarrollo tecnológico, dentro de su área de expertise, que el II UNAM debería cultivar para seguir contribuyendo de manera significativa al bienestar de la sociedad y al desarrollo del país. Estas conferencias fueron muy exitosas, con una importante participación de asistentes y sirvieron también de inspiración para que niñas y jóvenes mujeres estudien una carrera en Ingeniería. Espero que este tipo de pláticas se pueda realizar en años posteriores en el mes de marzo, con la presentación de otras investigadoras y también de técnicas académicas.

En este mismo orden de ideas, el Dr. David Yáñez Santillán impartió una plática sobre Equidad, Diversidad e Inclusión en Ingeniería, en la que puso de manifiesto la necesidad de que en los centros de trabajo no solamente es importante no discriminar a las mujeres sino también a personas que presentan capacidades diferentes, por su religión, orientación sexual u otros motivos. Ambos tipos de ponencias fueron organizadas de manera conjunta por la Comisión Interna de Igualdad de Género y la Administración de este instituto.

De manera adicional, en presentaciones técnicas, la Dra. Despo Fatta-Kassinis, renombrada investigadora de la Universidad de Chipre, impartió la conferencia magistral denominada "Reutilización de agua regenerada: Beneficios, riesgos e innovaciones", en la que presentó los principales avances en investigación y en desarrollo tecnológico que se tienen actualmente en el tema; varios de estos están siendo abordados por académicos de la coordinación de Ingeniería Ambiental y de la Unidad Académica Juriquilla, pero otros como es la resistencia bacteriana a los antibióticos y los procesos de membrana para tratamiento de agua requieren ser desarrollados en nuestro instituto.

El II UNAM también fue sede de la XI Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en América Latina (CILCA 2025), con participación de 170 asistentes de más de 20 países, en la que presentaron trabajos para incidir de manera importante en el avance de esta temática que tiene un papel preponderante para la

toma de decisiones con base en la factibilidad de diversos procesos de áreas de la ingeniería.

Por otra parte, me congratulo enormemente por las distinciones ampliamente merecidas que han recibido la Mtra. Guadalupe Fuentes Mariles (Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz 2025), Dra. Sonia Ruiz (Premio Miguel A. Urquijo al Mejor artículo Técnico 2023), Dr. Juan Manuel Mayoral (Premio José A. Cuevas Mejor Artículo Técnico 2023) y el Dr. Ramón Domínguez Mora (Galardón otorgado por el CENAPRED en reconocimiento a su destacada trayectoria en la Gestión del Riesgo y la Protección Civil), a quienes envío una gran felicitación y mis mayores parabienes. Asimismo, felicito calurosamente a los miembros de la Subdirección de Hidráulica y Ambiental por el 65 aniversario de su creación. Esta Subdirección es la segunda de mayor antigüedad en nuestro instituto, y ha realizado grandes aportaciones para la adecuada construcción y operación de grandes obras hidráulicas para el abastecimiento seguro y eficiente de agua y de electricidad a la población. Aprovecho para felicitar a Oswaldo Guadarrama Cervantes como ganador del primer lugar del logotipo de este aniversario. En el marco de este aniversario y, con motivo de la celebración de la Semana de la Ingeniería, se realizarán pláticas técnicas y presentaciones artísticas del 9 al 13 de junio, un día particular para cada una de nuestras cuatro subdirecciones, culminando el último día con actividades deportivas dirigidas a los miembros de toda la comunidad de nuestro instituto. En la contraportada de esta Gaceta, se encuentra el programa general de estas jornadas; los invito a que estén atentos y participen en todas las actividades que se llevarán a cabo para darle mayor visibilidad a nuestras capacidades, pero también no se pierdan la convocatoria del evento deportivo para que inscriban sus equipos de fútbol y basquetbol. Espero que todo sea muy exitoso y agradezco a los subdirectores, subdirectoras y al Mtro. Xavier Palomas por la organización del evento deportivo y a las maestras Rocío Cassaigne y Dulce López y los colaboradores de ambas por el gran apoyo que están brindado para que todo se desarrolle en las mejores condiciones posibles.

Culmino enviando un caluroso abrazo y mi mayor reconocimiento a las mamás y al personal docente del II UNAM en su día, porque su importante labor contribuye a hacer mejores personas a quienes los rodean. |

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

Secretaría Administrativa  
Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez

Secretaría de Desarrollo Institucional  
Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz

Secretaría 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

Subdirector de Electromecánica  
Dr. Ramón Gutiérrez Castrejón

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  
M. en I. 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 II UNAM

Diseño  
Lic. Oscar Daniel López Marín

Corrección de estilo  
Ling. María de los Ángeles Negrete Orozco

## CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS CON DETECCIÓN DE MASAS APLICADO AL ESTUDIO DE MOLÉCULAS DE INTERÉS AMBIENTAL

DENISE REYES GARCÍA, DIANA GARCÍA AGUIRRE  
Y SUSANA SAVAL BOHÓRQUEZ

La cromatografía de líquidos (CL) es una técnica analítica fundamental para la separación, identificación y cuantificación de moléculas de interés presentes en mezclas complejas, que sean solubles en agua. Su aplicación medio ambiental es esencial para garantizar la calidad del agua, así como el cumplimiento de normativas ambientales. Por ejemplo, la cuantificación de plaguicidas en agua potable y superficial es crucial, ya que su presencia por encima de los límites permitidos puede afectar la salud humana y los ecosistemas, provocando toxicidad aguda o crónica en organismos acuáticos y bioacumulación en la cadena trófica. En el caso de aplicar la CL para estudiar la presencia de contaminantes en suelo y residuos, es necesario realizar una extracción y una limpieza de este extracto antes de su análisis asegurando que el extracto final esté disuelto en solventes orgánicos compatibles con agua.

Para su análisis por CL, las muestras ambientales deben estar en estado líquido, aunque las moléculas de interés ambiental pueden extraerse previamente de matrices sólidas o semisólidas mediante tratamientos físicos o químicos. Generalmente, las muestras se toman de diversas fuentes ambientales, como aguas superficiales (ríos, lagos, mares), aguas residuales, sedimentos, suelos, aire (a través de filtros) o incluso tejidos biológicos (peces y plantas), dependiendo del objetivo del estudio. Estos tratamientos pueden incluir derivatizaciones, extracciones líquido-líquido (L-L), sólido-líquido (S-L) o en fase sólida (SPE). La elección del tratamiento depende del tipo de muestra y las propiedades específicas de las moléculas, como sensibilidad a la luz, termolabilidad o polaridad.

La cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas (UPLC-MS/MS) permite no solo la cuantificación precisa de contaminantes, sino también el estudio de su degradación y transformación en el ambiente. Es importante destacar que, para que el espectrómetro de masas pueda detectar las moléculas, estas deben estar ionizadas, es decir, cargadas eléctricamente. Un ion es un átomo o molécula que ha ganado o perdido electrones, lo que le confiere una carga positiva (catión) o negativa (anión). El espectrómetro de masas no detecta moléculas neutras, ya que su funcionamiento se basa en la medición de la relación masa/carga ( $m/z$ ) de los iones. Esto es importante para desarrollar estrategias de remediación más eficientes y sostenibles. Conocer los

cambios en las moléculas, como la formación de subproductos de degradación, ayuda a predecir su impacto ambiental y a diseñar procesos de descontaminación más efectivos. Además, la capacidad de rastrear moléculas específicas en matrices complejas, como sedimentos o tejidos biológicos, aporta información valiosa para la toma de decisiones en ingeniería ambiental.

En el contexto anterior, la CL actúa como una herramienta de separación, mientras que la espectrometría de masas permite identificar y detectar las moléculas aisladas mediante sus espectros de masas comparados con materiales de referencia o estudios complementarios como Espectroscopia Infrarroja (FT-IR) y Resonancia Magnética Nuclear (RMN). Una ventaja clave de este acoplamiento es su capacidad para separar y analizar diferentes moléculas en el detector de masas dentro de un mismo pico cromatográfico que, utilizando otros detectores, no podrían ser resueltas. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 1, donde se presenta el análisis de un estándar en agua que genera un único pico cromatográfico, a pesar de contener tres iones diferentes. Este pico puede desglosarse en tres cromatogramas independientes, cada uno correspondiente a un ion específico, los cuales pueden ser observados y estudiados de manera individual en sus respectivos cromatogramas y espectros de masas.

### Calidad en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA)

El LIA opera bajo un Sistema de Gestión de la Calidad certificado por la norma ISO 9001:2015, que incluye dos procesos principales: determinaciones analíticas y diseño y desarrollo de métodos. Si el método solicitado no está implementado, se desarrolla uno nuevo, evaluando su desempeño antes de su aplicación. Para métodos ya establecidos, las muestras se analizan directamente, y los resultados se entregan en informes que cumplen con los requisitos de la norma ISO 17025:2017, aunque el LIA no esté acreditado. Estos informes han sido bien valorados en auditorías por su claridad y utilidad para la investigación.

En conjunto, estas acciones garantizan que el análisis cumpla con los objetivos de investigación y los estándares de calidad establecidos, consolidando a la LC-MS/MS como una herramienta indispensable para el estudio de moléculas de interés ambiental.

### El equipo UPLC-MS/MS-PDA del Laboratorio de Ingeniería Ambiental

El Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA) cuenta con un equipo UPLC-MS/MS-PDA, el cual combina un cromatógrafo de ultra eficiencia con un detector de masas y uno de arreglo de diodos. A diferencia del HPLC convencional, este sistema soporta presiones de hasta 15,000 psi, lo que reduce significativamente los tiempos de corrida y optimiza los análisis. El detector de

masas ofrece configuraciones MS y MS/MS, siendo esta última especialmente útil para mejorar la especificidad en la detección de moléculas.

Por su parte, el detector PDA funciona como un detector UV-Vis, proporcionando una resolución superior en el rango espectral. Cuando las moléculas cumplen con los requisitos para ser analizadas por ambos detectores, estos pueden utilizarse simultáneamente, mejorando la calidad y versatilidad de los resultados. Este servicio analítico, dirigido principalmente a académicos, requiere una comunicación efectiva y detallada desde la planificación del muestreo hasta la entrega final de los resultados.

### Cribado, Identificación y Cuantificación de Moléculas

El cribado tiene como objetivo detectar muestras que puedan contener moléculas de interés ambiental. Este enfoque permite analizar de manera simultánea un gran número de analitos en una cantidad significativa de muestras, logrando, por ejemplo, procesar hasta 100 analitos en 1,000 muestras con un solo método de extracción.

Tras el cribado inicial, donde se identifican muestras y moléculas de interés potencial, el siguiente paso es la confirmación de identificación. Este proceso requiere métodos de tratamiento y análisis más específicos, diseñados para aumentar la eficiencia de la extracción y asegurar la detección de los iones característicos en las proporciones esperadas. La identificación es un paso crucial, ya que garantiza que la cuantificación posterior sea válida y confiable. Para confirmar una molécula candidata identificada durante el cribado, el método de tratamiento de muestra y análisis debe optimizarse para esa molécula en particular. Esto incluye aumentar el porcentaje de extracción y observar los iones característicos en las proporciones esperadas.

La confirmación de identidad se logra principalmente mediante el uso de un material de referencia, aunque también pueden aplicarse criterios normativos, como la proporción porcentual del ion de identificación. En el caso de moléculas de reciente investigación, estos criterios pueden derivarse de artículos científicos. Una vez cuantificadas, los resultados pueden compararse con los límites máximos permitidos (LMP) establecidos en normativas, en caso de existir.

Es importante destacar que, aunque este tipo de proceso es una herramienta valiosa, su implementación completa requiere de recursos y capacidades específicas que pueden variar según el laboratorio. Por ello, el enfoque en el LIA se centra en contribuir a la investigación, optimizando los procesos analíticos dentro de nuestras posibilidades técnicas y operativas.

### Observación de moléculas producto del metabolismo o procesos de degradación

En la mayoría de estos casos, la molécula de investigación posiblemente se desconoce y/o no se cuenta con el material de referencia con el que se pueda identificar y cuantificar, entonces se trabaja con dos consideraciones: 1) Detectar las moléculas más estables y que se encuentran en suficiente concentración que permita su detección y 2) Los resultados de la abundancia se pueden lograr en porcentaje relativo a la respuesta de otro analito, comúnmente el analito del cual provienen.

Las relaciones  $m/z$  (masa/carga) que se buscan en el equipo de UPLC-MSMS pueden provenir de publicaciones científicas, del conocimiento de las rutas metabólicas o de los mecanismos de degradación.

El conocimiento profundo del comportamiento químico de las moléculas es esencial para diseñar estrategias analíticas efectivas. Propiedades como la polaridad, el peso molecular y la estabilidad

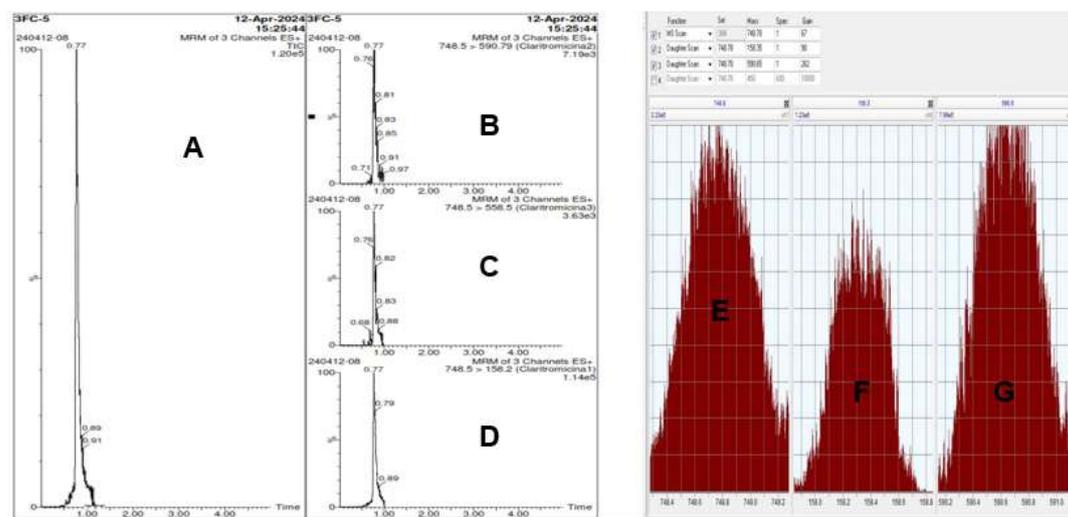


Figura 1. Cromatogramas y espectro de masas del estándar de claritromicina. A) Cromatograma de iones totales (TIC), que muestra la señal global de los tres iones detectados. B), C), D). Cromatogramas individuales de los iones 590.79, 558.5 y 158.2, fragmentos de la claritromicina. E) Espectro de masas del ion padre ( $m/z$  748.8). F), G) Iones fragmento ( $m/z$  158.3 y 590.6) resultantes de la fragmentación del ion padre 748.8

química pueden variar significativamente con factores como el pH, la temperatura y la exposición a agentes externos. Por ejemplo, el pH no solo afecta la solubilidad y la estabilidad de la molécula, sino también su estado de ionización, lo que influye directamente en su comportamiento durante el análisis por LC-MS.

Un ejemplo representativo es la saxitoxina, una neurotoxina que se encuentra principalmente en moluscos bivalvos, como mejillones, almejas y ostras, así como en su cadena trófica, donde se acumula a través del consumo de microalgas tóxicas, como *Alexandrium* spp., productoras de esta toxina. Esta molécula, cuyo estado de ionización y relación masa/carga (*m/z*) varían significativamente en función del pH del medio, representa un desafío analítico. Tal como se ilustra en la Figura 2, un cambio en el pH puede provocar la transformación de la molécula desde un estado

cargado positivamente a un estado neutro, lo que puede dificultar su detección o incluso llevar a su degradación al formar un hemiacetal y/o perder el grupo carboxamida. Además, este cambio puede alterar el ion objetivo para la detección, como *m/z* 141.1, 150 y 300, impactando directamente en la sensibilidad y reproducibilidad del análisis.

Cuando el análisis se enfoca en un ion específico, como el de *m/z* 300, es crucial ajustar el método para garantizar que las condiciones experimentales favorezcan la estabilidad de dicho ion. Este caso destaca la importancia de diseñar una estrategia analítica robusta desde el inicio, que considere no solo los posibles cambios en las propiedades químicas de la molécula, sino también la influencia de las condiciones experimentales en su detección y cuantificación. |

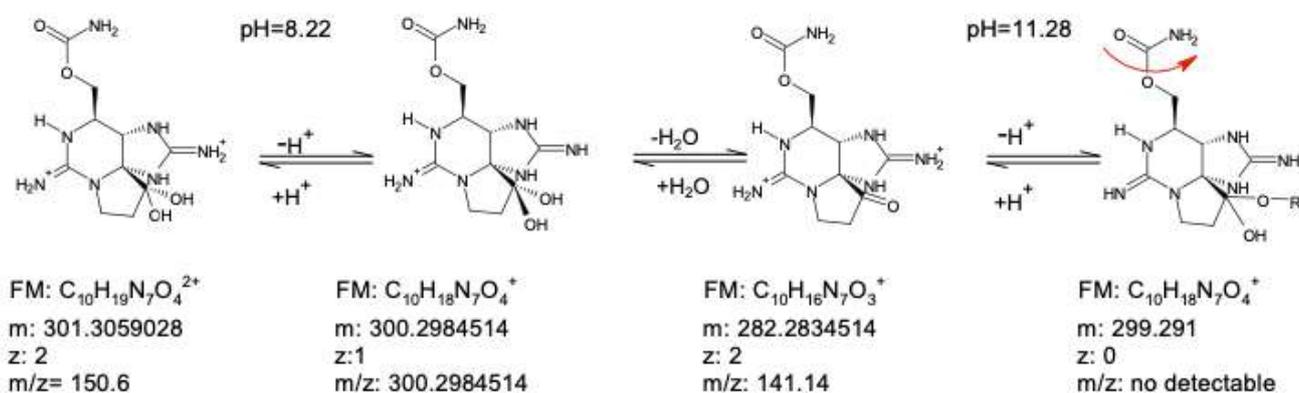


Figura 2. Ejemplo de la afectación de los cambios de pH sobre la detección en espectrometría de masas

## Bibliografía

- Martinez Reséndiz, B. G. (2024). Desarrollo de un método analítico para la determinación de saxitoxina en moluscos bivalvos liofilizados por cromatografía de líquidos de ultra alta resolución acoplada a espectrometría de masas (UPLC-MS/MS). (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, CDMX, México. Disponible en [http://132.248.9.195/ptd2024/abr\\_jun/0857963/Index.html](http://132.248.9.195/ptd2024/abr_jun/0857963/Index.html)
- Bello López, G. (2024). Remoción de claritromicina mediante oxidación avanzada con fotocatalizadores nanoestructurados de dióxido de titanio (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Ambiental-Agua, CDMX, México. Disponible en [http://132.248.9.195/ptd2024/oct\\_dic/0863410/Index.html](http://132.248.9.195/ptd2024/oct_dic/0863410/Index.html)
- Laboratorio de Ingeniería Ambiental. (2024). Apoyo analítico (Procedimiento, versión 11, código interno II-LIA-PSE-02). Instituto de Ingeniería. Disponible en el SharePoint del Laboratorio de Ingeniería Ambiental para los usuarios del laboratorio. Instrucción de trabajo del UPLC-MSMS.
- Organización Internacional de Normalización. (2017). Norma ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (traducción oficial). Ginebra, Suiza: ISO.
- Organización Internacional de Normalización. (2015). Norma ISO 9001:2015 Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos (traducción oficial). Ginebra, Suiza: ISO.
- Calza, P., Medana, C., Padovano, E., Giancotti, V., & Baiocchi, C. (2012). Identification of the unknown transformation products derived from clarithromycin and carbamazepine using liquid chromatography/high-resolution mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(14), 1687-1704. <https://doi.org/10.1002/rcm.6279>.
- Rogers, R. S., & Rapoport, H. (1980). The pKa's of saxitoxin. *Journal of the American Chemical Society*, 102(23), 7335-7339. <https://doi.org/10.1021/ja00543a038>

## VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA DINÁMICA OCEÁNICA SOBRE LA PLATAFORMA NORTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

GEMMA L. FRANKLIN,  
MA. EUGENIA ALLENDE-ARANDÍA,  
ALEJANDRO PALADIO Y J. A. KURCZYN

### Introducción

En México las zonas costeras son de gran importancia para la economía del país, ya que ofrecen una gran diversidad de recursos ecosistémicos. El 46 % del territorio se encuentra en la franja costera, con un estimado de 55.4 millones de habitantes a la fecha y se espera que para 2050 la población aumente a 65 millones (Azuz-Adeath *et al.*, 2019). Por lo anterior, entender los procesos que ocurren a lo largo de la costa es imprescindible para poder implementar medidas de mitigación y adaptación en cualquier región, considerando que son regiones altamente vulnerables a los fenómenos naturales, al cambio climático, al crecimiento económico y al desarrollo antropogénico.

La costa norte de la Península de Yucatán se extiende aproximadamente 380 km desde Celestún hasta El Cuyo y sus principales actividades económicas están relacionadas con el turismo y la pesca comercial. En esta región la variabilidad atmosférica contribuye de manera significativa a la dinámica del océano debido a la baja topografía y a la gran extensión de su plataforma continental, ancha y somera. Estudios previos, como el de Torres-Freyermuth *et al.* (2017), han reportado que las corrientes en la zona costera están dominadas por el oleaje local generado por el viento, mientras que las corrientes oceánicas sobre la plataforma continental responden a la dinámica atmosférica de escala sinóptica. Por lo tanto, la dinámica oceánica y costera de mesoescala en la región peninsular está asociada a la Corriente de Yucatán, los cambios en el nivel medio del mar, la dinámica atmosférica a diferentes escalas espacio-temporales y al oleaje (Enriquez *et al.*, 2010; Torres-Freyermuth *et al.*, 2017; Kurczyn *et al.*, 2024).

La mayoría de los estudios previos sobre las corrientes en la región han sido experimentos de campo de menor escala espacial (p.e. Torres-Freyermuth *et al.*, 2017) o de modelos numéricos de mayor escala (p.e. Ruiz-Castillo *et al.*, 2016; Enriquez *et al.*, 2010). En este contexto y para poder comprender de manera integral la dinámica regional, este estudio tiene como

objetivo caracterizar la variabilidad de las corrientes costeras a diferentes escalas espaciales (regional y local) y temporales (horas y meses) a lo largo de la costa norte de la Península de Yucatán (Figura 1).

Para ello, se implementó el modelo hidrodinámico Delft3D (Lesser *et al.*, 2004) como herramienta numérica que simula corrientes y olas, promediado en la columna de agua debido a lo somero de la plataforma de Yucatán, y la variabilidad atmosférica regional. En la configuración del modelo se utilizaron datos de velocidad del viento (a 10 m de altura del reanálisis ERA5 [<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>]), datos de velocidad de la corriente superficial (modelo HYCOM [Halliwell Jr., 1998; Bleck, 2002; <https://www.hycom.org/data/gomu0pt04/expt-90pt1m000>]) y datos de oleaje (altura significativa, período de ola y dirección del modelo WAVEWATCH III [WWIII V.6.07; <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>]).

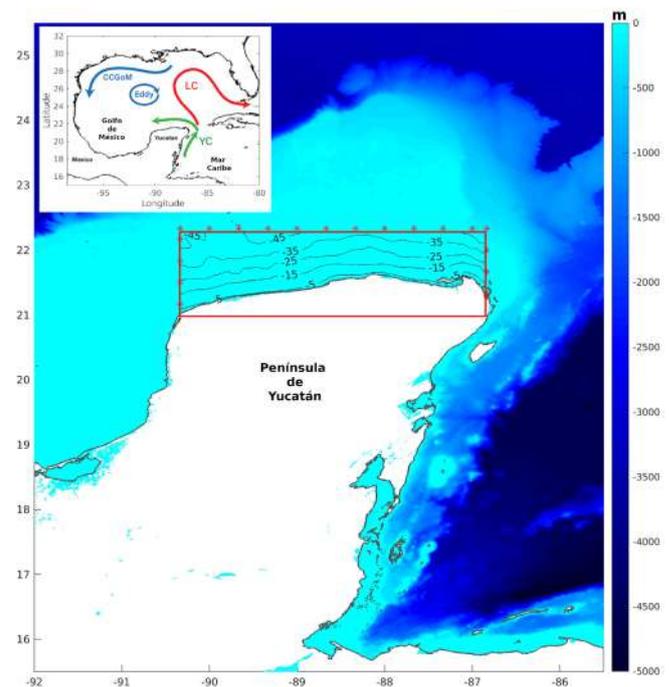


Figura 1. Área de estudio. Los colores indican la batimetría y el rectángulo rojo la costa norte de la Península de Yucatán. Las líneas dentro del dominio del modelo muestran la batimetría de alta resolución. Las cruces rojas representan los nodos donde los datos del modelo WWIII fueron empleados a lo largo de las fronteras del modelo Delft3D. El mapa del lado izquierdo muestra un diagrama de las principales corrientes y de la circulación general dentro del golfo de México (GoM), la Corriente de Yucatán (YC), la Corriente de Lazo (LC) y la Contra Corriente del GoM (CCGoM).

Considerando el año 2018 como un año de condiciones promedio en la zona, se realizó la simulación numérica de la hidrodinámica para la costa norte de la Península de Yucatán (PY) y utilizando una nueva metodología basada en redes neuronales no supervisadas, a partir de un análisis multivariado, se identificaron los diferentes patrones del campo dinámico que varían en tiempo y espacio. Esta técnica se le conoce como Mapas Auto-Organizados (SOMs por sus siglas en inglés) (Liu *et al.*, 2006).

## Resultados

Analizando los patrones espaciales de la costa norte de la PY se observa una corriente predominantemente de este a oeste (Figura 2), con velocidades máximas al este de la PY, asociadas a la Corriente de Yucatán (Manta *et al.*, 2023). De acuerdo a la variabilidad espacial de la dinámica sobre la plataforma la Figura 2a muestra los 6 Patrones (P) encontrados con los SOMs. El patrón con mayor ocurrencia fue el P2 con 22.63 %, seguido del P1 (18.14 %), P5 (16.16 %), P3 (16.13 %), P6 (15.17 %) y P4 (11.77 %). Cada uno de éstos se presenta en diferentes épocas del año y su ocurrencia está estrechamente asociada con la dinámica atmosférica. Por ejemplo, se encontró que el P5 tuvo mayor ocurrencia entre septiembre y marzo. Lo anterior se observa mejor en la Figura 2b donde el P5 aumenta desde agosto hasta alcanzar su máximo de ocurrencia en septiembre-octubre. En el caso del P4, muestra un mínimo de ocurrencia entre marzo y julio y máximos en enero y octubre. Tanto el P4 como el P5 tienen una variabilidad similar a lo largo del año, lo que sugiere que ambos patrones están asociados a la llegada de los frentes fríos (nortes) y a los eventos de tormenta (indicado por los vectores de corriente con origen del NE) que llegan a la región. Por otra parte, entre los meses de abril y agosto, la dinámica sobre la plataforma, de manera general, se puede decir que está dominada por las brisas terrestres y marinas, además

de observarse la influencia de la Corriente de Yucatán y los vientos del este (P1, P3 y P6). En particular el P2, con una mayor ocurrencia entre los meses de abril y julio, representa de forma evidente la intensificación de las brisas marinas. Lo anterior se puede observar en la Figura 2c, en donde se muestra el porcentaje de ocurrencia horario y se observa que la ocurrencia del P2 aumenta de las 11:00 UTC (05:00 hora local) hasta alcanzar su máximo a las 18:00 UTC (10:00 hora local), mientras que el P6 lo alcanza entre las 14:00-15:00 UTC (08:00-09:00 hora local). Esto coincide con un caso típico de brisas marinas (P2) y terrestres (P6) reportado por Allende-Arandía *et al.* (2022). Finalmente, el P1 muestra condiciones de transición entre las brisas (Figura 2a y 2c).

En cuanto a su variabilidad temporal, se identificaron un total de 9 Patrones (P). En este caso el análisis de los SOMs nos indica el porcentaje de cobertura que cada patrón tiene en la zona de estudio (Figura 3a) y la variabilidad temporal de cada área (Figuras 3b y 3c). Los resultados muestran que 7 patrones están asociados a la Corriente de Yucatán, P1-P4, P6 y P8-P9 (Figura 3a), sin embargo, los de mayor porcentaje de cobertura abarcan el 85.98 % del dominio (P5 y P7). Respecto a estos últimos dos patrones, se observa que su distribución espacial está delimitada por la batimetría de la zona, donde las corrientes más intensas se localizan a una profundidad >25 m (P5) y la corriente costera se ubica entre los 0 y 25 m de profundidad con velocidades máximas de  $0.2 \text{ ms}^{-1}$  y mayor variabilidad temporal (P7). También se puede observar en las series temporales, que las velocidades más intensas ocurrieron durante los meses de invierno y las más débiles durante los meses de verano (Figura 3b y 3c), lo que coincide y se asocia a la llegada de los frentes fríos y a los eventos de tormenta en la región. Estos máximos en la magnitud de la velocidad ( $\sim 4 \text{ ms}^{-1}$ ), se encuentran dentro del rango de velocidades reportadas en estudios previos como el de Torres-Freyermuth *et al.* (2017).

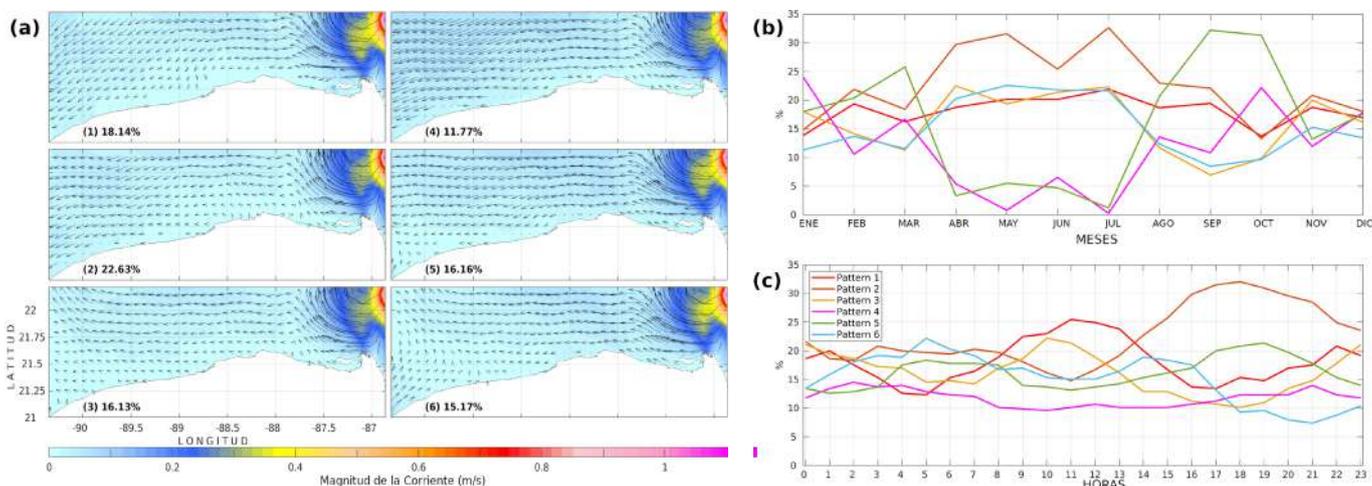


Figura 2. Patrones de ocurrencia obtenidos de los SOMs para la costa norte de la PY. (a) Los mapas muestran los patrones espaciales locales identificados por los SOMs. Cada mapa representa un patrón (como lo indica el número entre paréntesis), junto con su correspondiente porcentaje de ocurrencia espacial. Los colores representan la magnitud de la corriente ( $\text{ms}^{-1}$ ) y las flechas indican la dirección de la corriente. (b) Acumulado diario y (c) horario de los porcentajes de ocurrencia de cada patrón obtenido para el 2018

## Conclusiones

Este trabajo analiza a detalle la variabilidad espacio-temporal de las corrientes sobre la plataforma continental a lo largo de la costa norte de la Península de Yucatán a una escala regional. Los resultados muestran que esta región se pueden dividir en tres zonas de acuerdo a la dinámica observada: (1) al este, donde las corrientes están dominadas por la influencia de la Corriente de Yucatán y en menor medida por la Corriente del Lazo, caracterizada por tener una dirección dominante hacia el oeste; (2) la zona intermedia, la cual se puede considerar como una zona de transición, con una fuerte influencia de la dinámica proveniente del este pero también determinada por el forzamiento de los fenómenos atmosféricos (brisas de mar-tierra y vientos del norte); y la zona (3) al oeste, frente a la costa de Campeche, influenciada principalmente por los fenómenos atmosféricos (brisas de mar-tierra y vientos del norte). Estos resultados están respaldados por las tendencias generales reportadas por estudios previos a mayor escala para la plataforma continental. La importancia de la caracterización inicial de las tendencias y de los patrones de las corrientes costeras, sirve como base para futuros estudios utilizando periodos de tiempo extendidos y para estudiar los efectos del cambio climático.

## Agradecimientos

Agradecemos a la UNAM-DGAPA PAPIIT (IA101121), Cátedras CONAHCyT (1146) (ahora Investigadoras e Investigadores por México, SECIHTI) y al Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (299063). Agradecemos el apoyo técnico de Ana Ramírez Manguilar, Gonzalo Uriel Martín Ruiz, José López González y Juan A. Gómez Liera.

## Referencias

- Allende-Arandía, M. E., Zavala-Hidalgo, *et. al* (2022), Large diurnal wind variability over the western and northern Campeche Bank caused by the low latitude of the Yucatan Peninsula and its interaction with Easterlies. *Atmos. Res.*, 265, 105888.
- Azuz-Adeath, I., Rivera-Arriaga, E., *et. al* (2019). Current demographic conditions and future scenarios in Mexico's coastal zone. *JICZM/RGCI*. 19(2), 85-122.
- Bleck, R. (2002), An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean Modelling*, 4(1), 55-88.
- Enriquez, C., Mariño-Tapia, I.J., *et. al* (2010), Dispersion in the Yucatan coastal zone: implications for red tide events. *Cont. Shelf Res.* 30 (2), 127-137.
- Franklin, G. L., Allende-Arandía, M. E., Paladio-Hernández, A., & Kurczyn, J. A. (2025). Spatio-temporal variability of coastal currents along the Yucatan Peninsula using Self-Organising Maps. *Regional Studies in Marine Science*, 83, 104098.
- Halliwel Jr., G.R. (1998), Simulation of North Atlantic decadal/multidecadal winter SST anomalies driven by basin-scale atmospheric circulation anomalies. *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 5-21.
- Kurczyn, J.A., Beier, E., *et. al* (2024), Thermohaline and current variability off the west Yucatan Peninsula coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.
- Lesser, G. R., Roelvink, J. V., *et. al* (2004). Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal engineering*, 51(8-9), 883-915.
- Liu, Y., Weisberg, R. H., *et. al* (2006), Performance evaluation of the self-organizing map for feature extraction. *JGR*, 111(5), C05018.
- Manta, G., Durante, G., *et. al* (2023). Predicting the Loop Current dynamics combining altimetry and deep flow measurements through the Yucatan Channel. *Front. Mar. Sci.*, 10, 1156159.
- Ruiz-Castillo, E., Gomez-Valdes, J., *et. al* (2016). Wind-driven coastal upwelling and westward circulation in the Yucatan shelf. *Cont. Shelf Res.* 118, 63-76.
- Torres-Freyermuth, A., Puleo, *et. al* (2017), Nearshore circulation on a sea breeze dominated beach during intense wind events. *Cont. Shelf Res.* 151.

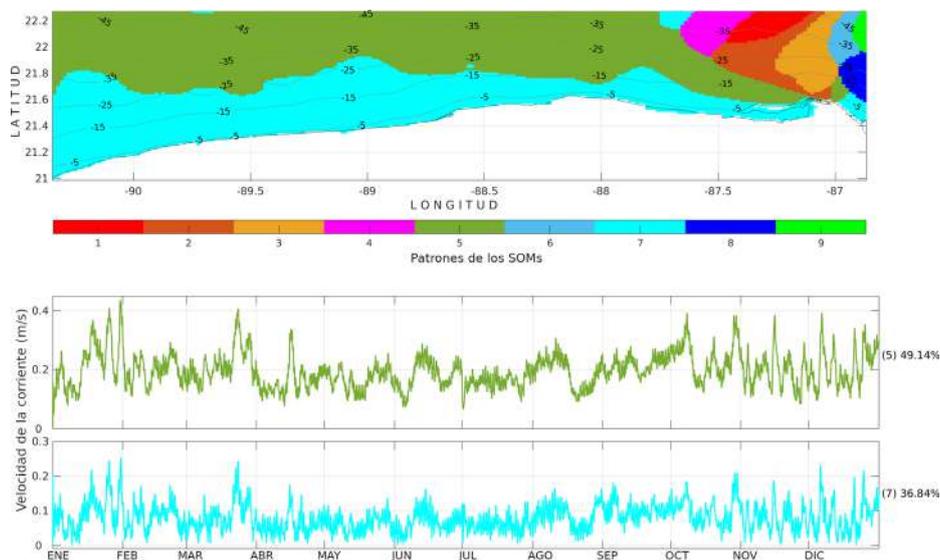


Figura 3. Patrones de cobertura obtenidos de los SOMs para la costa norte de la PY. (a) El mapa muestra los patrones temporales identificados por los SOMs. Las curvas de nivel indican la batimetría. Los colores indican el área que ocupa cada patrón en la zona de estudio. (b) y (c) son las series de tiempo (líneas verde y cian) que representan la variabilidad temporal que cada patrón (área del mismo color) tiene. El porcentaje de cobertura está indicado con el número entre paréntesis para cada serie de tiempo

## EVOLUCIÓN DE FASES GASEOSAS EN FLUJOS DE ALTA VELOCIDAD EN REACTORES QUÍMICOS INDUSTRIALES RECIRCULANTES

MATEI BADALAN, JONATHAN HERNÁNDEZ-GARCÍA,  
ALEJANDRO RODRÍGUEZ, ARTURO PALACIO  
Y ENRIQUE GUZMÁN

### 1. El problema de los flujos bifásicos rápidos en reactores químicos

Los reactores químicos constituyen una parte integral de procesos de síntesis en la industria de productos y derivados químicos, de alimentos, petroquímica, farmacéutica, de materiales para la construcción, de materiales avanzados para aplicaciones en ingeniería, agroquímica, y metalúrgica, entre otras. También son fundamentales en los laboratorios especializados en el desarrollo de biotecnología, de aplicaciones biomédicas, así como en la investigación fundamental que se lleva a cabo en diversas áreas de la ciencia y la ingeniería. Por ejemplo, la figura 1a muestra un reactor químico en un laboratorio especializado en el desarrollo de tecnología para usos del hidrógeno.

Conceptualmente, la eficiencia de los reactores químicos y bioquímicos puede incrementarse cuando el flujo transcurre por un circuito cerrado (como el que se muestra en la figura 1b). Esta novedosa configuración permite que los agentes químicos y biológicos circulen varias veces a través del dispositivo sin que ocurra separación de fases, incrementando así el tiempo de residencia que favorece la interacción entre los agentes químicos.

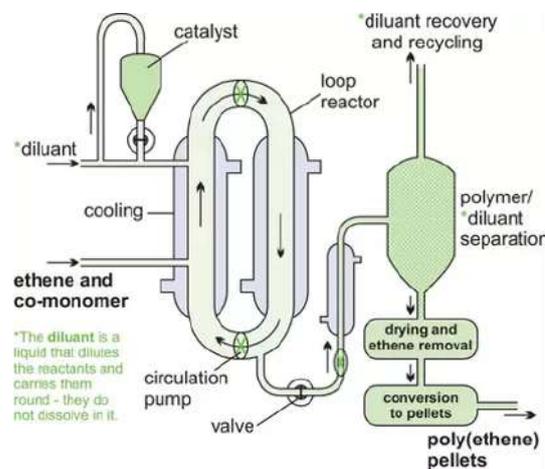


(a)

Según se desprende de la investigación bibliográfica preliminar, este caso de estudio constituye un tema fundamental de investigación con muy pocos antecedentes reportados en la literatura abierta<sup>[1-3]</sup>. La mayoría de los estudios precedentes de bio-reactores con circulación externa (“external loop”) se enfocan en los flujos de tipo bombeo penumático (“airlift”), o en flujos de baja velocidad. En muchos casos, el flujo bifásico tiene las propiedades deseadas únicamente en la parte ascendente por lo que el separador se coloca en la parte superior del reactor<sup>[4-10]</sup>. Esto contrasta con el concepto propuesto, cuyo diseño incorpora una circulación completa para favorecer el desarrollo de las propiedades deseadas en el flujo bifásico en todo el conducto. En este diseño, el proceso continúa en el tramo descendente y culmina en el separador instalado en la base del conjunto.

Cabe notar que la escasez de información relacionada con las características específicas de diseño, los intervalos operativos óptimos, los efectos hidrodinámicos (y su influencia en las propiedades de los productos), y la eficiencia general del proceso, obligan a los investigadores a desarrollar nuevas técnicas para analizar este caso. El II UNAM responde a este reto formulado un plan de investigación, en colaboración con el Instituto Francés del Petróleo y Energías Nuevas (IFP-EN), que conjuga los siguientes elementos:

- a) Desarrollo conceptual de un sistema análogo para efectos de estudio
- b) Desarrollo del estudio experimental
- c) Desarrollo de las simulaciones numéricas



(b)

Fig. 1 Reactores químicos. La imagen (a) muestra un reactor de investigación para baterías nucleares, almacenamiento de hidrógeno, catálisis y celdas de combustible (tomada del Canadian Nuclear Laboratories, Hydrogen Research Facility; <https://www.flickr.com/photos/cnl-inc/28688488086>). La imagen (b) ilustra los principales elementos de un reactor catalítico recirculante para la polimerización del etileno

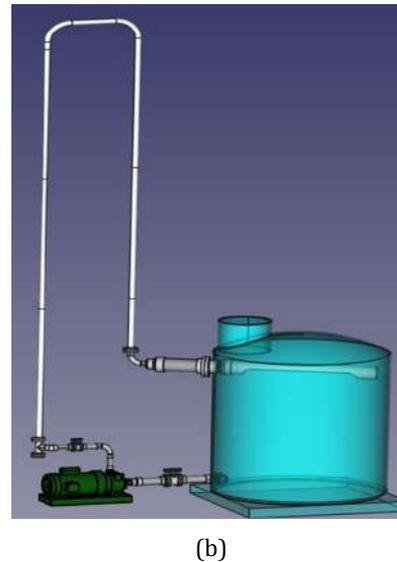
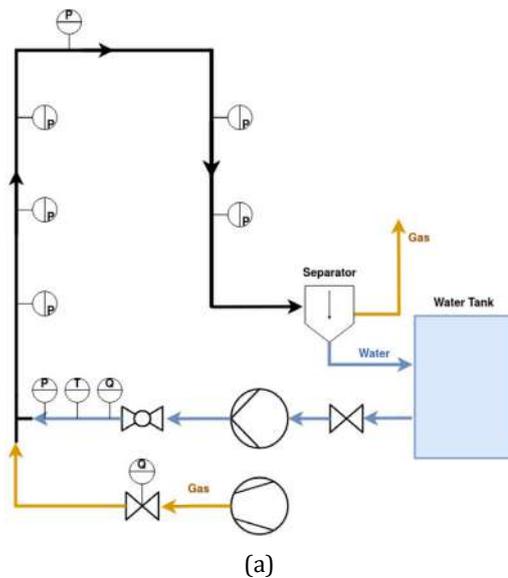


Fig. 2 Esquema del dispositivo experimental. La imagen (a) muestra la localización de la instrumentación y el modo de operación. La imagen (b) muestra la disposición física de los elementos del circuito

## 2. Programa de investigación

Con base en lo anterior, actualmente el proyecto se desarrolla a lo largo de dos vertientes principales: a) la numérica y b) la experimental (en Laboratorio de Flujos Multifásicos del Instituto de Ingeniería UNAM). La figura 2 muestra el esquema operativo (Fig. 2a) y el diseño del dispositivo experimental que integra los elementos principales de los reactores recirculantes (Fig. 2b). Se observa que el flujo transcurre a través de un tubo de diámetro constante (de 0.05 m) que configura un circuito cerrado. La fase líquida es impulsada (desde el tanque de acumulación) por una bomba centrífuga hacia el punto de inyección (I). Simultáneamente, el compresor circula una masa constante de aire a través del regulador (F), para inyectarla en la fase líquida por medio de una “esprea” especialmente diseñada (I). La mezcla de fluidos circula por la tubería de la sección de pruebas (en negro) hasta el separador (A). Tras la separación, el aire puede ser recirculado o ventilado a la atmósfera (C) y el agua retorna al tanque de almacenamiento (B). El circuito se recircula a través del punto (D) que contiene una válvula de control.

Como parte del programa experimental se tiene previsto que los experimentos se realicen con agua y aire en la etapa de calibración y durante las primeras pruebas. Seguirá una segunda etapa en la que se incorporen agua y gases de alto peso molecular (por ejemplo, hexafluoro de azufre, SF<sub>6</sub>) para estudiar los efectos asociados al peso del gas.

La sección experimental (mostrada en negro) está totalmente instrumentada con una serie de transductores de presión colocados en puntos equidistantes predeterminados. Asimismo, se instalarán termopares en puntos de control específicos. Se hace notar que la sección de pruebas está construida, íntegramente, con tubos transparentes de acrílico de 0.05 m de diámetro, para facilitar la utilización de la técnica de Velocimetría por Seguimiento de Sombras de Partículas (PSTV por sus siglas en inglés). Los intervalos experimentales de interés se resumen a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Intervalos operativos del dispositivo experimental

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Presión absoluta	$1 \times 10^5$	$7 \times 10^5$	Pa
Velocidad superficial de líquido	1	10	m/s
Velocidad superficial de gas	1	2	m/s

Con base en los resultados de la técnica de escalamiento, el patrón de flujo dominante dentro de los intervalos operativos previstos es el flujo disperso (Fig. 3).

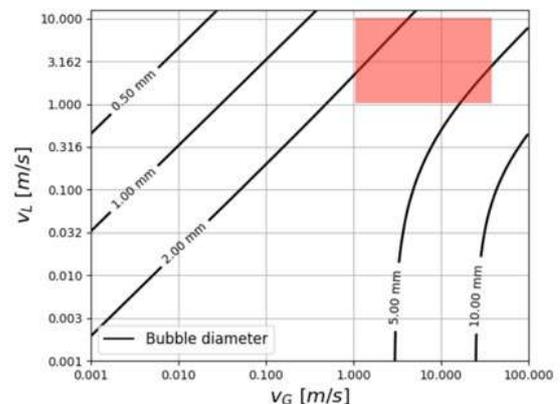


Fig. 3 Patrón de flujo dominante. Los resultados obtenidos con distintas correlaciones se muestran como regiones en color superpuestas sobre el mapa de Griffith y Wallis<sup>[15]</sup>

Por otra parte, la vía numérica del estudio también presenta múltiples retos técnicos. Algunos de ellos son centrales para determinar adecuadamente las propiedades de la fase dispersa y su interacción con la fase continua. Una limitación técnica importante es el tamaño relativo de las burbujas de gas con respecto a la malla. Cuando el tamaño de la malla es inferior al tamaño característico de las burbujas, el cálculo captura adecuadamente el número y configuración de las burbujas (Fig. 4a). En contraste, cuando el tamaño de la retícula es superior al de las burbujas, la resolución numérica es inadecuada y no es posible calcular correctamente las propiedades de la fase dispersa (Fig. 4b). Esto impide calcular: a) las características estructurales del flujo en el interior del tubo y los respectivos procesos de aglomeración, coalescencia, y fragmentación; y b) los efectos dinámicos asociados a dichos procesos, tales como fluctuaciones de las presiones, velocidades, y densidades. En una primera aproximación, se ha optado por desarrollar un modelo Euleriano-Euleriano con el objeto de evitar algunos de los problemas señalados.

### 3. Resultados preliminares

El modelo numérico considera una malla altamente regular, no obstante, cerca de las paredes de la tubería se hace un refinamiento significativo de la malla con el objeto de obtener valores aceptables de los gradientes (Fig. 5a). La figura 5b muestra los resultados del cálculo preliminar. Se puede observar que el flujo tiene comportamientos diferentes en las distintas secciones del circuito. Durante su ascenso a través del primer tramo vertical, existe un alto grado de simetría en el perfil de velocidades y en la correspondiente distribución de la fase dispersa. Por su parte, en el tramo horizontal existe una mayor concentración de la fase gaseosa en la parte superior del conducto. Finalmente, el perfil de velocidad en el tramo descendente sugiere que ambas fases fluyen concurrentemente con velocidades similares. Según las primeras estimaciones de orden de magnitud, los efectos de flotación de la fase dispersa son insignificantes comparadas con las fuerzas de arrastre en casi toda la sección de pruebas.

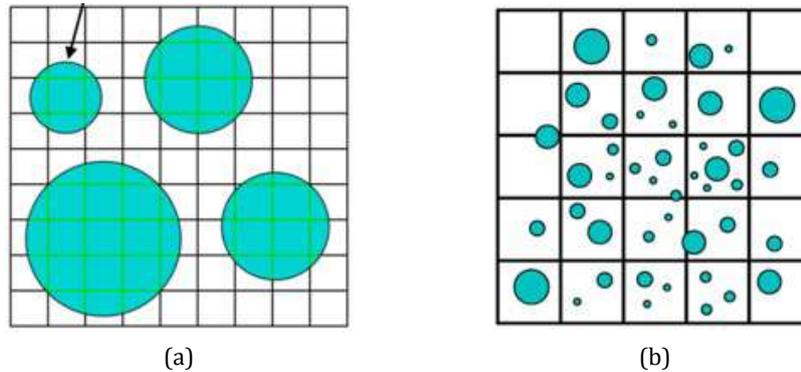


Fig. 4 Limitaciones de modelado. La malla computacional (a) captura correctamente el número y tamaño de las burbujas, mientras que la malla (b) no “registra” estas características

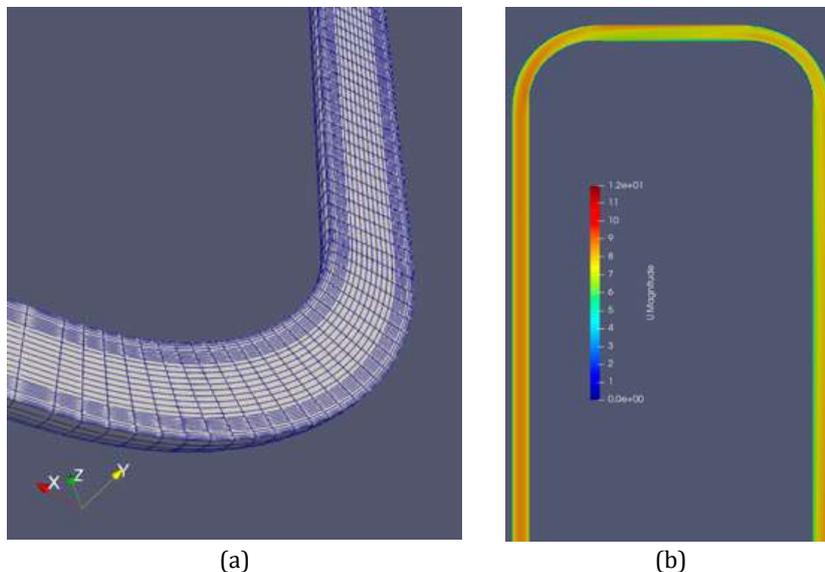


Fig. 5 Simulaciones. La imagen (a) muestra la malla en una sección del dominio. La imagen (b) muestra la magnitud de la velocidad a lo largo del circuito

La figura 6 muestra el promedio temporal de la distribución de la fracción de vacío (es decir, de la cantidad de gas que existe en la sección transversal). Se observa la comparación entre el perfil radial, calculado con el modelo recientemente publicado por el Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR), y los resultados experimentales producidos por [ver referencias 11 y 12]. Claramente, en el régimen de alta velocidad el modelo no produce predicciones aceptables de las características del perfil de la distribución en diferentes localidades a lo largo del tubo ascendente.

Esta limitación ha motivado un trabajo de remodelado en el que se corrigen los efectos físicos producidos sobre la fase gaseosa en la región cercana a la pared del conducto. En particular en el modelo base se ha desarrollado sobre la base de los modelos lubricación de Antal y de fuerzas de sustentación de Tomiyama, en lugar de los respectivos modelos de Hosokawa y Hessenkemper [13,14]. El resultado es un “modelo optimizado para altas velocidades” en el que se han revisado las consideraciones sobre los procesos de arrastre, sustentación, coalescencia, y ruptura de las burbujas. También se han revisado los aspectos relativos a la deformación de las burbujas por efectos hidrodinámicos. En conjunto, las nuevas consideraciones introducen cambios en la relación de fuerzas causadas por fluctuaciones en el transporte de momento cerca de la pared y otros efectos. Esta primera etapa de modelado ha conducido a los resultados mostrados en la figura 7.

Como se puede observar, el nuevo modelo “optimizado” para altas velocidades mejora considerablemente la predicción del perfil de la fracción de vacío (Fig. 7a). El código de color para cada curva y serie experimental corresponde a tres planos de medición dispuestos consecutivamente a lo largo del tramo vertical ascendente. Los colores corresponden, respectivamente, a los planos consecutivamente localizados a 30, 66 y 110 diámetros, medidos de la base del tubo vertical.

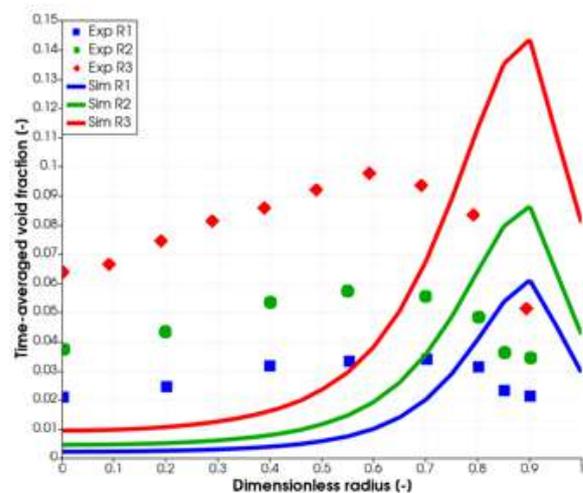


Fig. 6 Distribución de la fracción de vacío. Los datos experimentales se muestran como puntos y la predicción numérica como líneas continuas. Respectivamente, azul, verde y rojo, corresponden a las posiciones  $L/D = \{33, 66, 110\}$

#### 4. Comentarios finales

Aunque hemos descrito una investigación en curso, es posible poner a consideración del lector las siguientes observaciones: 1) Los procesos de aglomeración, ruptura, y coalescencia requieren una profunda revisión y mejoras, porque éstas dependen fuertemente del régimen hidrodinámico que prevalece en cada punto del circuito de flujo. 2) Se debe hacer especial énfasis en el desarrollo del tamaño de las burbujas y de su geometría, porque también dependen del régimen hidrodinámico. 3) Es preciso mejorar los modelos para las interacciones turbulentas y el arrastre sobre las burbujas, sobre todo en los tramos verticales.

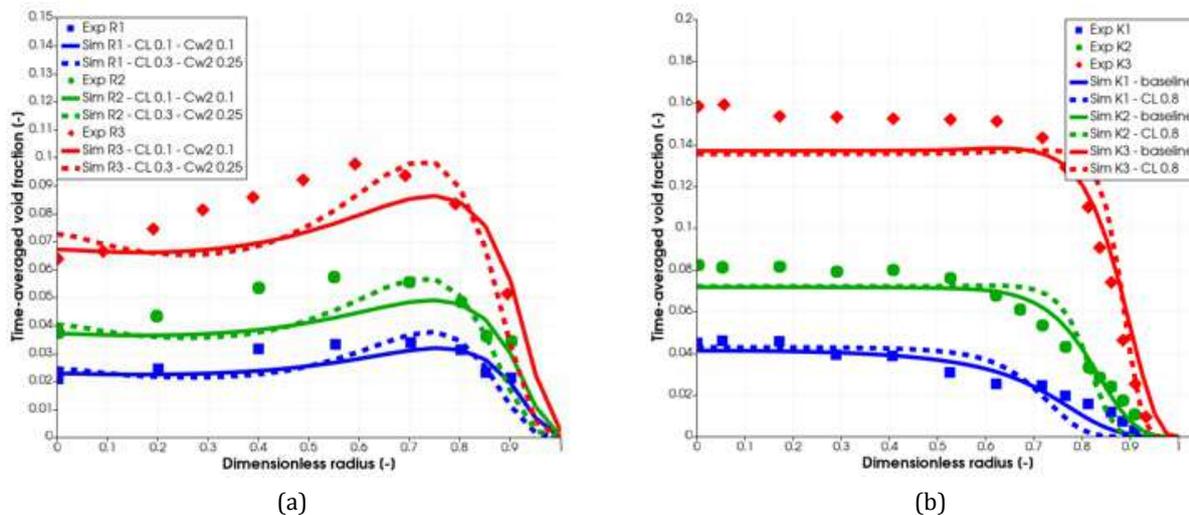


Fig. 7 Perfiles de la fracción de vacío con el modelo optimizado. Distribución en el tramo vertical ascendente (a), y en tramo vertical descendente (b)

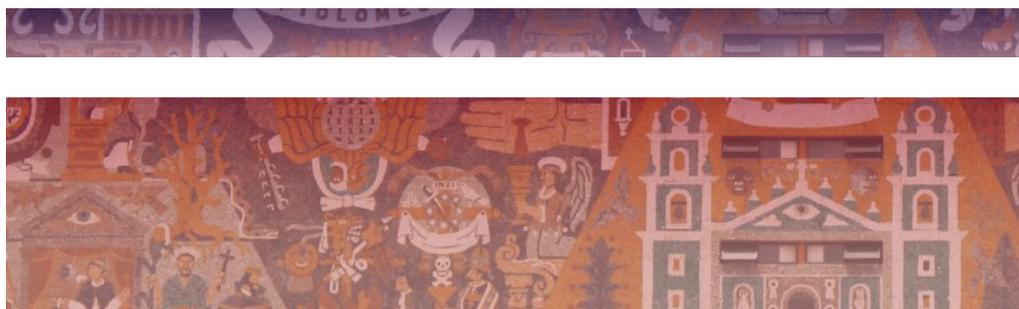
Cabe reconocer que no existen consenso en cuanto a la aplicabilidad de los modelos, por lo que cada caso requiere un análisis específico<sup>[16]</sup>. Varios aspectos físicos aún permanecen como problemas abiertos. En el presente caso, nos referimos principalmente a los procesos de arrastre y turbulencia que afectan considerablemente la dinámica de las burbujas en la proximidad de la pared.

A pesar de las limitaciones descritas, los resultados son alentadores. Los primeros esfuerzos de modelado que han derivado en el modelo optimizado muestran una mejora considerable con respecto al modelo base del HZDR. Próximamente, se llevará a cabo una campaña experimental propia en el Laboratorio de Flujos Multifásicos del IINGEN, en la que se producirán resultados específicos para el caso de interés. Entonces, los contrastes entre las predicciones numéricas y la información experimental indicarán, fidedignamente, aquellos aspectos físicos que requieran mayor consideración. |

## Referencias

- Orejas, J. A. Modelling and Simulation of a Bubble-Column Reactor with External Loop: Application to the Direct Chlorination of Ethylene. *Chem. Eng. Sci.* 1999, 54 (21), 5299–5309. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(99\)00254-7](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00254-7).
- Orejas, J. A. Model Evaluation for an Industrial Process of Direct Chlorination of Ethylene in a Bubble-Column Reactor with External Recirculation Loop. *Chem. Eng. Sci.* 2001, 56 (2), 513–522. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00255-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00255-4).
- Kress, T. S.; Keyes, J. J. Liquid Phase Controlled Mass Transfer to Bubbles in Cocurrent Turbulent Pipeline Flow. *Chem. Eng. Sci.* 1973, 28 (10), 1809–1823. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(73\)85063-8](https://doi.org/10.1016/0009-2509(73)85063-8).
- Teli, S. M.; Mathpati, C. S. Experimental and Numerical Study of Gas-Liquid Flow in a Sectionalized External-Loop Airlift Reactor. *Chin. J. Chem. Eng.* 2021, 32, 39–60. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.10.023>.
- Mohanty, K.; Das, D.; Biswas, M. N. Mass Transfer Characteristics of a Novel Multi-Stage External Loop Airlift Reactor. *Chem. Eng. J.* 2007, 133 (1–3), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.02.007>.
- Moudoud, N.; Rihani, R.; Bentahar, F.; Legrand, J. Global Hydrodynamic of Hybrid External Loop Airlift Reactor: Experiments and CFD Modelling. *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.* 2018, 129, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.05.005>.
- Burlutskii, E.; Di Felice, R. Experimental and Numerical Study of Two-Phase Flow Mixing in Gas-Liquid External-Loop Airlift Reactor. *Int. J. Multiph. Flow* 2019, 119, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.07.007>.
- Kojic, P.; Kojic, J.; Pezo, M.; Krulj, J.; Pezo, L.; Mirkov, N. Numerical Study of the Hydrodynamics and Mass Transfer in the External Loop Airlift Reactor. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.* 2022, 28 (3), 225–235. <https://doi.org/10.2298/CICEQ210522034K>.
- Petersen, L. A. H.; Villadsen, J.; Jørgensen, S. B.; Gernaey, K. V. Mixing and Mass Transfer in a Pilot Scale U-loop Bioreactor. *Biotechnol. Bioeng.* 2017, 114 (2), 344–354. <https://doi.org/10.1002/bit.26084>.
- Puiman, L.; Abrahamson, B.; Lans, R. G. J. M. V. D.; Haringa, C.; Noorman, H. J.; Picioreanu, C. Alleviating Mass Transfer Limitations in Industrial External-Loop Syngas-to-Ethanol Fermentation. *Chem. Eng. Sci.* 2022, 259, 117770. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2022.117770>.
- D. Ryan, S. Kim, Characterization of local parameters of inclined upward air-water bubbly two-phase flows in a round pipe, *Nuclear Engineering and Design* 410 (2023) 112378. doi:10.1016/j.nucengdes.2023.112378.
- D. Ryan, R. Kong, D. Kang, A. Dix, S. Kim, J. Bian, Effects of Pipe Inclination on Global Two-Phase Flow Parameters, *Nuclear Technology* Publisher: Taylor & Francis (Oct. 2023).
- S. P. Antal, R. T. Lahey, J. E. Flaherty, Analysis of phase distribution in fully developed laminar bubbly two-phase flow, *International Journal of Multiphase Flow* 17 (5) (1991) 635–652. doi:10.1016/0301-9322(91)90029-3.
- A. Tomiyama, H. Tamai, I. Zun, S. Hosokawa, Transverse migration of single bubbles in simple shear flows, *Chemical Engineering Science* (2002).
- Griffith, P.; Wallis, G. B. Two-Phase Slug Flow. *Journal of Heat Transfer* 1961, 83 (3), 307–318. <https://doi.org/10.1115/1.3682268>.
- I. Khan, M. Wang, Y. Zhang, W. Tian, G. Su, S. Qiu. Two-phase bubbly flow simulation using CFD method: A review of models for interfacial forces, *Progress in Nuclear Energy* 125 (2020) 103360. doi:10.1016/j.pnucene.2020.103360.

**UNAM**  
Nuestra gran  
Universidad



## COSTOS DE LOS VIAJES EN TRANSPORTE PÚBLICO EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

ANGÉLICA LOZANO Y ALEJANDRO GUZMÁN

En el Grupo de Investigación en Ingeniería de Transporte y Logística del Instituto de Ingeniería está siendo realizado un estudio para identificar y analizar las desigualdades en el acceso al transporte público entre los habitantes de diversas regiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), con base en información espacial de tiempos y costos de los viajes en cada modo de transporte. Los colaboradores principales de estudio son Alejandro Guzmán y Maribel Miranda.

Un resultado relevante, hasta el momento, es la obtención de información sobre los costos de los viajes en transporte público en la ZMVM (entre distritos diferentes), lo cual ha requerido una minuciosa y larga depuración de los datos de la Encuesta Origen-Destino en Hogares 2017.

### 1.- Viajes de los habitantes de la ZMVM

En un día típico entre semana (martes, miércoles o jueves) se realizan 34.6 millones de viajes en la ZMVM, de los cuales 11.1 millones son efectuados completamente caminando y el resto requiere el uso de algún vehículo (motorizado o no). De éstos últimos, el 79 % son realizados entre distritos diferentes (de los 194 en que es dividida la ZMVM) y el 21% al interior de algún distrito. Más información puede ser encontrada en: <http://gitral.iingen.unam.mx/Estudios/EstudioOD-ZMVM-2017.html>

Los viajes pueden ser realizados utilizando diversos modos de transporte. Por ejemplo, pueden iniciar con un tramo caminando, continuar otro tramo en microbús, posteriormente continuar en metro y terminar otra vez caminando.

Los viajes entre semana tienen principalmente los siguientes propósitos: 42 % ir al trabajo, 23 % ir a estudiar, 13 % llevar o recoger a alguien, 12 % ir de compras, y el resto tienen otros propósitos tales como realizar actividades de convivencia y esparcimiento, recibir servicios de salud, hacer algún trámite, etc.

### 2. Viajes en transporte público de los habitantes de la ZMVM

En un día típico entre semana son realizados 23.4 millones de viajes que utilizan algún vehículo en algún tramo (en el año 2017). De éstos, 66 % (15.6 millones de viajes) usan modos de transporte público, 31 % (7.3 millones) usan vehículos particulares y 3 % (720 mil viajes) usan bicicleta. Esta distribución

podría haber cambiado en los últimos años, principalmente debido al gran incremento del uso de motocicletas.

Los modos de transporte disponibles, además de caminar, son los siguientes: metro, tren suburbano, tren ligero, trolebús, cablebús, Metrobús/Mexibús (Bus Rapid Transit, BRT), colectivo/microbús, autobús, autobús interurbano, taxi, taxi App, mototaxi, bicitaxi, golfitaxi, transporte escolar, auto, motocicleta, bicicleta, entre otros.

A pesar de la existencia de gran variedad de modos, éstos no están distribuidos en toda la metrópoli, sino que los modos de transporte de mayor calidad están concentrados en la parte central de la ZMVM. En la zona ubicada al interior del Circuito Interior, donde habita aproximadamente el 9 % de la población, hay una amplia disponibilidad de modos de transporte público y están concentrados aquellos de mayor calidad, lo cual contrasta con lo que ocurre en la zona exterior del Anillo Periférico, donde es escaso el transporte público de calidad y habita el 72 % de la población.

De los viajes que utilizan transporte público en alguno de sus tramos, el 74 % utiliza colectivo/microbús, el 29 % utiliza metro, el 11 % utiliza taxi, y el 7 % utiliza BRT; los otros modos son utilizados en menos del 5 % de los viajes. Cabe recordar que un viaje puede estar formado por tramos de varios modos de transporte.

El colectivo/microbús, que es el modo de transporte mayormente utilizado, tiene una red de rutas muy extensa, sin embargo, no tiene paradas fijas y presenta varias deficiencias, tales como vehículos en malas condiciones físico-mecánicas o con mal mantenimiento, conductores sin capacitación para brindar trato digno a los usuarios o para conducir con seguridad, rutas establecidas con fines diferentes a aquel de cubrir eficientemente la demanda de los usuarios, entre otras. Lamentablemente, la población que habita en las partes no centrales de la ciudad y que no tiene automóvil, no tiene otra opción que utilizar el colectivo/microbús formal (con concesión) o informal.

Los habitantes que viajan deben desplazarse para realizar sus actividades socioeconómicas (para trabajar, estudiar, etc.), las cuales están principalmente ubicadas en la zona central de la metrópoli. Algunos de los principales destinos de los viajes de los habitantes de la ZMVM están en las alcaldías Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez.

### 3. Costos de los viajes en transporte público entre distritos diferentes en un día entre semana

Los costos de los viajes entre distritos diferentes fueron clasificados en los siguientes rangos: \$5 o menos, más de \$5 y hasta \$8, más de \$8 y hasta \$12, más de \$12 y hasta \$15, más de \$15 y hasta \$20, más de \$20 y hasta \$30, más de \$30 y hasta \$50, más de \$50 y hasta \$100, y más de \$100. Estos costos son los originales del 2017 y no fueron traídos a valor presente.

Un viaje puede ser representado mediante una línea de deseo, la cual une el origen y el destino de dicho viaje. En la Figura 1 son mostrados los mapas de las líneas de deseo de los viajes con costos en cada uno de los rangos antes mencionados (en orden de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).

Note que los viajes más baratos (en rosa) son pocos y están concentrados en la parte central de la Ciudad de México, donde hay metro, y los viajes en color morado están principalmente dentro de la Ciudad de México. Conforme los viajes son más largos también son más costosos y numerosos, llegando a los viajes representados en colores verde (de hasta \$20), verde-amarillo (de hasta \$30) y naranja claro (de hasta \$50). Posteriormente, los viajes de hasta \$100 o de más de \$100 son largos, pero son menos numerosos; éstos últimos utilizan taxi en alguno de sus tramos.

Por lo tanto, los costos de viaje (en transporte público) son muy diferentes entre los habitantes de la metrópoli. Los viajes más baratos son aquellos más cortos, realizados principalmente por los habitantes de las zonas centrales, mientras que los viajes más caros son aquellos largos realizados por los habitantes de las zonas periféricas. El 68 % de los viajes en transporte público cuestan menos de \$15 y son cortos, pero el resto cuesta mucho más y son largos compuestos por varios tramos.

Una familia debe pagar por los viajes de ida y vuelta de los miembros de la familia que viajan, por lo cual el gasto en transporte público es alto, considerando que muchas de esas familias tienen bajo nivel socioeconómico y habitan en zonas periféricas de la Ciudad de México, Estado de México y Tizayuca Hidalgo. Por lo tanto, hace falta una política para hacer llegar transporte público de calidad y de bajo costo, a esas personas, ya que al utilizar colectivo/microbús, deben pagar cada vez que abordan un vehículo, ya que la tarjeta integrada no incluye ese transporte.

En la siguiente liga se encuentran los mapas mostrados en la Figura 1 y más información sobre los costos de los viajes: <https://giitral.iingen.unam.mx/proyCostos.html>

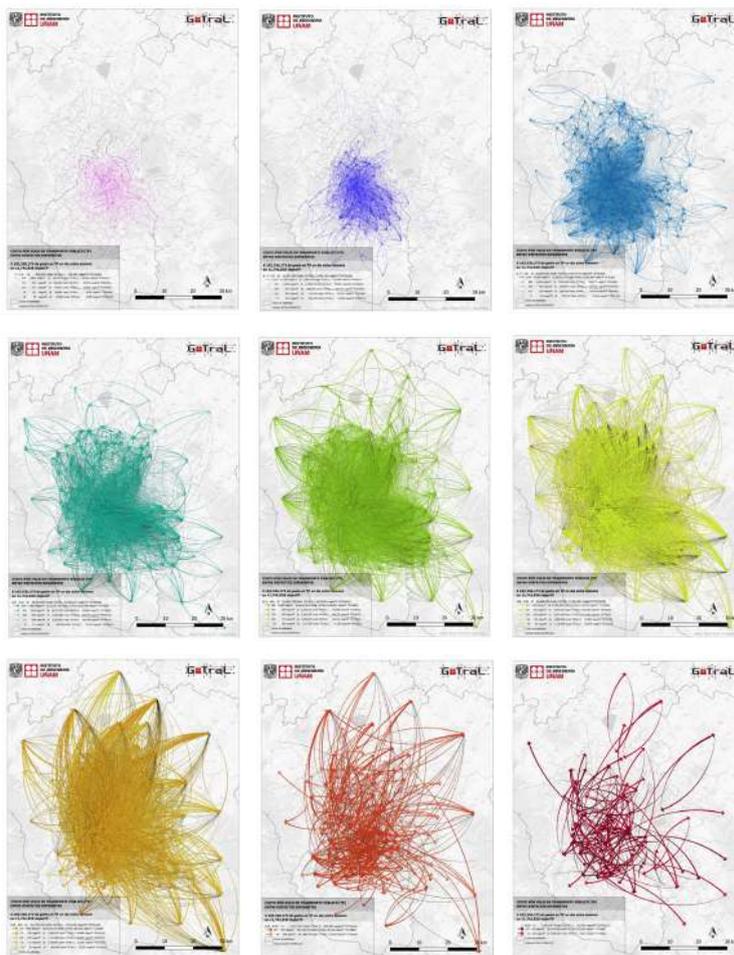


Figura 1. Líneas de deseo de los viajes en transporte público en la ZMVM, clasificados en nueve rangos de costo

#### 4. Gasto de los viajes en transporte público -entre distritos diferentes- en un día entre semana

Los habitantes de la ZMVM gastan en un día hábil normal más de \$182.3 millones de pesos en transporte público, pagando más aquellos que viven más lejos de los lugares donde realizan sus actividades socioeconómicas.

El gasto en transporte público, clasificado en 10 rangos de igual número de viajes, con diferencias en las frecuencias de dichos viajes, es mostrado en la Figura 2, donde se observan las líneas de deseo de los viajes clasificadas en colores que indican el gasto de los viajeros en su conjunto (que comparten par origen-destino). Los colores van de verde a rojo, donde rojo representa el mayor gasto.

El análisis de las líneas de deseo en los rangos de gasto diario en transporte público más alto (más de \$56,000 hasta \$80,400, y de \$80,400 a \$201,900), junto con las líneas con orígenes y destinos a lo largo de las primeras líneas mencionadas, mostró patrones relevantes que revelan la necesidad de mejorar y reducir el costo del transporte público.

En la Figura 2 destacan líneas de deseo entre la parte central y el norte (con destinos intermedios), conectando Ojo de Agua, Santa Lucía-Cuautlalpan (donde está el AIFA) y Tizayuca, los que en conjunto podrían compartir una ruta de transporte público masivo. Pirámides es otro distrito destino que podría ser beneficiado por dicha ruta.

En la parte noroeste, destacan líneas de deseo entre el centro (con destinos intermedios) y Nicolás Romero y Tepotzotlán, que podrían compartir una ruta de transporte público masivo, pasando por Satélite, Echegaray, Santa Mónica, entre otros.

Es importante señalar que son muy pocas las líneas de deseo entre oriente a poniente en la parte norte de la ZMVM; lo que significa que los viajes son atraídos fundamentalmente hacia la parte central de la ciudad.

Otras líneas de deseo relevantes son aquellas que conectan a Chalco y Pueblos de Ixtapaluca, pasando por varios destinos, y aquellas que conectan a Tláhuac y a Tlalpan, también pasando por varios destinos. Estas líneas requieren transporte público masivo.

Otro aspecto destacado (Figura 2) es el alto gasto en transporte público que realizan los habitantes de los alrededores de Texcoco para conectarse con esta localidad. Además, hay altos costos en líneas cortas en partes centrales, que es indicativo de conexiones requeridas entre modos de transporte existentes.

Para dimensionar el transporte público masivo requerido hacia las zonas antes mencionadas, son necesarios análisis más elaborados, sin embargo, esta información permite vislumbrar dónde la población requiere mejoramiento de la calidad y el costo del transporte público, con el fin de dirigir recursos e inversiones para mejorar la calidad de vida de esos habitantes. |

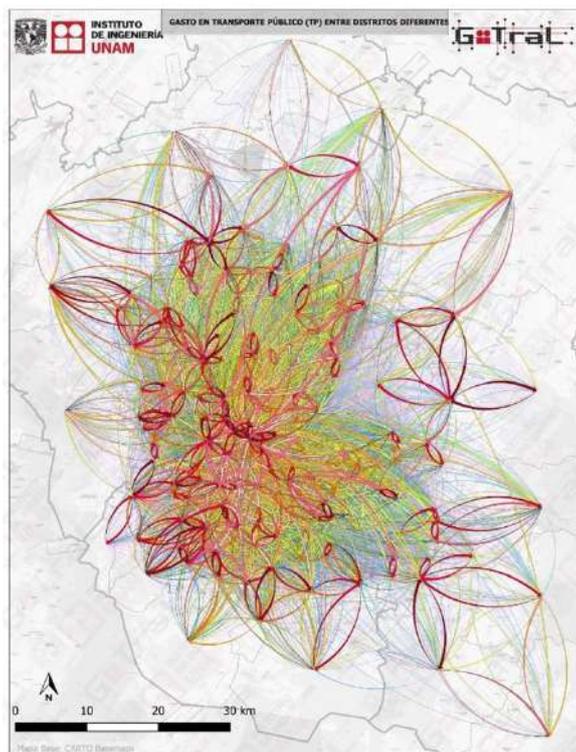


Figura 2. Gasto en transporte público por los habitantes de la ZMVM

### PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

Nuestras más sinceras felicitaciones a la maestra Guadalupe Esther Fuentes Mariles, técnica académica de la Coordinación de Hidráulica, por haberse hecho acreedora al Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz, que otorga la Universidad Nacional Autónoma de México a las académicas que se han distinguido en el campo de la docencia, la investigación, el arte, el conocimiento y la ciencia.

También nos da mucho gusto que el Dr. Ramón Domínguez Mora fue distinguido por su destacada trayectoria en la Gestión integral del riesgo y la protección civil, galardón que otorga el CENAPRED a quienes han aportado para construir una sociedad resiliente. Su compromiso y liderazgo constituyen un ejemplo de excelencia y dedicación al servicio del bienestar colectivo.

Asimismo, nos complace anunciar que el Dr. Juan Manuel Mayoral Villa, investigador de la Coordinación de Geotecnia,

recibió el Premio José A. Cuevas al Mejor Artículo Técnico de 2023 “Seismic Performance of soil-tunnel-building systems in stiff soils”, que otorga el Colegio de Ingenieros Civiles de México A. C.

Igualmente felicitamos a la Dra. Sonia Elda Ruiz Gómez, investigadora de la Coordinación de Ingeniería Estructural, por haber sido galardonada con el Premio Miguel A. Urquijo al Mejor Artículo Técnico de 2023 “Towards optimal reliability-based design of wind turbines towers using artificial intelligence”, que otorga el Colegio de Ingenieros Civiles de México A.C.

Para otorgar los Premios José A Cuevas y Miguel A Urquijo el Consejo Directivo del CICM consideró la novedad, la modernidad de los temas y las aportaciones que realizan a la ingeniería civil mexicana.

A todos ellos ¡Enhorabuena!



### HACK THE GOAL – MOVILIDAD SOSTENIBLE

Extendemos nuestras más sinceras felicitaciones a Na'aneli Toledo, Martín Ortiz, Eduardo Joaquín Fernández David y Emmanuel Rodríguez Monzón, estudiantes de posgrado en ingeniería de la UNAM y becarios del Dr. César Ángeles Camacho, investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM), por su destacada participación en la convocatoria Hack the Goal – Movilidad Sostenible.

Su proyecto, IXE-eMobility, fue galardonado con el Premio a la Innovación, gracias a su propuesta visionaria: un Sistema Avanzado de Gestión (SCADA) que contempla la implementación de un servicio de Autobuses Eléctricos de Baterías (AEB) en puntos estratégicos, con el objetivo de mejorar la movilidad de más de un millón de personas durante la Copa Mundial de Fútbol 2026.

Uno de los elementos clave del proyecto es su uso en Ciudad Universitaria como centro de intercambio energético, integrando la tecnología fotovoltaica desarrollada en la UNAM para cubrir las necesidades operativas del sistema. Además, la propuesta plantea una coordinación efectiva entre los sectores gubernamental, privado y académico.

Hack the Goal – Movilidad Sostenible es una iniciativa impulsada por las embajadas de Suecia y Noruega en México, en colaboración con la Coordinación Universitaria para la Sustentabilidad, el Centro Regional de Seguridad Hídrica (CERSHI), y bajo el auspicio de la UNESCO. Su objetivo es fomentar la creatividad de los jóvenes universitarios en el diseño de soluciones innovadoras para mejorar la movilidad durante la Copa Mundial de Fútbol 2026, particularmente en las ciudades sede: Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.

¡Enhorabuena a todo el equipo por este logro!

## LOGOTIPO CONMEMORATIVO DE LOS 65 AÑOS DE LA SUBDIRECCIÓN DE HIDRÁULICA Y AMBIENTAL II UNAM

Con motivo del 65 aniversario de la fundación de la Subdirección de Hidráulica y Ambiental se emitió una convocatoria dirigida a la comunidad del II UNAM para participar en el diseño de un logotipo representativo del quehacer de esta subdirección a lo largo de su historia.

El logotipo representa de manera dual y, al mismo tiempo, diferenciada a ambas coordinaciones; se acompañó de un texto sencillo redactado por su autor que narra la relevancia científica de la imagen para la Subdirección de Hidráulica y Ambiental.

El jurado evaluador estuvo conformado por los doctores Rosa María Flores Serrano y Edgar Mendoza Baldwin; las maestras Rocío Cassaigne Hernández y Margarita Cisneros Ortiz y el licenciado Alejandro Morales Morales, quienes eligieron el diseño presentado por Oswaldo Guadarrama Cervantes como ganador del primer lugar, a quien felicitamos por lo acertado de su diseño. Este logotipo lleva por nombre Armonía Ambiental y será usado como imagen de los festejos de este aniversario. Únicamente se presentaron dos concursantes; el segundo lugar fue para Miriam Lisset Peña Téllez, a quien también felicitamos y agradecemos por su participación. |



### Subdirección de Hidráulica y Ambiental II UNAM

Registro en trámite

## “ACUERDOS TRANSFORMATIVOS” PUBLICAR SIN COSTO EN REVISTAS INTERNACIONALES

La Unidad de Servicios de Información del Instituto de Ingeniería de la UNAM invitó a los maestros Sergio Márquez Rangel y Alma Delia Contreras Hernández, personal de la Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información, para presentar al personal académico del II UNAM los “Acuerdos Transformativos” que les permiten publicar en acceso abierto sin costo en revistas internacionales. Estas acciones tienen el objetivo de apoyar a los y las autores/as universitarios en su labor de generar conocimiento a través de la publicación en revistas académicas de prestigio sin que esto conlleve un costo adicional.

Los Acuerdos Transformativos en la UNAM comenzaron en 2022 con seis editoriales. Actualmente tienen cerca de nueve mil títulos de revistas híbridas, algunas Gold y de Acceso Abierto, con veintiséis editoriales internacionales. Una característica de los Acuerdos Transformativos es que la mayoría de las revistas son híbridas, es decir, se puede optar por pagar el costo por publicar un artículo en acceso abierto; o sin costo, pero bajo suscripción previa a la revista. Es importante mencionar que la UNAM, basado en el modelo “Leer y Publicar”, continúa cubriendo el costo de suscripción a las revistas con la opción de publicar en acceso abierto.



Para poder hacer uso de los acuerdos, el personal académico de esta universidad deberá:

1. Ser el autor y/o autora de correspondencia y miembro vigente de la UNAM como alumno (a) o académico (a).
2. Asentar en el documento la afiliación: Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Incluir en el manuscrito el correo institucional de la UNAM, terminación @unam.mx, como, por ejemplo: @comunidad.unam.mx. (no aplica otros correos).

Estos requisitos e información más precisa sobre los “Acuerdos Transformativos”, se pueden consultar en la página <https://digitalab-ssie.unam.mx/acuerdos>, acudir a la USI-Biblioteca donde se les puede orientar o enviar un correo electrónico a [usi@pumas.iingen.unam.mx](mailto:usi@pumas.iingen.unam.mx). |

# INVESTIGADORAS

PIONERAS DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

POR VERÓNICA BENÍTEZ ESCUDERO

En el marco del Día Internacional de la Mujer, la Comisión Interna de Igualdad de Género del Instituto de Ingeniería de la UNAM organizó un ciclo de conferencias con la participación de distinguidas investigadoras pioneras en el campo de las ingenierías: las doctoras Sonia Ruiz Gómez, Blanca Jiménez Cisneros, Rosario Iturbe Argüelles, María Teresa Orta Ledesma y Cristina Verde Rodarte.

La primera conferencia estuvo a cargo de la Dra. Sonia Ruiz, quien expuso la evolución de la Subdirección de Estructuras y Geotecnia. Reflexionó sobre el hecho de que, a pesar del incremento en la participación femenina en el ámbito de las ingenierías, ella sigue siendo la única investigadora en su área, junto con una sola técnica académica.

"El Instituto de Ingeniería de la UNAM nació en 1956, y con el sismo de 1957 surgió la ingeniería sísmica", afirmó la Dra. Ruiz. Destacó la participación del instituto en proyectos emblemáticos como las presas, la Alberca Olímpica y el Palacio de los Deportes. No obstante, lamentó el escaso presupuesto destinado a investigación y desarrollo, señalando la necesidad de incrementar esta inversión. Entre los proyectos relevantes en los que ha participado su subdirección, mencionó el Túnel Emisor Oriente, el Trolebús y el Cablebús, el diseño de pavimentos asfálticos y la instrumentación de la Catedral de la CDMX, entre otros.

Finalmente, enfatizó la importancia de un cambio cultural para derribar estereotipos, modificar planes de estudio y fomentar el desarrollo de patentes aplicables. "Debemos crear redes de comunicación dentro y fuera de la UNAM, y orientar a las nuevas generaciones desde la primaria para que adopten una nueva visión del mundo", concluyó.



La segunda conferencia estuvo a cargo de la Dra. Blanca Jiménez Cisneros, investigadora del Instituto de Ingeniería y actual embajadora de México en Francia. Hizo un llamado a reflexionar sobre el tipo de ingenierías que se necesitan en la actualidad, particularmente en el ámbito del saneamiento. "Pocas personas conocen el manejo adecuado de los lodos fecales de las fosas sépticas; incluso, muchas personas aún defecan al aire libre, lo que representa un riesgo, especialmente para las mujeres, quienes pueden ser víctimas de violencia", advirtió.

Señaló que el saneamiento debe comenzar inmediatamente después de la eliminación de los desechos, ya que su adecuada gestión ahorra recursos a las comunidades. Destacó la necesidad de ingenieras e ingenieros con conocimientos en políticas públicas, manejo social y desarrollo de ciudades inteligentes. Subrayó que es crucial aprovechar el agua de regaderas para sanitarios y atender problemas de cambio climático y economía circular. Finalmente, instó a revisar los planes de estudio de la UNAM para preparar profesionales capaces de ocupar puestos directivos, más allá de funciones operativas.

La tercera conferencia estuvo a cargo de las doctoras María Teresa Orta Ledesma y Rosario Iturbe Argüelles, quienes hablaron sobre la evolución de la ingeniería ambiental, antes conocida como ingeniería sanitaria, y su relación con la salud pública. Destacaron la notable participación femenina en esta área y presentaron sus principales líneas de investigación: la Dra. Orta ha trabajado en el manejo y reutilización del agua, calidad y desinfección, así como en la valorización de biomasa en plantas de tratamiento; mientras que la Dra. Iturbe se ha enfocado en el estudio del Lago de Texcoco, la remoción de contaminantes en agua y suelos, y la restauración ambiental en Xochimilco y Dos Bocas.

Ambas doctoras coincidieron en que la función del Instituto de Ingeniería es resolver problemas nacionales. Plantearon que los residuos deben ser vistos no como desechos, sino como recursos reutilizables, y destacaron la importancia de innovaciones tecnológicas en la recarga de acuíferos con agua potabilizada. Agradecieron a sus equipos de trabajo por la colaboración brindada a lo largo de los años.

La última conferencia estuvo a cargo de la Dra. Cristina Verde Rodarte, quien comparó a los seres vivos con las máquinas, resaltando la invisibilidad de sus sistemas de control automático. Recordó que las primeras computadoras fueron operadas por mujeres, aunque su labor fue ocultada. También repasó la evolución de la teoría de control automático y sus avances desde 1980, con la incorporación de problemas de incertidumbre y perturbaciones para predecir condiciones de riesgo. Su investigación se centra en el diagnóstico de fugas y la seguridad en sistemas complejos de redes, especialmente en PEMEX.

Para cerrar el ciclo de conferencias, la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería, destacó



la importancia de estos eventos para visibilizar la contribución de las mujeres en la ingeniería y fortalecer las políticas de equidad de género dentro de la UNAM. "Sabemos que la incursión de las mujeres en este campo ha sido lenta, pero en la Universidad estamos impulsando estrategias para incrementar su participación", afirmó.

Durante las conferencias, también participaron como comentaristas la Dra. Norma Blázquez Graf quien celebró que ahora la comunidad universitaria ha cambiado hay menos discriminación y más igualdad, la Dra. Elena Centeno, quien abordó la falta de atención al saneamiento y la baja representación de investigadoras en México, y el Lic. Joaquín Narro Lobo, director de la Dirección General de Atención a la Comunidad (DGACO), quien reconoció la vocación y compromiso de las doctoras Orta e Iturbe en la ingeniería sanitaria. Finalmente, Jaime Cervantes de Gortari felicitó a la Dra. Verde Rodarte por destacar la importancia del diagnóstico de fallas para la seguridad y la relevancia del control automático en la vida cotidiana. |

## LA XI CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN AMÉRICA LATINA (CILCA 2025)

La XI Conferencia Internacional de Análisis de Ciclo de Vida en América Latina (CILCA 2025), organizada por la Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida (REMACV), el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II UNAM), la Red Iberoamericana de Ciclo de Vida y la empresa Cadis, se llevó a cabo con notable éxito del 7 al 11 de abril inaugurando la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del II UNAM.



El evento reunió a un amplio espectro de actores vinculados al Análisis de Ciclo de Vida, entre los que se incluyeron académicos, desarrolladores de metodologías, emprendedores en sostenibilidad, responsables de políticas públicas y representantes del sector empresarial. La conferencia contó con la participación de 170 asistentes provenientes de 21 países de América Latina, Norteamérica y Europa, así como con la distinguida intervención de tres conferencistas magistrales: el Dr. Llorenç Milà i Canals, director de la Iniciativa de las Naciones Unidas para el Análisis de Ciclo de Vida; el Dr. Ian Vázquez-Rowe, investigador y profesor en la Pontificia Universidad Católica del Perú; y el Dr. Guido Sonnemann, profesor distinguido de la Universidad de Burdeos y director del Grupo de Investigación en Ciclo de Vida.

Durante el encuentro se presentaron más de 120 trabajos científicos, que abordaron diversas temáticas, tales como aplicaciones y desarrollos metodológicos del Análisis de Ciclo de Vida, huella de carbono, huella hídrica, economía circular, plásticos, impactos ambientales en el sector de la construcción, y el desarrollo y uso de bases de datos, entre otros.



La conferencia tuvo como objetivo principal ofrecer una plataforma para el intercambio de experiencias, conocimientos, avances científicos e innovaciones tecnológicas, que consoliden al Análisis de Ciclo de Vida como herramienta fundamental para el impulso de una economía circular, orientada hacia patrones más sostenibles de producción, consumo y desarrollo social.

Entre las principales conclusiones del evento destacan: la necesidad de sustentar los modelos de economía circular en el enfoque del Análisis de Ciclo de Vida; la importancia de ampliar el alcance de los estudios de ACV para incorporar métodos y factores de caracterización adecuados al contexto latinoamericano; el fortalecimiento de bases de datos nacionales de Ciclo de Vida; y el fomento de alianzas estratégicas entre el sector público y privado para promover políticas públicas y sistemas productivos más sostenibles.

La conferencia estuvo dirigida a profesionales, investigadores, responsables de políticas públicas y demás interesados en comprender los impactos ambientales de productos, servicios, organizaciones o iniciativas gubernamentales, desde la perspectiva del Análisis de Ciclo de Vida.



## EQUIDAD, DIVERSIDAD E INCLUSIÓN EN INGENIERÍA

Dentro de las conferencias organizadas por la Comisión Interna de Igualdad de Género (CInIG) y por la Unidad de Docencia y Formación de Recursos Humanos de la Secretaría Académica del II UNAM, el Dr. David Yáñez Santillán abordó el tema de la equidad, diversidad e inclusión en Ingeniería, quien afirmó que tener presentes estos conceptos es indispensable para una sana convivencia.

Agregó que tanto en las empresas como en las universidades o en cualquier centro de trabajo el ambiente laboral es primordial para el buen desempeño de las actividades y esto sólo se puede lograr si tenemos respeto por nuestros compañeros. Debemos eliminar la discriminación en todos sentidos; por ejemplo, es muy común que al realizar una entrevista de trabajo únicamente quieran contratar a personas que estén trabajando, o a aquellos que son egresados de la misma universidad que el contratante. Con mucha frecuencia las mujeres reciben un salario hasta del 20 % menor al de los hombres desempeñando el mismo trabajo, éstas son formas de ejercer discriminación hacia ciertos sectores y, uno de los más afectados es el de las mujeres.

En México se creó la Secretaría de las Mujeres para coordinar las acciones y políticas públicas que se implementan a nivel nacional con el fin de promover las condiciones para alcanzar una vida libre de violencias para niñas, adolescentes y mujeres. Esta Secretaría indica, entre otras cosas, que las empresas que aspiren a recibir estímulos por equidad, deben tener un código de ética que aplique procesos igualitarios para la selección de personal.

Para tener éxito en el tema de la equidad, diversidad e inclusión en Ingeniería, es necesario tratarlo como si fuera un proyecto como en Gerencia de Proyectos – continuó el Dr. Yáñez- hay que tener un responsable, formar un equipo de trabajo, marcar el tiempo en el que se van a realizar las actividades y conocer los recursos que se van a destinar.

Y es que hablar de equidad es dar a todos los mismos derechos, las mismas oportunidades, el mismo salario a trabajos iguales; hablar de la diversidad es aceptar a las personas sin prejuicios, sin importar su religión, sus ideas políticas, sus preferencias alimenticias o sexuales etc., hablar de inclusión es lograr que el personal se sienta parte del grupo y esto sólo se logra si todos se sienten aceptados.

Otro concepto que es necesario difundir es el tema de los discapacitados, como ingenieros debemos tener en cuenta que existe una parte de la población que tienen capacidades diferentes y a los cuales debemos considerar, en el caso de las personas que se mueven en “silla de ruedas” es necesario construir rampas de acceso, por citar un ejemplo. En México hay casi nueve millones de discapacitados.

También quiero agregar que en la vida profesional es muy importante respetar las costumbres de nuestros pueblos, de nuestras comunidades porque son parte de sus raíces.

Por último, quiero decirles que debemos mostrar a los jóvenes que hay que ser inclusivos, empáticos, respetuosos, tolerantes, porque todos en algún momento vamos a tener alguna discapacidad – concluyó-. |

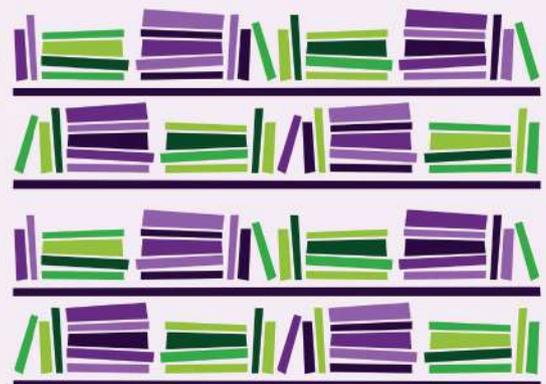


En el marco del 5to. aniversario de la  
**Coordinación para la Igualdad de Género  
en la UNAM (CIGU)** conmemoramos la



**Del 21 al 27 de abril  
de 2025**

Conversatorio | Performance | Recomendaciones



### SOLUCIONES AL PROBLEMA DE AZOLVE EN EL PUERTO DE CHIAPAS

El Dr. Christian M. Appendini, investigador del II UNAM, presentó el proyecto Estudios hidrodinámicos integrales para el proyecto de las obras de protección de Puerto Chiapas. Fase II Estudio para propuesta de actuación.

Puerto Chiapas ha sido designado como el puerto alterno a Salina Cruz dentro del proyecto del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. Sin embargo, el puerto sufre graves problemas de sedimentación dentro del canal de entrada y la dársena de ciaboga desde sus inicios, por ello se realizan constantes dragados para mantener la operatividad del puerto. A fin de buscar soluciones al problema de azolve, se solicitó un estudio al Dr. Appendini de la Unidad Académica Sisal para proponer soluciones que reduzcan las tasas de azolve.

Las alternativas de solución presentadas por el Dr. Appendini se diseñaron a partir de estudios hidrodinámicos detallados, incluyendo el estudio de cambios de líneas de costa con datos satelitales, modelación numérica de detalle del oleaje, corrientes y transporte de sedimentos, y análisis de la dinámica litoral. Con base en los estudios, se identificaron cinco posibles alternativas de solución, las cuales fueron analizadas con modelación numérica de detalle, y se evaluaron sus

costos. Para estas alternativas se presentaron tanto efectos inmediatos, como efectos en el mediano y largo plazo, así como la estimación de la reducción en los gastos generados por la remediación inmediata de los perjuicios de la zona. Para cada una de las alternativas se consideró la viabilidad técnica y se presentó una estimación preliminar de los costos y tiempos previstos para su desarrollo. Las alternativas se sometieron a discusión por parte de los participantes, a fin de afinar la solución para que se proceda a la realización del proyecto ejecutivo de la obra.

A la reunión asistieron distinguidas personalidades, entre las que se encuentran:

- Vicealmirante Juan Carlos Vera Minjares, director del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec
- Vicealmirante Mateo Arzate Loza, director de la ASIPONA Chiapas
- Almirante Ángel Rodríguez, Secretaría de Marina (SEMAR)
- Vicealmirante Pascual Sepúlveda Soto, SEMAR
- Capitán de Corbeta Evelyn Martínez, SEMAR
- M. en I. Roberto Uribe, jefe del Departamento de Oceanografía, CFE
- Representantes de la iniciativa privada y del Instituto Mexicano del Transporte.

### PLÁTICA SOBRE EL AGUA REGENERADA

El Instituto de Ingeniería recibió a la Dra. Despo Fatta-Kassinou, investigadora de la Universidad de Chipre, quien ha desempeñado roles clave en comités asesores internacionales y redes de investigación. Es editora de importantes revistas científicas como Journal of Environmental Chemical Engineering, Water Research y Current Opinion in Chemical Engineering (Elsevier). Fue directora fundadora del Centro Internacional de Investigación del Agua Nireas (Nireas-IWRC) y ha liderado más de 100 proyectos de investigación.

Su plática, enfocada en la reutilización del agua regenerada, abordó varios aspectos interesantes, especialmente al alertar a los investigadores sobre la necesidad de revisar los efectos secundarios de las tecnologías convencionales.

En sus propias palabras:

“La reutilización de agua regenerada es cada vez más reconocida como una estrategia vital para combatir la escasez de agua. Ofrece una solución valiosa a la crisis hídrica global, pero también

plantea desafíos relacionados con los contaminantes emergentes, incluidos residuos farmacéuticos, productos de cuidado personal y la creciente amenaza de la resistencia a los antimicrobianos.

Los procesos de tratamiento convencionales a menudo no están diseñados para eliminar completamente estos contaminantes, lo que significa que pueden persistir en el agua regenerada y llegar al medio ambiente, representando riesgos para los ecosistemas y la salud humana.

Las aguas residuales pueden convertirse en un foco de proliferación de bacterias resistentes a los antibióticos y genes de resistencia, lo que potencialmente contribuye a la propagación de la resistencia a los antimicrobianos. Para garantizar que la reutilización del agua regenerada sea realmente segura y sostenible, es fundamental combinar tecnologías innovadoras de tratamiento, como los procesos biológicos específicos, con marcos de evaluación de riesgos.

Abordar estos desafíos es crucial para generar confianza pública, garantizar el cumplimiento normativo y proteger tanto la salud humana como la del medio ambiente”.



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM®**



# SEMANA DE LA **INGENIERÍA**

EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA 2025  
DEL 9 AL 13 DE JUNIO

*Ingeniería que transforma el futuro*

**LUNES 9 DE JUNIO**

**Subdirección de Estructuras y Geotecnia**

Auditorio José Luis Sánchez Bribiesca  
Torre de Ingeniería UNAM

**MARTES 10 DE JUNIO**

**Subdirección de Electromecánica**

Auditorio José Luis Sánchez Bribiesca  
Torre de Ingeniería UNAM

**MIÉRCOLES 11 DE JUNIO**

**Subdirección de Hidráulica y Ambiental**

Auditorio José Luis Sánchez Bribiesca  
Torre de Ingeniería UNAM

**JUEVES 12 DE JUNIO**

**Unidades Académicas Foráneas**

Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth, Edificio 1.  
Instituto de Ingeniería UNAM

**VIERNES 13 DE JUNIO**

**Eventos deportivos**

Consulta  
la programación  
escaneando el QR

