



GACETA

DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®

NÚMERO 154, MAYO-JUNIO 2022

ISSN 1870-347X

Odisea por el mundo
de las burbujas

Análisis numérico
de la formación de vapor
en la fosa de una conífera

Aplicación de la metodología
del estado de Kentucky
para evaluar el peligro
kárstico en México

Retos y áreas
de oportunidad
ante la publicación
de la nueva norma
NOM-001-SEMARNAT-2021
que limita la descarga
de aguas residuales
¿Qué debemos
y qué podemos hacer?

Homenaje al
Dr. Daniel
Reséndiz Núñez

EDITORIAL

A lo largo del tercer bimestre de 2022, hemos continuado realizando múltiples acciones de planeación y actividades presenciales, tanto académicas como administrativas. El Instituto de Ingeniería no ha parado, a pesar de que estamos atravesando por la quinta ola de COVID-19, ya que nuestra comunidad se ha vacunado responsablemente y sigue aplicando las medidas sanitarias recomendadas por las autoridades sanitarias, a través de la Responsable Sanitaria y los miembros de la Comisión Especial para la Atención de Asuntos COVID. Les agradezco su apoyo y al seguir cuidándonos, nos cuidamos todos.

Una acción de planeación es la aprobación por unanimidad por el Consejo Interno, en la sesión ordinaria celebrada el 9 de mayo, de la fusión de la Coordinación de Ingeniería de Sistemas (CIS) y de la Coordinación de Mecánica y Energía (CME). En esta nueva Coordinación, denominada de Sistemas Mecánicos Energéticos y de Transporte (SMET), el Coordinador designado es el Dr. David Morillón Galvez, anteriormente Coordinador de la CME. Esta acción está dirigida a incentivar la conjunción de capacidades de las y los académicos de la CIS, disminuida en número de miembros por fallecimiento y retiro voluntario, con la de las y los miembros de la CME para la realización de proyectos que atiendan problemas complejos de largo alcance. Agradezco al Dr. Morillón su gran labor como Coordinador de la CME, y por haber aceptado el reto que representa ser el primero de la SMET, aunque estoy segura que hará un excelente papel. Asimismo, mi agradecimiento y reconocimiento a la Mtra. Sonia Rosa Briceño Viloria por su importante desempeño y compromiso institucional que, siempre mostró como Coordinadora de la Coordinación de Ingeniería de Sistemas. También le deseo mucho éxito en su incorporación como académica de la Coordinación de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales (CIPIA).

Dentro de los eventos más importantes que hemos celebrado de manera presencial, destaco el merecido homenaje

realizado el pasado 17 de junio para el Mtro. Rafael Almanza Salgado, apreciado investigador de la reciente creada Coordinación de Sistemas Mecánicos Energéticos y de Transporte. Rafael Almanza ha sido reconocido en México y en el extranjero como uno de los pioneros en el área de Energía Solar, con múltiples distinciones y premios por su trayectoria, producción y gran contribución a la formación de especialistas altamente calificados. En este evento contamos con la presencia de familiares, amigos y discípulos del Mtro. Almanza.

Asimismo, el 16 de mayo, en el marco del día del Maestro, realizamos de manera presencial la entrega de medallas y reconocimientos al Personal Académico que cumplieron desde 10 hasta 55 años de antigüedad, cumplidos en 2020, 2021 y el primer cuatrimestre de 2022. Tuvimos una importante participación del Personal que recibió este reconocimiento, en particular, de nuestro querido Investigador Emérito, el Dr. Roberto Meli, quien celebró 55 años de antigüedad en nuestro Instituto. A todas y todos los festejados, les envió un fuerte abrazo y les manifiesto mi agradecimiento por todo lo que han brindado a nuestra Universidad, muy particularmente, al Instituto de Ingeniería.

En este orden de ideas, tengo el orgullo de mencionar que varios miembros se hicieron acreedores a distinciones, como es el caso del Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro, quien recibió por primera vez la medalla Roberto Meli, por parte de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). Asimismo, felicito al Dr. Eduardo Reinoso Angulo por haber recibido la Medalla Luis Esteva Maraboto por esta misma Sociedad. En este número de la Gaceta del IIUNAM, se describen de manera específica las otras distinciones otorgadas por la SMIS a nuestros académicos (doctores Mario Rodríguez Rodríguez y Eduardo Reinoso Angulo) por mejores artículos publicados; así también, se dan los detalles de dos artículos publicados por los doctores Mario Ordaz Schroeder y Rodolfo Silva Casarín en las revistas Nature Communications (factor de impacto de 14.919) y Nature Climate Change

UNAM

Rector
Dr. Enrique L. Graue Wiechers
Secretario General
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario Administrativo
Dr. Luis A. Álvarez-Icaza Longoria
Secretario de Desarrollo Institucional
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

Secretario de Prevención, Atención y Seguridad Universitaria
Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo
Abogado General
Dra. Mónica González Contró
Coordinador de la Investigación Científica
Dr. William H. Lee Alardín
Director General de Comunicación Social
Mtro. Néstor Martínez Cristo

IIUNAM

Directora
Dra. Rosa María Ramírez Zamora
Subdirector de Estructuras y Geotecnia
Dr. David Murrià Vila
Subdirector de Hidráulica y Ambiental
Dra. Rosa María Flores Serrano
Subdirector de Electromecánica
Dr. Arturo Palacio Pérez
Subdirector de Unidades Académicas Foráneas
Dr. Germán Buitrón Méndez

Secretaría Académica
Dra. Norma Patricia López Acosta
Secretario Administrativo
Lic. Salvador Barba Echavarría
Secretario Técnico
Arq. Aurelio López Espíndola
Secretario de Telecomunicaciones e Informática
Ing. Marco Ambriz Maguey

GACETA DEL IIUNAM

Editor responsable
Lic. Verónica Benítez Escudero
Reportera
Lic. Verónica Benítez Escudero
Fotografías
Archivo Fotográfico del IIUNAM
Diseño
Lic. Oscar Daniel López Marín
Corrección de estilo
Gabriel Sánchez Domínguez

GACETA DEL IIUNAM

Órgano informativo del Instituto de Ingeniería a través del cual se muestra el impacto de sus trabajos e investigaciones, las distinciones que recibe y las conferencias, los cursos y los talleres que imparte, reportajes de interés e información general. Se publica los días 10 de cada mes, con un tiraje de 1500 ejemplares. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04 2014 070409264300 109. Certificado de Licitud de Título: 13524. Certificado de Licitud de Contenido: 11097. Instituto de Ingeniería, UNAM, edificio Fernando Hiriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP 04510, Ciudad de México. Tel. 56233615.

(factor de impacto de 22.29), respectivamente. Estos últimos logros, obtenidos por primera vez por académicos de nuestro Instituto, son un precedente muy importante de la relevancia y calidad de la investigación que se realiza en esta entidad académica y que espero se continúe teniendo.

Otro evento muy importante, realizado de manera simultánea en nuestras tres sedes (Ciudad Universitaria, Juruquilla y Sisal) durante junio, fue la Primera Feria Ambiental para celebrar el Día Internacional del Medio Ambiente. En esta celebración, instituida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el 5 junio para promover la conciencia y la acción mundial por el medio ambiente, participaron activamente, principalmente estudiantes con sus familias y varios miembros del personal académico y administrativo. La iniciativa de este evento nació de la Dra. Neftalí Rojas Valencia, actual coordinadora del grupo responsable del Plan de Manejo Integral de Residuos en el IIUNAM. Las actividades fueron profesionalmente organizadas por la Dra. Rojas en CU, por la Mtra. Gloria Moreno en la Unidad Académica Juruquilla y por el Dr. Paulo Salles en la Unidad Académica Sisal, a quienes transmito un reconocimiento por la exitosa labor realizada. También, expreso un gran agradecimiento a todas y todos quienes participaron en este importante evento, que propusieron las organizadoras y el organizador tratarán de repetir al menos dos veces al año, como parte de acciones que, además de la función para mejorar nuestro entorno, también contribuyan a la convivencia de toda comunidad.

Asimismo el Instituto de Ingeniería tuvo una participación presencial en el congreso de Smart Cities, realizado en Mérida del 7 al 9 de junio, organizado principalmente por el Gobierno de Yucatán y Fira Barcelona México. En este evento se presentaron proyectos y patentes de nuestros académicos, en las áreas de Agua y Sostenibilidad, Energía y Cambio Climático y Sistemas Inteligentes. Es conveniente mencionar que hubo mucho interés de nuestros desarrollos e investigación, por parte de algunas empresas y gobiernos locales de dos estados del país. Se está haciendo un seguimiento de los contactos obtenidos. En esa ocasión, tuve la oportunidad de visitar nuestras instalaciones en Sisal y platicar con la comunidad, y pude constatar que en general se encuentran bien. Sin embargo, existen algunos puntos que, a través del Consejo de Dirección del Campus Yucatán, se buscará darles atención de manera conjunta con los titulares de las entidades académicas instaladas en esa zona. De hecho, los titulares acordamos tener una reunión de planeación estratégica en el mes de septiembre.

Concluyo comentando que, como mencioné en la reunión informativa por videoconferencia del 9 de junio, el Consejo Interno en su sesión extraordinaria del 3 de junio acordó aprobar la publicación de la convocatoria para conformar Grupos Interdisciplinarios de Investigación (GII). Los GII, reconocidos por nuestro Reglamento Interno, son una forma de trabajo académico, que pretende conjuntar de manera voluntaria las capacidades en investigación del IIUNAM para atender los problemas complejos de las ciencias y las ingenierías, acordes con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, en pro del desarrollo del país. Esta iniciativa también ha sido de interés de las y los titulares de 14 entidades académicas (ENES, facultades e institutos) de la UNAM, y por varios miembros de su personal académico. Hasta la tercera semana de junio, se tienen registrados casi 400 académicas y académicos interesados en participar en esta convocatoria, la cual se publicará a finales del mes de julio. En el marco de esa convocatoria, se presentaron dos conferencias magistrales impartidas por expertos reconocidos a nivel internacional, de los temas Retos y Oportunidades de investigación en Ciudades Inteligentes y Nexo Agua-Energía-Ambiente-Seguridad alimentaria. La información presentada en esos dos eventos, en conjunto con los datos proporcionados por la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la Coordinación de la Investigación Científica, permitirán establecer las áreas y retos de investigación alrededor de los cuales se deberán desarrollar las propuestas de proyectos que se presenten en el marco de la convocatoria GII. Antes de salir de vacaciones, se tendrá una reunión informativa para dar detalles de las actividades a realizar para que los participantes en esta convocatoria se conozcan y se conformen en grupos para la presentación de propuestas. Los invito vivamente a participar, ya que considero que es necesario unir esfuerzos y capacidades para la atención de manera integral y más sólida los problemas que hoy en día más que nunca enfrentamos por diversas crisis, y que las y los ingenieros y científicos podemos contribuir a resolver con los que sabemos hacer bien: investigaciones, desarrollos e innovaciones tecnológicas. |

Cordialmente,

Dra. Rosa María Ramírez Zamora
Directora
Instituto de Ingeniería, UNAM

ODISEA POR EL MUNDO DE LAS BURBUJAS

BERNARDO FIGUEROA ESPINOZA
Y ALICIA AGUILAR CORONA

1. Introducción

¿Sabías que las burbujas tienen aplicaciones en ingeniería?

Efectivamente, lejos de ser simples “juguetes” o “curiosidades científicas”, existen tantas aplicaciones científicas y de ingeniería que involucran a la ciencia de las burbujas, que se podrían dedicar varios manuscritos únicamente a listar algunas. De hecho, una simple búsqueda en una base de datos científica (PubMed©) de la palabra clave “bubbles” muestra que a partir de los años 20 y 30 del siglo pasado, este número ha ido aumentando de manera exponencial, llegando a cifras entre 1000 y 2000 artículos por año en 2020. Uno podría pensar que un par de miles al año no es mucho, pero existen muchas otras palabras clave relacionadas, y el crecimiento exponencial es testigo de la importancia del tema.

Desde tiempos inmemoriales la increíble física de las burbujas nos ha fascinado. En particular, las extrañas propiedades del agua (Leighton *et al.* 1998; Czernski *et al.* 2010) y la física de los fluidos se traducen en inestabilidades hidrodinámicas que causan efectos visualmente impactantes, como se muestra en la Figura 1 (Meuel, 2013); estas inestabilidades generan todo un repertorio de “efectos especiales” que vale la pena mirar (Zetina *et al.* 2015).

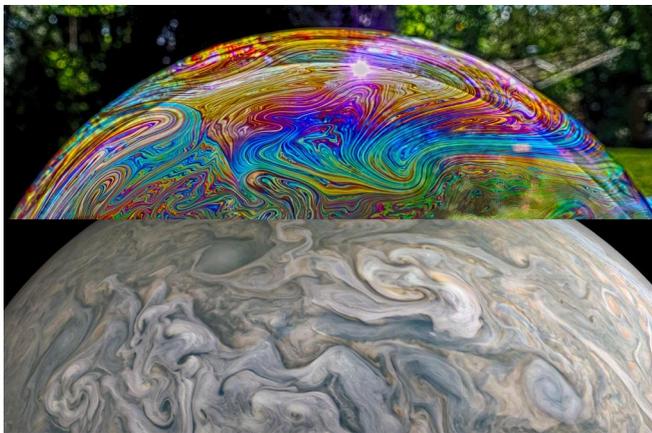


Figura 1. Arriba una burbuja de jabón. La iridiscencia es resultado de la delgadísima piel de la burbuja (del orden de unas cuantas moléculas), que permite visualizar los remolinos, que recuerdan una atmósfera planetaria, como la que se muestra abajo (Fuente: Pexels.com, royalty free images)

Entre las propiedades antes referidas están la flotabilidad, la inercia (del líquido, del gas), la viscosidad y la tensión superficial. Esta última es de particular relevancia para las burbujas, pues la molécula de agua al ser ligeramente asimétrica, crea fuerzas de atracción entre moléculas del mismo líquido, que se manifiestan como una especie de “piel” o “membrana elástica” en la interfase aire-líquido (fuerza por unidad de longitud o energía por unidad de área). Es por ello que la superficie de las burbujas es una especie de “optimizador” natural que resuelve el difícil problema matemático de minimizar el área, por tanto, la energía (Moffat *et al.* 2016). Ésta también es la razón de que las burbujas suelen ser esféricas (la forma con mínima área para un volumen dado), y aunque podemos hacer burbujas de muchas formas, éstas siempre tendrán una forma óptima en el sentido de minimizar el área o energía superficial. Más aún, esto es un problema muy interesante para los matemáticos, que también estudian las transiciones de la topología de las burbujas, como cuando creamos láminas de burbuja con un alambre y lo deformamos. Estos cambios de forma son muy difíciles de analizar por medio de ecuaciones matemáticas (Moffatt *et al.* 2016) y son casi instantáneos. Solamente para cerrar esta introducción al mundo de las burbujas, se hará mención de algunas aplicaciones y estudios de gran importancia que involucran física de burbujas:

- Transporte de gases en interface océano atmósfera (Czernski, 2017).
- Generación de sonido en el agua, modos de vibración, uso de ultrasonido para procesos industriales y de limpieza (Leighton *et al.* 2017; Leighton, 1998).
- Aplicaciones navales, militares estela de embarcaciones (Caillé *et al.* 2006).
- Diagnóstico médico usando microburbujas y ultrasonido (Cosgrove, D., 2006), microburbujas como agentes transportadores de medicina a un blanco específico (Bull, 2007).
- Generación de aerosoles marinos, impacto en el clima, formación de nubes (Cornwell *et al.* 2020; Ladino *et al.* 2021).
- Aplicaciones ópticas, simulación de atmósferas planetarias (Meuel, 2013).
- Disminución de arrastre (industria naval, militar, (ver Ceccio, 2010)).
- Cortinas de burbujas para reducir impactos de ruido (Lucke *et al.*, 2011), para evitar el paso de algunas especies (Zielinski y Sorensen, 2016; Haberlin, *et al.* 2021), limpieza de canales/ríos, manejo de sedimentos, etc. (investigaciones en curso).
- Aplicaciones en la industria de las bebidas como el Champagne (Liger-Belair *et al.* 2008) y otras bebidas burbujeantes (Zenit y Rodríguez-Rodríguez, 2018).

- Aireación de tanques y reactores, transporte de masa (Figuroa y Legendre, 2010).
- Transporte de momentum, masa y calor en aplicaciones como bombeo de líquidos usando inyección de aire (Gutiérrez *et al.* 2021), aplicaciones petroleras (downcomers) y en la industria nucleoelectrónica (Taylor, 1950; Collins, 1978; Fabre y Figuroa, 2014; Figuroa y Fabre, 2010).

2. Un ejemplo: Burbujas de Taylor

Volviendo a la optimización de superficie (por tanto de energía), describiremos brevemente un ejemplo de investigación sobre cierto tipo de burbujas de particular interés en ingeniería: se trata de un estudio sobre la velocidad de ascenso y caracterización de burbujas en tuberías (Figuroa y Fabre, 2011; Fabre y Figuroa, 2014). Cuando se forman burbujas grandes dentro de un tubo que ocupan casi la totalidad de la sección del mismo, tomando una forma similar a una bala (ver Figura 2a), se trata de *burbujas de Dumitrescu-Taylor* (Dumitrescu, 1943; Taylor, 1950), que se han estudiado desde los años 40 a la fecha, con aplicaciones en submarinos, reactores nucleares, transferencia de masa, calor, extracción de petróleo, bombeo *Airlift* (Colebrook, 1939; Griffith y Wallis, 1961; Gutiérrez-Martínez *et al.* 2021), vulcanología y flujos geofísicos, entre otros. Una particularidad de las burbujas de Taylor es que para burbujas largas (longitud mayor a dos diámetros de tubo), la velocidad es independiente de la longitud de la burbuja (y de su volumen, cosa que no ocurre con ningún otro tipo de burbuja). En muchos casos la velocidad de ascenso es un parámetro muy importante, mismo que depende de las propiedades de los fluidos y del flujo mismo, cuya física se puede caracterizar por medio de un conjunto pequeño de números adimensionales como el número de Reynolds Re (relación de fuerzas inerciales y fuerzas viscosas), el número de Bond o Eötvös Eo (fuerzas de flotación/tensión superficial) y las velocidades adimensionales de los fluidos (número de Froude V^* y U^* para la burbuja y el líquido, respectivamente). La solución analítica del flujo de una burbuja aislada es un problema matemático difícil, que se ha abordado para el caso de baja viscosidad y tensión superficial (Re grande, Eo grande), por medio del uso de la teoría del flujo potencial axisimétrico (Collins *et al.* 1978; Bendiksen, 1985) y 2D (Garabedian, 1957; Collins, 1965; Couët y Strumulo, 1987 Ha-Ngoc *et al.* 2003) con cierto éxito. Sin embargo, las soluciones teóricas no se ajustaban a las primeras observaciones a contraflujo (el agua moviéndose hacia abajo, mientras la burbuja asciende (ver Collins *et al.* 1978). Es por eso que en el Instituto de Mecánica de Fluidos de Toulouse (IMFT) se llevaron a cabo una serie de cuidadosos experimentos y simulaciones, que se continuaron

en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Se diseñaron y construyeron dos sofisticados circuitos experimentales, uno de más de 10 metros de alto. También, se verificó meticulosamente el perfil de velocidades del líquido que enfrenta a la burbuja usando la técnica de velocimetría láser (PIV). Se mostró que la burbuja conserva su simetría a contraflujo gracias al efecto de la tensión superficial. Sin embargo, si se aumenta la rapidez del fluido, se llega a un punto donde hay una transición: la burbuja optimiza su forma a modo de minimizar la energía de superficie y maximizar la velocidad de ascenso enfrentando la corriente descendente de líquido. La burbuja toma entonces una forma aerodinámica asimétrica similar a la de un tren de alta velocidad (TGV), como se muestra en la Figura 2, donde la primera imagen a) representa la burbuja de Taylor en líquido inmóvil, mientras b) y c) muestran burbujas asimétricas a distintas velocidades de líquido (flujo laminar). Además, se hicieron pruebas con flujo turbulento (variando el diámetro de tubería y los líquidos a probar), como en el caso c), donde se observan incluso ondas capilares viajando aguas abajo en la superficie de la burbuja, causadas por las fluctuaciones turbulentas.

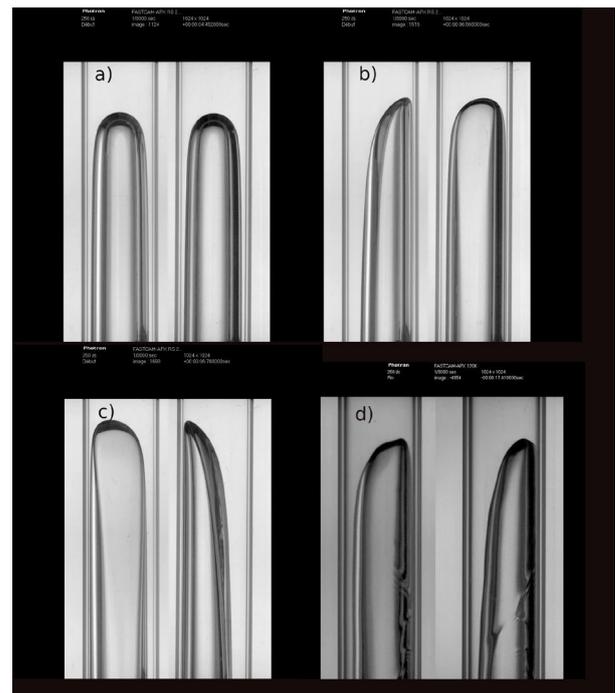


Figura 2. Burbujas de Taylor a distintas velocidades de líquido a contraflujo; a) líquido inmóvil $U^*=0$, b) $U^*=0.280$, flujo laminar, se pierde simetría, c) $U^*=0.452$, flujo laminar. La superficie libre se torna convexa, y d) $U^*=0.5$, flujo turbulento, se aprecian ondas que son barridas por el flujo hacia abajo. Todas las imágenes muestran dos vistas de las burbujas, una frontal y una lateral

Las mediciones de velocidad de ascenso de burbuja adimensional $V^* = V/(gD)^{1/2}$ (donde V es la velocidad de la burbuja, g es la gravedad y D es el diámetro del tubo), se muestran en la Figura 3, en función de la velocidad del fluido $U^* = U/(gD)^{1/2}$, donde U es la velocidad promedio del fluido. En la figura se muestran recuadros y flechas que indican el tipo de burbuja observado, así como la longitud de burbuja adimensional L/D , con marcadores de colores. Distintas longitudes de burbujas siguen la misma ley de velocidad, como se esperaba. Se muestra exclusivamente el caso laminar, aunque también se obtuvo la ley de velocidad del caso turbulento (se probaron además varios valores de Eu , aunque las figuras correspondientes no se muestran aquí por brevedad). Estas leyes de velocidad difieren sustancialmente de las obtenidas para flujo de líquido ascendente (co-current flow), que son muy similares a las aproximaciones teóricas.

Una sorpresa

Es de remarcar que hay algunos puntos que parecen no obedecer la ley de velocidad para el caso laminar; en el rango comprendido entre $U^* = -0.45$ y $U^* = -0.6$ se observan tres puntos con velocidades de burbuja V^* inesperadamente altas. ¡Son incluso más altas que la velocidad de ascenso de una burbuja en

líquido inmóvil! ¿Cómo puede ser esto si el líquido desciende a gran velocidad? ¿Se trata de algún error experimental?

Sucede que la burbuja de Taylor no viajaba sola; a veces la burbuja encuentra pequeñas burbujas en su camino, que normalmente son barridas por el mismo líquido alrededor de la burbuja de Taylor, a través de la delgada capa de fluido que pasa entre la burbuja y el tubo, donde la velocidad es altísima (reducción de sección). Existen casos rarísimos en que la burbuja encuentra una pequeña burbuja milimétrica frente a ella y en que las condiciones hidrodinámicas permiten que la pequeña burbuja se mantenga delante de la burbuja de Taylor de manera estable (tuvimos que modificar el experimento para reproducir el fenómeno dos veces más). La perturbación de la estela de la pequeña burbuja causa un reajuste en la forma de la burbuja de Taylor, que es muy sensible a las condiciones aguas arriba. Esta nueva forma es muy aerodinámica (como un cohete), permitiendo que ésta viaje a velocidades muy altas, empujando a la pequeña burbuja sin rebasarla, como muestra la Figura 3. En la Figura 4 se muestra un detalle de uno de estos casos rarísimos de interacción entre burbujas. Las condiciones de esta configuración (burbuja pequeña adelante y de Taylor atrás) son muy inestables, sin embargo, es posible encontrar casos estables. Este efecto sigue siendo tema de investigación y no se comprende bien todavía.

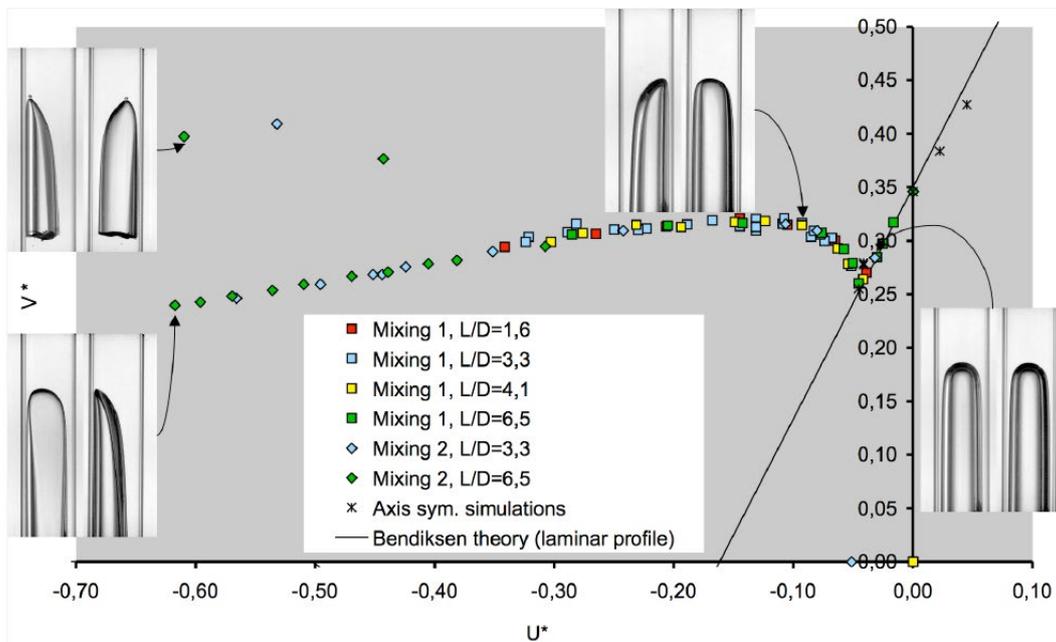


Figura 3. Velocidad adimensional de la burbuja V^* , en función de aquella del fluido U^* . Los colores representan distintas longitudes de burbuja. Las líneas continuas son soluciones teóricas de flujo potencial, mientras los asteriscos son simulaciones numéricas axisimétricas



Figura 4. Detalle de la burbuja que no viaja sola. Se observa la pequeña burbuja milimétrica frente a la burbuja de Taylor, ambas viajando de manera estable a gran velocidad

En este estudio se llevaron a cabo también simulaciones numéricas para probar las leyes de velocidad en 2D (Figuroa y Fabre, 2010), pero no se muestran por brevedad, el lector interesado puede consultar las referencias correspondientes (las simulaciones directas se hacen en 2D debido al tiempo de cómputo que implica hacerlo en 3D, pero las leyes de velocidad tienen la misma forma matemática y comportamiento cualitativo; de ahí la utilidad de las simulaciones 2D). Adicionalmente, en las simulaciones se mostró también que existen ciclos de histéresis* en situaciones no estacionarias, muy difíciles de estudiar experimentalmente.

Nota: la histéresis significa que el sistema (no lineal) puede recorrer una trayectoria (en el plano V^ vs. U^* en nuestro caso) para llegar a un punto, y regresa por una trayectoria distinta, es decir, su respuesta depende de su estado actual y de la historia de estados anteriores. Es una característica de los sistemas complejos y requiere estudiar la evolución del sistema en el tiempo (condiciones no estacionarias).

Es muy importante contar con estudios meticulosos de la física de los flujos burbujeantes, como este caso de las burbujas de Taylor, ya que la ciencia fundamental permite desarrollar técnicas para predecir el comportamiento de flujos multifásicos en una gran cantidad de situaciones de interés científico y aplicado. Estudiar la velocidad de una sola burbuja en condiciones controladas permite desarrollar modelos de flujos multifásicos aplicados, como el usado por Gutiérrez-Martínez *et al.* (2021), para caracterizar bombeo por inyección de aire (Airlift), o los experimentos de Franco-Gutiérrez *et al.* (2014 y 2022) con generadores de microburbujas, llevados a cabo en colaboración entre el Instituto de Ingeniería Unidad Sisal y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con aplicaciones en ingeniería química, mecánica, energía, geotermia y petrolera (entre otras). Actualmente, se siguen haciendo investigaciones con flujos burbujeantes en nuestra sede de Sisal (en colaboración con otras instituciones académicas) y cada año surgen nuevas aplicaciones de las burbujas, pues la imaginación no tiene límites. Es interesante ver que, como en casi todas las disciplinas científicas (experimentales, numéricas y teóricas), se pueden presentar divertidas sorpresas que originan nuevas ideas y aplicaciones.

Agradecimientos

Se agradece al proyecto PAPIIT IB100513, así como al Prof. Jean Fabre por su guía y su paciencia. Gracias también al T. A. Ing. Gonzalo U. Martín Ruiz. |

Referencias

<https://lipcloud.iingen.unam.mx/index.php/s/3cY2ypBp7zjgoM>

NOTIINGEN

¿Conoces NOTIINGEN?

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

Encuétralo cada viernes en nuestras redes sociales

- InstitutoIngenieriaUNAM
- IUNAM
- IUNAM
- IUNAM
- IINGENUNAM

ANÁLISIS NUMÉRICO DE LA FORMACIÓN DE VAPOR EN EL XILEMA DE UNA CONÍFERA

J. ROSAS, W. VICENTE Y M. NAVARRETE

Uno de los problemas transcendentales que tenemos que afrontar, es el hecho de que la supervivencia de las plantas se ve afectada por el calentamiento global. Las plantas experimentan estrés fisiológico debido a olas de calor, sequías, incendios o heladas; cuando son de gran magnitud y duración las conducen al deceso. Pero, ciertas plantas evitan su declive reparando el daño y recuperándose parcial o completamente. La recuperación post-estrés se realiza a varias escalas: a nivel de hoja, árbol y hasta de paisaje. Para planear su protección y recuperación, este grupo de investigación se da a la tarea de comprender el comportamiento del flujo del agua a través de su arquitectura hidráulica (xilema) bajo condiciones extremas (ver Fig. 1 y 2). Actualmente, no se tiene una computadora para modelar la arquitectura hidráulica de un árbol desde la raíz a las hojas, es por ello, que los estudios se enfocan en una de sus estructuras hidráulicas primordiales.

Así, se estudia y analiza mediante modelado numérico el flujo de la sabia a través de las fosas de un pino, especie *Picea mariana*, y se emula el proceso de la formación de la cavitación en sus conductos para conocer el umbral que produce su embolia generalizada (muerte), con el fin de evitar dichos valores mediante los cuidados de las plantas y su entorno.

Actualmente, en la literatura científica se asume que el agua es impulsada a través de los conductos del xilema por gradientes de tensión inducidos por la pérdida de agua (evaporación) que sucede en las hojas a través de los estomas (transpiración) formando columnas continuas de agua desde las raíces hasta los órganos foliares. Esta hipótesis se denomina teoría de la cohesión-tensión (CTT) y fue formulada por Dixon y Joly (1895) [1] y renovada por Tyree y M. H. Zimmermann en 2002 [2]. Esta teoría sienta las bases de la existencia de la presión hidrostática "negativa". Se considera que la arquitectura hidráulica del xilema es una "tubería" aislada de todos los demás sistemas y que el flujo que sostiene por definición es inestable; ya que la tracción del agua al ser negativa (metaestable) es fácilmente quebrantada lo que provoca cavidades.

Esto nos revela que los árboles coexisten con la cavitación y tienen mecanismos alternativos para recuperarse, evadirla o tolerarla, hasta cierto punto [3]. Dichos mecanismos ocupan tiempo, a veces de días a semanas [4], de meses a años [5] o incluso décadas [6]. Se conocen tres procesos de formación de embolismo: i) Embolismo inducido por sequía, la tensión del agua en el xilema

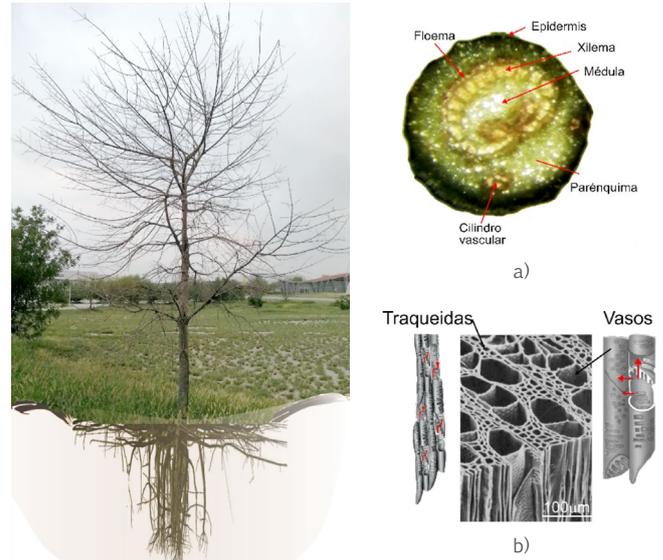


Figura 1. Arquitectura hidráulica del árbol. a) Corte transversal de una rama en donde se observan sus estructuras internas (Anacaita); b) imagen de Traqueidas y vasos del Xilema por MEB [2]

se vuelve tan alta que el aire disuelto se expande en los vasos y/o traqueidas obstruyendo la conducción del agua; ii) Embolismo inducido por congelación invernal, durante la congelación las burbujas de aire son expulsadas de la solución formando conglomerados, éstos a su vez, forman núcleos gaseosos (burbujas) que al arribar la descongelación, se expanden formando embolias locales; iii) Embolismo inducido por patógenos.

Hay especies que recargan su xilema y recuperan su función hidráulica, a la fecha, se desconocen los detalles finos de tal recuperación. Zeppel *et al.* [7] encuentran que las especies de zonas áridas tienen mayor recuperación que las especies de zona métrica. En la Fig. 2 se resume en forma pictórica lo que sucede en un árbol funcional y los mecanismos que se reconocen para escapar, tolerar o evadir la sequía. Además, el sistema arquitectónico hidráulico de los árboles es redundante.

Sistema del tejido vascular: Xilema

El xilema se compone principalmente de dos elementos por donde fluye el agua: las traqueidas (alargadas y arregladas en filas verticales) y vasos (con cribas en sus extremos), ambas son conductos formados por células muertas especializados para conducir el agua desde la raíz. Su longitud depende de la especie y de las condiciones ambientales. Las traqueidas alcanzan una longitud < a 5 [mm] y diámetros ~ 30 [μm]. Los vasos alcanzan longitudes de metros y sus diámetros oscilan entre 20 y 70 [μm]. Las paredes de los elementos se conectan transversalmente

mediante válvulas llamadas “fosas o punteaduras” cuyos diámetros se encuentran en el intervalo de 9 a 18 [µm] (ver Fig. 1b).

Para emular el flujo ascendente a través de las traqueidas se considera la geometría de una fosa aureolada incrustada en la pared interfacial (ver Fig. 3a). El flujo axial se desvía hacia la membrana perforada (Margo) debido a que tiene su centro sólido. Para nuestro caso, usamos la geometría de una fosa de pino (*Picea mariana*). La fosa es aureolada y se modela como un disco constituido por una placa interior sólida y un borde exterior perforado (Margo) (ver Figs. 3 y 4).

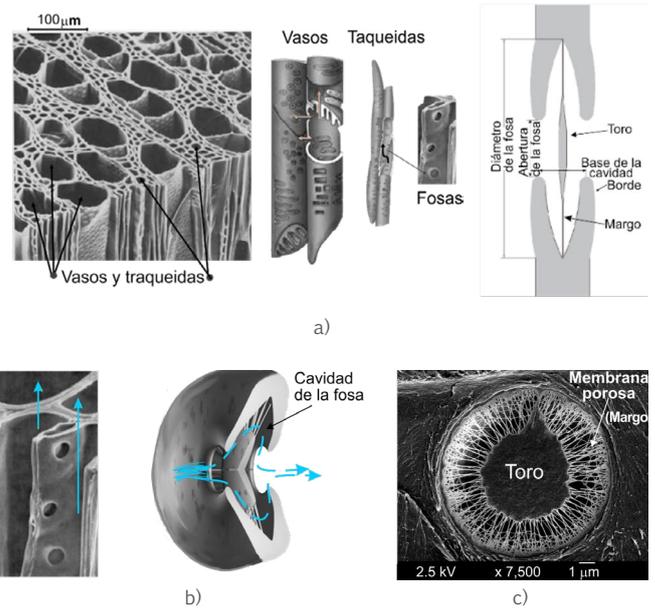


Figura 3. (a) Imagen SEM de las fosas [2]; (b) modelo 3D [9]; (c) corte de una fosa. ↑ → dirección del flujo vertical y horizontal respectivamente [12]

Mecanismos de adaptación a la sequía

Escapar	Evadir	Tolerar
Plasticidad	Ramificación radicular	Ajuste osmótico
Removilización de reservas	Regulación estomática	Antioxidantes
	Enrollamiento y pubescencia foliar	Dehidrinas
	Engrosamiento de cutícula	Transporte

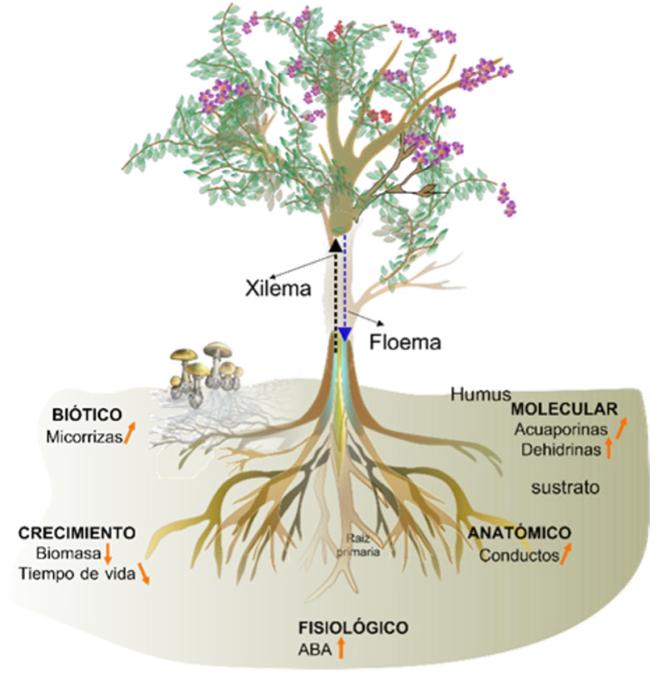


Figura 2. a) Vista global de los procesos que suceden en una planta vascular. El xilema realiza la transferencia de agua del suelo a la atmósfera. El floema transporta azúcares y otros metabolitos desde las hojas a los tejidos. En la sección inferior se indican los mecanismos de resistencia a la sequía ya sea evitándola, resistiéndola o tolerándola. Efecto positivo, negativo y tendencia ↑ ↓ ↗ ↘ . Imagen inspirada en ref. [8]

Resultados

Con el fin de estimar el rol de los componentes que integran la fosa, como los bordes, el toro y el margo, se construyen los modelos bajo las siguientes condiciones: velocidad de flujo en los conductos de 0.3 a 0.8 [mm s⁻¹] [2], un número de Reynolds* de alrededor de 0.08; por lo que las ecuaciones de gobierno se resuelven considerando flujo laminar**. A partir de un análisis de independencia de malla, se llega a un mallado tetraédrico de 5 millones de elementos con un refinamiento en la zona del margo de la fosa (ver Fig. 5).

Las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento se resuelven con el software Ansys Fluent, utilizando el método de volúmenes finitos. El fluido de trabajo es agua con propiedades estándar y el flujo se considera en estado estacionario. Para resolver el acoplamiento de la presión con la velocidad se aplica el algoritmo SIMPLE (Semi-Implicit method for pressure linked equations). Se utiliza una discretización espacial de segundo orden para la presión y el momentum. Se fija el gasto másico de entrada a 6.25x10⁻¹¹ [kg s⁻¹], y se impone una presión de salida en el orden de la presión de vapor del agua ~ 3325 [kPa].

Debido al tamaño de los elementos del xilema y a las propiedades hidrófobas del material; se selecciona la condición de deslizamiento en la pared (esfuerzo cortante nulo en la pared) por lo que no existe resistencia al flujo por las paredes.

*El número de Reynolds indica la turbulencia del agua
 ** Flujo laminar es flujo sin turbulencias

En general, la entrada de la fosa protegida por bordes de la aureola genera una región de alta velocidad de flujo (Figs. 3b y 6). Las Figs. 6a y b muestran una solución para la presión y la velocidad considerando la geometría de una fosa de la especie seleccionada. Se obtienen contornos similares del flujo variando tanto la velocidad de entrada como la presión. El flujo se acelera en la parte del margo cercana al toro.

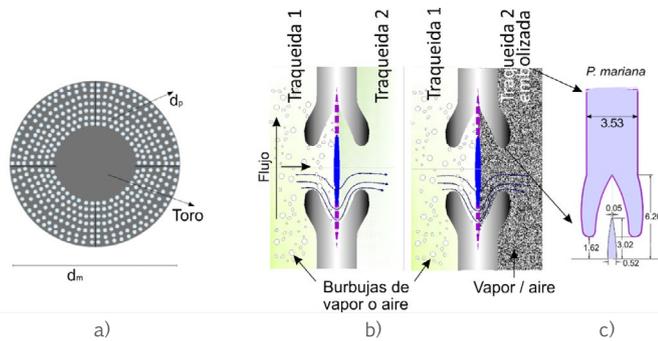


Figura 4. Geometría para el modelado numérico del flujo. a) Se emula la membrana de las fosas (margo) a una geometría de placa perforada que permite cambiar la resistencia del flujo variando tanto el diámetro de los orificios como su número; b) Trayectoria representativa del flujo longitudinal y transversal de agua entre dos traqueidas donde al pasar por las aberturas sufre una transición de fase de líquido a vapor; c) Dimensiones principales de la areola de la fosa y del margo

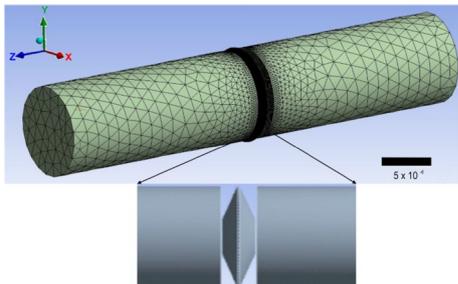


Figura 5. Mallado tetraédrico con 5 millones de elementos con refinamiento en la zona de la fosa para modelar el desplazamiento del flujo transversal entre traqueidas a través de una fosa

Para resolver el flujo bifásico se aplica el modelo de la mezcla considerando una fracción de vapor inicial de 0.001%. Se realizan diversas simulaciones donde se incrementa la velocidad del flujo en la entrada de la fosa para observar el comportamiento de la formación del vapor en función de la velocidad del flujo (ver Fig. 7).

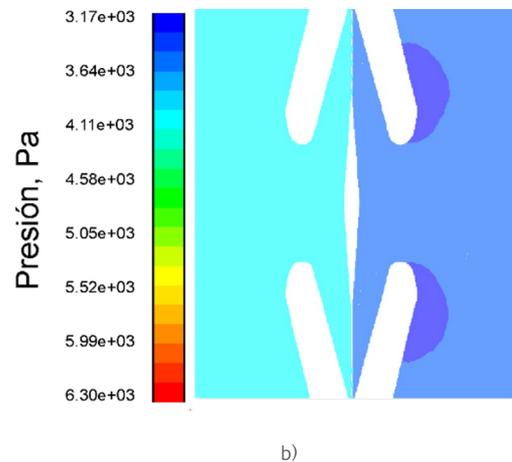
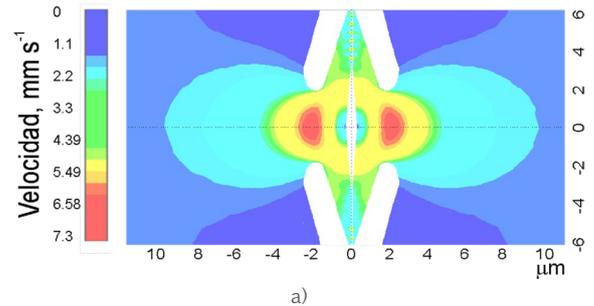


Figura 6. Resultados del modelo representativo mostrado perfiles de velocidad y presión del flujo a través de la cámara del foso. a) Iso-superficies de velocidad en $[mm\ s^{-1}]$, los números a la izquierda y borde inferior indican distancias en $[\mu m]$; b) Perfiles de presión en donde se aprecian zonas de baja presión en la traqueida 2

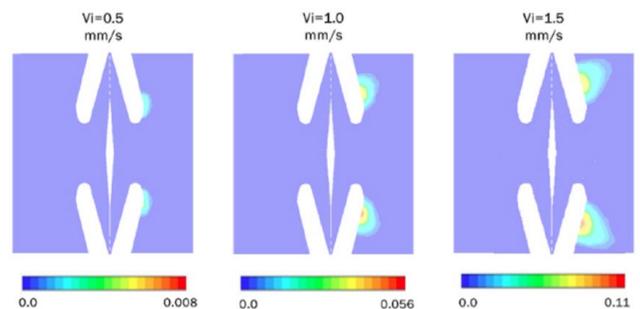


Figura 7. Formación de vapor como una función de velocidad de flujo en la entrada de la fosa. Se observan los contornos de la fracción volumétrica del vapor en función de la posición. La escala indica la fracción volumétrica en %

Conclusiones

Un ecosistema forestal saludable no es simplemente productivo, sino uno finamente equilibrado para la sostenibilidad de todas las especies que contribuyen a su existencia. Los árboles son el corazón de todo ecosistema y es difícil identificar algo más importante para la existencia de todos los seres vivos en la superficie de la Tierra. Actualmente, se favorece algunas especies basándose en consideraciones económicas; la ingeniería genética transforma a los favorecidos en clones "mejorados", pasando por alto la fisiología del árbol silvestre con la capacidad de supervivencia lograda por desafíos repetidos durante millones de años.

Recordemos que cada árbol no es sólo una biofábrica de producción de madera o frutos, sino un organismo extraordinario con una ascendencia que se remonta antes de la llegada del hombre^[10-11]. A partir de las simulaciones numéricas realizadas a diferentes casos, se obtienen los perfiles de presión entrada/salida de la fosa, así como los contornos de presión variando el número y tamaño de hoyos del margo de la fosa. Los resultados demuestran que el cambio en la diferencia de presión tiene una relación inversamente proporcional al incremento en el número y tamaño de los hoyos. Es decir, el flujo de agua dentro de los elementos del xilema pasa con mayor facilidad por aquellas fosas que tienen mayor cantidad de hoyos en su margo.

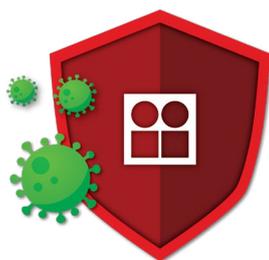
Además, con la visualización de los contornos de presión, se aprecia una zona de baja presión en la salida de la fosa, que eventualmente provoca la formación de vapor, que se extiende verticalmente hasta obstruir totalmente el conducto. Como trabajo futuro se planea realizar un análisis del flujo con condiciones saturadas de aire (nano burbujas), de tal manera, que sirvan como puntos de nucleación para una mayor generación de vapor, y eventualmente, encontrar la concentración para bloquear totalmente el conducto, comprobando así que el fenómeno de cavitación vaporosa sucede en las minúsculas fosas.

Agradecimientos

Trabajo patrocinado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación Tecnológico IN101712: Cavitación y embolia en árboles bajo cambio climático y contaminación ambiental. |

Referencias

- [1] Dixon H. H. y Joly J. On the ascent of sap. Proceedings of the Royal Society of London 57(1894), 3-5.
- [2] Zimmermann M. H. Xylem structure and the ascent of sap, Berlin: Springer Verlag, 1983.
- [3] Brown H. R. The theory of the rise of sap in trees: some historical and conceptual remarks. Phys Perspect 15 (2013)320-39.
- [4] Brodribb T. J.; Bowman D. J.; M. S., Nichols S.; Delzon S. y Burtlett R. Xylem function and growth rate interact to determine recovery rates after exposure to extreme water deficit. New Phytol 188(2010)533-10.
- [5] Zeppel M. J. B.; Macinnis-Ng CMO; Yunusa I. A.M.; Whitley R. J. y Eamus D. Long term trends of stand transpiration in a remnant forest during wet and dry years. J Hydrol 349(2008)200-14.
- [6] Vertessy R. A.; Watson F. G. y O'Sullivan R. S. K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. Ecol Manage 143(2002)13-26.
- [7] B. Zeppel M. J. B.; Anderegg W. R. L.; Adams H. D.; Hudson P.; Cook A.; Rumman R.; Eamus D.; Tissue D. T. y Pacala S. W. Embolism recovery strategies and nocturnal water loss across species influenced by biogeographic origin. Ecology and Evolution 9(2009) 5348-14.
- [8] Brunner I.; Herzog C. y Dawes A. D. Arend M., Sperisen C. How tree roots respond to drought. Front. Plant Sci. 6(2015) 547-16.
- [9] Valli A.; Koponen A.; Vesala T. y Timonen J. Simulations of water flow through bordered pits of conifer xylem.
- [10] Edwards D. 2003. Xylem in early tracheophytes. Plant Cell Environ. 26(1): 57-72.
- [11] Savidge R. A. Learning from the past – the origin of wood. The forestry chronicle August 2008.
- [12] Schulte PJ, UG Hacke and AL Schoonmaker. 2015. Pit membrane structure is highly variable and accounts for a major resistance to water flow through tracheid pits in stems and roots of two boreal conifer species. New Phytologist 208:102-113.



Juntos
prevenimos
la **COVID-19**

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL ESTADO DE KENTUCKY PARA EVALUAR EL PELIGRO KÁRSTICO EN MÉXICO

MADRIGAL, M. C.; BOTERO, E.;
OVANDO, E.; OSSA, A. Y OSORIO, L.

El Fondo Nacional para el Turismo, FONATUR, solicitó al Instituto de Ingeniería su participación en el proyecto del Tren Maya, misma que tuvo lugar del 20 de marzo de 2020 al 17 de julio de 2020. El II estuvo involucrado únicamente durante la etapa de Ingeniería Básica de ese proyecto, con el objeto de formalizar la *Colaboración Académica en Materia de Geotecnia y Estructuras durante el desarrollo de la Ingeniería Básica del Tren Maya*. En lo que se refiere a los aspectos relacionados con la geotecnia, desde el inicio del proyecto se reconoció que la kársticidad de la península de Yucatán es el factor que determina los mayores peligros al Tren Maya. Ello resulta de la naturaleza y características de las rocas calizas que prevalecen en toda la península. En cuanto al Tren Maya, al menos 25% del trazo de esta vía se localiza en zonas de alta o muy alta kársticidad.

Consideraciones generales

La kársticidad se desarrolla a partir de la disolución de rocas sedimentarias solubles como carbonatos, evaporitas y dolomías, principalmente por la acción del agua. El proceso de kársticidad comprende la combinación de diferentes mecanismos y factores entre los cuales se encuentran el factor litológico, el factor estructural y el factor climático (Barea-Luchena, 1995). Posteriormente, se incorporaron dos factores más, la vegetación y el tiempo de exposición de la roca al intemperismo (Bautista *et al.*, 2011). En estas superficies el relieve se caracteriza por la diversidad de formas negativas, como las depresiones tipo dolina y úvala; también de formas positivas, como las lomas y montañas kársticas con tamaños que van desde formas milimétricas, como los lapiaz hasta los poljes de grandes extensiones (Kueny y Day, 2002, Frago-Servón *et al.*, 2014). Adicionalmente, el paisaje kárstico se caracteriza por la presencia de poco drenaje superficial debido a la alta permeabilidad y porosidad de las rocas favoreciendo la rápida infiltración del agua y materia orgánica desde la superficie a las cavidades subterráneas (Fragoso-Servón y Pereira, 2014, Mora *et al.*, 2016).

Las dolinas son depresiones cerradas simples circulares o elípticas, mientras que las úvalas tienen forma irregular o alargada; por último, los poljes son depresiones kársticas de gran tamaño, mayores a 1 km² (Frelih, 2003, Ford y Williams, 2007, Frago-Servón *et al.*, 2014). Los paisajes kársticos en México representan aproximadamente 15% del territorio nacional. Estos se localizan principalmente en Tamaulipas, Chiapas y la Península de Yucatán; sin embargo, la caracterización de estos territorios tiene aún poco detalle (Espinasa-Pereña, 2007, Mora *et al.*, 2016).

Evaluación del peligro kárstico

En el estado estadounidense de Kentucky entre 50 y 60 % de su superficie tiene potencial para desarrollarse kársticidad, misma que fue reconocida como amenaza geológica y fue incluida en el Plan de Mitigación de Peligro del Estado desde 2013 (CK-EHMP, 2013). El método incluido en el Plan de Mitigación de Peligro de 2018 para evaluar el peligro por kársticidad, consistió en dividir el estado en recuadros de 1 km² y calcular el Índice de Peligro Kárstico (IPK) en cada uno de ellos, a partir de la suma del porcentaje de área kárstica y de la densidad de dolinas:

$$IPK = \log_{10} ((\% \text{ área kárstica}) + (\text{densidad de dolinas}) + 1) \quad (1)$$

Luego, para clasificar los resultados del IPK en las cuatro categorías de peligro establecidas (bajo, medio, alto y severo). En la Tabla 1 se presenta la interpretación de las cuatro categorías de peligro por kársticidad en términos de área kárstica y de la densidad de dolinas.

Tabla 1. Categorías del peligro kárstico en Kentucky (CK-EHMP, 2018).

Categoría de peligro	Definición
Bajo	Área sin desarrollo potencial de karst
Moderado	Área kárstica sin desarrollo de dolinas
Alto	Área kárstica con 1 a 9 dolinas por km ²
Severo	Área kárstica con más de 9 dolinas por km ²

Índice de peligro kárstico en la Península de Yucatán

Para analizar y establecer la aplicabilidad de la metodología del estado de Kentucky, en la península de Yucatán se consideró una malla de análisis de aproximadamente 1 km de ancho sobre el eje del tren compuesta por 3413 recuadros de 1 km².

Para aplicar la metodología y determinar el Índice de Peligro Kárstico para la zona de estudio, se utilizó el programa libre y de código abierto QGIS v 3.10.2. El porcentaje de área kárstica que corresponde a la superficie calcárea por kilómetro cuadrado propensa a presentar disolución, se determinó a partir de la base de datos de los fenómenos naturales y antrópicos que ha integrado el CENAPRED, en el Atlas Nacional de Riesgos de México. En la Tabla 2 se presentan los valores del potencial kárstico definidos para el área de estudio.

Tabla 2. Valores del potencial kárstico definidos para el área de estudio

Valores	Potencial kárstico
0.25	Bajo
0.50	Moderado
0.50	Alto
1.00	Severo

Resultados

Para cada uno de los recuadros de 1 km² de la malla de análisis se determinó el potencial kárstico y la densidad de dolinas

para obtener el Índice de Peligro Kárstico (IPK). Finalmente, para establecer los niveles del peligro correspondientes (bajo, medio, alto y severo), los resultados fueron normalizados dividiendo por el máximo valor obtenido de los análisis y se clasificaron siguiendo la metodología de los Jenks Natural Breaks (Jenks y Caspall, 1971) (Fig. 1). Los resultados obtenidos son producto de los análisis realizados en cada uno de los recuadros de 1 km² que conforman la malla de forma independiente. Por lo anterior, no existe una correlación o dependencia entre recuadros contiguos.

En la Tabla 3 se presentan los rangos de cada una de las categorías y la cantidad de recuadros de 1 km² de la malla de análisis que pertenecen a cada una de éstas.

Tabla 3. Clasificación del Índice de Peligro Kárstico

Escala de color	Rango	Cantidad de recuadros de 1 km ²	IPK
	0.0000-0.0864	1797	Bajo
	0.0864-0.2166	779	Moderado
	0.2166-0.4561	579	Alto
	0.4561-1.0000	258	Severo
	Total	3413	

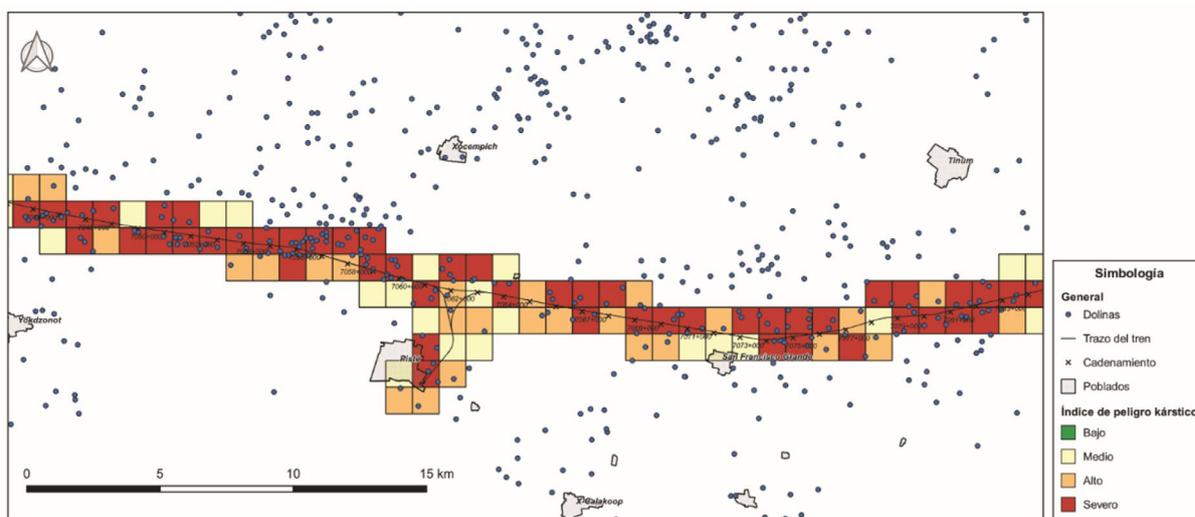


Figura 1. Resultados del Índice de Peligro Kárstico

En la Figura 2 se observa que los recuadros de análisis de 1 km² con 25 % de área kárstica sin dolinas tienen un Índice de Peligro Kárstico Bajo. Por otro lado, para los recuadros que tienen entre 50 y 75 % de área kárstica, pero sin dolinas, se tiene un Índice de Peligro Kárstico Medio. A la categoría Alta, pertenecen aquellos recuadros sin dolinas que tienen un área 100 % kárstica; también, aquellos con una dolina y un área kárstica igual o mayor a 50 %; por último, los que tienen una o dos dolinas y un porcentaje de área kárstica igual a 25 %. Finalmente, el Índice de Peligro Kárstico Severo está representado por los recuadros que tienen 25 % del área con potencial kárstico con más de dos dolinas, además, los que tienen 50% o más del área kárstica entre 2 y 12 dolinas.

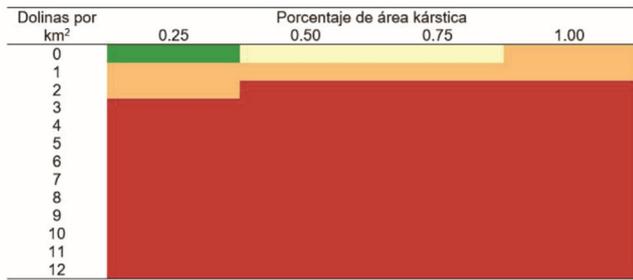


Figura 2. Interpretación del Índice de Peligro Kárstico

Conclusiones

Los resultados obtenidos mediante esta metodología no deben ser considerados como la única fuente de información para realizar diseños o propuestas económicas definitivas de un proyecto. Debe aclararse que los resultados dependen fuertemente de la malla de análisis, por ello, los cambios en ella obligan a un nuevo cálculo del Índice de Peligro Kárstico. Los resultados de estos análisis son cualitativos pero permiten orientar trabajos exploratorios de detalle, específicamente, permiten determinar las zonas que requieren mayor exploración geotécnica y geofísica, en función de las características del proyecto. De la misma manera, los análisis aquí presentados permiten orientar otros estudios como los que se relacionan con la mitigación del impacto ambiental.

Los estudios realizados por el Instituto de Ingeniería abarcaron los siete tramos del proyecto, pero no el tramo reubicado recientemente (Cancún a Tulum). Finalmente, la evaluación del peligro kárstico no puede soslayarse para ninguno de los tramos del Tren Maya, de lo contrario, aumentará la probabilidad de que durante la construcción y operación del tren ocurran eventualidades no deseadas e inclusive peligrosas. |

Referencias

- Barea-Luchena, J. (1995). "Geología del Karst desde el punto de vista espeleólogo". *Boletín Espeleológico SECJA*, Vol. 1: 46-52.
- Bautista, F.; Palacio-Aponte, G.; Quintana, P. y Zinck, J. A. (2011). "Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico". *Geomorphology*, Vol. 135: 308-321.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Gobierno de México, febrero 2020: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>.
- Commonwealth of Kentucky Enhanced Hazard Mitigation Plan (CK-EHMP, 2013). Kentucky Emergency Management.
- Commonwealth of Kentucky Enhanced Hazard Mitigation Plan (CK-EHMP, 2018). Kentucky Emergency Management.
- Espinasa-Pereña, R. (2007). "El Karst de México". Mapa NA III 3, en Coll-Hurtado, A. (coord.), Nuevo Atlas Nacional de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ford, D. y Williams, P. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. Inglaterra: John Wiley and Sons.
- Fragoso-Servón, P.; Bautista, F.; Frausto, O. y Pereira, A. (2014). "Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México" *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 31 (1): 127-137.
- Fragoso-Servón, P. y Pereira, A. (2014). "El karst de la porción este de la Península de Yucatán". *Memorias del XIII Congreso Internacional y XIX Congreso Nacional de Ciencias Ambientales*, ISBN 978-607-9232-19-1:2352-2361.
- Frelih, M. (2003). "Geomorphology of karst depressions: polje or uvala - a case of Lucki dol". *Acta Carsologica* Vol. 32 (2): 105-119.
- Jenks, G. F. y Caspall, F. C. (1971). "Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction". *Annals of American Geographers*, Vol. 61:217-244.
- Kueny, J. A. y Day, M. J. (2002). "Designation of protected karstlands in Central America: a regional assessment". *Journal of Cave and Karst Studies*, Vol. 64:165-174.
- Mora, L.; Bonifaz, R. y López-Martínez, R. (2016). "Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México". *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*: 377-394.



RETOS Y ÁREAS DE OPORTUNIDAD ANTE LA PUBLICACIÓN DE LA NUEVA NORMA NOM-001-SEMARNAT-2021 QUE LIMITA LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES ¿QUÉ DEBEMOS Y QUÉ PODEMOS HACER?

JUAN MANUEL MORGAN SAGASTUME

De acuerdo con la reforma al artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, publicada el 8 de febrero de 2012, toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. También, establece la participación de los tres órdenes de gobierno y la sociedad misma para garantizar este derecho. El suministro de estos servicios es responsabilidad de los municipios con el concurso de los Estados y la Federación, de acuerdo con lo que establece el artículo 115 Constitucional.

El pasado 27 de diciembre de 2021, la Comisión Nacional de Mejora Regulatoria (CONAMER, oficio 21/5779) emitió la autorización final para que la SEMARNAT pudiera continuar con las formalidades necesarias para la publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación. La norma se publicó en el DOF el 11 de marzo de 2022. La publicación de esta nueva norma viene a suplir la antigua NOM-001-SEMARNAT-1996 ya con 26 años de antigüedad, a todas luces anacrónica con las demandas y retos que hay en el país en relación con la contaminación de sus cuerpos de agua.

En este momento, en México la acumulación de problemas y conflictos del agua es muy alta; por otro lado, la tasa de oferta de soluciones efectivas es bajísima. En marzo de 2011, la CONAGUA publicó la *Agenda 2030 del agua*, señalando que el costo de remediar los problemas acumulados (deterioro del suministro de agua potable, falta de saneamiento doméstico, ríos contaminados, flujos de aguas subterráneas destruidos y avenidas no controladas, entre otros) se elevaba a más de 100 mil millones de pesos. Al margen del rigor (o falta de rigor) científico del análisis, esta agenda pronto se

convirtió en letra muerta; muy poco se hizo en la década posterior a su publicación y a la fecha, todos estos problemas se han agudizado, aumentando los costos de la remediación por lo menos en 20 por ciento (<https://www.jornada.com.mx/2021/02/24/opinion/017a1pol>).

Aspectos importantes atendidos en la nueva NOM-001-SEMARNAT-2021

Dentro de los factores más importantes, la nueva norma modifica los límites máximos de descarga de la temperatura de 40 a 35°C, así como del nitrógeno y fósforo total, que, a diferencia de la antigua norma, para nitrógeno, ahora pide su remoción indistintamente del tipo de cuerpo receptor A, B o C con valores que oscilan entre 15 a 25 mg/L para el promedio mensual siendo que, para el fósforo, los valores especificados oscilan entre 5 a 15 mg/L.

Por otra parte, la nueva norma añade la DQO (Demanda Química de Oxígeno), y para los casos con alta concentración de cloruros se debe determinar el Carbono Orgánico Total (COT), en sustitución de la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días). Añade también el color verdadero y la toxicidad aguda. Se expone en el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024, que para 2017 las industrias en conjunto generaron 2 millones de toneladas de DBO₅ que junto con las descargas municipales aportaron hasta 340% más de contaminantes a los cuerpos de agua superficial.

Entre los expertos en tratamiento de aguas residuales, es muy común emitir el siguiente comentario ante una caracterización de aguas residuales: "...Este valor de DBO₅ es pequeño para la DQO que tiene la descarga de agua residual; podría indicar compuestos orgánicos recalcitrantes o alguna toxicidad para los microorganismos. Podría confirmarse con un análisis de COT...". Ciertamente, ello refleja la utilidad de haber incorporado a la nueva norma la DQO en sustitución de la DBO₅, pues ahora se puede cuantificar con efectividad la materia orgánica sin que ello dependa de las interferencias que pudiera tener la prueba de DBO₅. Un agua con compuestos tóxicos a la prueba de DBO₅, y a su vez con un alto contenido de DQO (no regulado en la antigua norma) puede arrojar un valor por debajo de los límites máximos permisibles permitiendo su descarga sin tratamiento al cuerpo de agua; con la regulación de la DQO propuesta, ello ya no es posible. Por otra parte, es una tendencia en el mundo, tanto en el ámbito de la ingeniería como en la academia, sustituir la DBO₅ por la DQO para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (Van Loosdrecht *et al.*, 2008).

Aunado a lo anterior, la norma adiciona el parámetro de color verdadero con tres longitudes de onda que abarcan casi por completo el espectro de color visible y no se limita solamente al color amarillento de la escala Pt-Co utilizado típicamente para la medición de este parámetro. Sin duda, este parámetro fue dedicado a regular todas aquellas descargas con colores diversos que se presentan, entre otras, como los de la industria textil y alimentaria.

La simple evaluación fisicoquímica del agua no es suficiente para fines de manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos (Iannacone *et al.*, 2000); sin embargo, los parámetros fisicoquímicos son muy importantes para definir la calidad del agua (INE, 2000) aunque no representan de manera real el impacto de los contaminantes sobre el ambiente (Núñez y Hurtado, 2005), ni su influencia en la vida acuática (Samboni-Ruiz *et al.*, 2007), por lo que los recursos ecotoxicológicos son el complemento perfecto para un análisis total de un medio impactado (Iannacone *et al.*, 2000; Carballo-Hondal *et al.*, 2003). En este sentido, se introdujo el parámetro de toxicidad con un valor de 2 Unidades de Toxicidad (UT) a 15 minutos de exposición que corresponde a una toxicidad moderada, apostando de nueva cuenta a la capacidad de dilución en los cuerpos de agua receptores. Esto es relevante y riesgoso

al tomar en consideración que en lo que respecta a los usos consuntivos, aproximadamente 61 % del agua proviene de fuentes superficiales (ríos, arroyos y lagos), mientras que 39 % restante se extrae de fuentes subterráneas (acuíferos) (PNH 2020-2024-CONAGUA). La UT debió haber sido regulada con un valor menor a 1 dentro de un intervalo que correspondiera a una toxicidad no detectable, sin embargo, es comprensible que ello debe evolucionar en el tiempo con mayor consenso.

La norma ya publicada es coherente y balanceada en sus puntos más importantes; donde un parámetro no alcance a regular adecuadamente la contaminación en el cuerpo de agua, lo hace otro. Se establece un sistema donde la DQO, temperatura, color verdadero y toxicidad se complementan y actúan sinérgicamente.

Sin embargo, el punto más importante en cuanto al reto técnico-económico que supone la publicación de la nueva norma, lo define la regulación de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). Con base en ello se deben ajustar la temperatura, la DQO, la toxicidad y el color verdadero. Una planta de tratamiento de aguas residuales que esté orientada a la remoción de nutrientes, por sí sola, en términos generales debe tender a cumplir automáticamente con estos parámetros.



Retos tecnológicos para atender la nueva norma

Las tecnologías sustentables para el tratamiento de aguas residuales son aquellas que emplean la menor cantidad de energía posible para realizar con eficacia y eficiencia los procesos para los cuales fueron diseñadas, empleando, además, la menor cantidad de insumos químicos y materiales en general para su construcción, puesta en marcha, estabilización y operación continua. Una característica inherente de estas tecnologías es que no deben impactar negativamente el medio ambiente natural y social; por el contrario, deben potenciar su desarrollo mediante la producción de agua tratada y la generación de subproductos reutilizables bajo el esquema de una economía circular. Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben dejar de ser conceptualizadas como tales para dar paso a plantas de “procesamiento” de aguas residuales con un enfoque de uso y reciclaje de sus productos y subproductos (agua, lodos, biogás, energía).

El abanico de opciones tecnológicas para el tratamiento de las aguas residuales lo concentra el tratamiento secundario. Dentro de los sistemas biológicos existen los sistemas aerobios (requieren oxígeno molecular disuelto) y los anaerobios.

La característica fundamental que poseen los sistemas anaerobios es que su operación no depende del suministro de oxígeno, por tanto, no se requieren equipos de aireación ni todo lo relacionado con su mantenimiento, operación y costo energético. Es por ello, que la consideración del uso de sistemas anaerobios dentro de un tren de tratamiento de aguas residuales, en específico, en el ámbito industrial es altamente recomendable, es un punto que le confiere sustentabilidad al tratamiento de las aguas residuales. Así mismo, lo es en el ámbito municipal cuando la temperatura del agua lo permita (superior a los 20°C). Información sobre la conformación sustentable de trenes de tratamiento de aguas residuales se puede consultar en Morgan-Sagastume *et al.*, (2022) y Noyola *et al.*, (2013) entre otros.

La nueva norma, como ya se apuntó, se enfoca esencialmente a la remoción de nutrientes. Las tecnologías para llevarla a cabo no son nuevas en el ámbito mundial, ni requieren un desarrollo tecnológico desde cero. Hay muchos ejemplos de plantas de tratamiento en México con procesos anaerobios y aquellas orientadas a la eliminación de nutrientes tanto para la industria como para el sector municipal.

Los retos científicos y tecnológicos para dar cumplimiento a la nueva norma se pueden abordar sin problema en el país; existen universidades, institutos, asociaciones, consejos, organismos operadores e iniciativa privada capaces de hacerlo bajo un necesario ambiente de colaboración. En este sentido, se hace

imprescindible la educación y formación de cuadros técnicos de alto nivel, la investigación científica, el desarrollo tecnológico nacional que derive en patentes y que se promueva la transferencia de tecnología mediante la vinculación academia-industria.

¿Qué hacer?

La atención a la nueva norma requiere de acciones en lo inmediato, se tiene solamente un año de plazo para cumplir con la mayoría de los parámetros. El sector industrial público y privado deben hacer ingeniería para la rehabilitación o instalación de plantas, planear las inversiones necesarias y enfocarse en la preparación de cuadros técnicos. Así mismo, es necesario que los laboratorios acreditados puedan efectuar las mediciones de los parámetros de la norma. Es previsible mayor apertura y dinamización del mercado nacional en estos aspectos al incrementarse la demanda de servicios de ingeniería y de laboratorio. El IUNAM debe estar preparado para contribuir a atender ello.

En las sesiones de discusión para la aprobación de la norma, donde el autor participó, hubo oposición del sector industrial representado en diversas cámaras de industriales. Por ejemplo, el Consejo Coordinador Empresarial acusó que la aprobación de la Norma fue “unilateral” con votos en contra de la industria privada, de Petróleos Mexicanos (Pemex) y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El sector empresarial alegó “parámetros excesivos” que “violan el T-MEC” –lo cual negó el Centro Mexicano de Derecho Ambiental pues cumple el capítulo 24 sobre protección ambiental– y aseguró que afecta “severamente” en materia económica a productores agropecuarios, industria privada y pública, al tener que modificar las plantas tratadoras y, alertaron, quienes carecen de esta tecnología tienen que instalarlas, lo que implica costos adicionales “que serán repercutidos al precio” de los productos agrícolas, industriales, tarifas eléctricas, del agua y en los productos derivados del petróleo (<https://www.sinembargo.mx/21-09-2021/4030941> y <https://www.jornada.com.mx/2021/09/22/politica/019n1pol>).

¡No!, todo lo contrario. La nueva norma debe ser vista como un factor potenciador de una industria desarrollada adecuada al país, no como una traba que genere pérdidas de empleo o incrementos de precios de productos. Ninguna empresa cierra por cumplir normas ambientales, todo lo contrario, les confiere competitividad en el mercado nacional e internacional y es la puerta para implementar políticas productivas enfocadas en la reducción de costos. Lo aducido por ciertos sectores industriales en contra de la nueva norma es un mito que no es compartido por un sector industrial

consciente y dispuesto a atenderla. En este sentido, Cerda (2003) comenta que el medio ambiente ha pasado de ser un factor ajeno a las empresas para convertirse en un factor de competitividad, sobre todo cuando se plantean estrategias de prevención y reducción tanto de residuos como de emisiones, muchas de las cuales se han transformado en reducciones de costos o en la generación de productos alternativos a partir de los residuos.

Una interesante discusión al respecto puede ser consultada en los conversatorios: Aspectos técnicos para el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-2021-SUSMAI-UNAM (<https://www.youtube.com/watch?v=pWlp1GRHxT4&t=3186s>) y en Actualización de la NOM 001 SEMARNAT 2021: hacia una mejor calidad en los cuerpos de agua-IMTA (<https://www.youtube.com/watch?v=714VUy59NjI&t=3553s>).

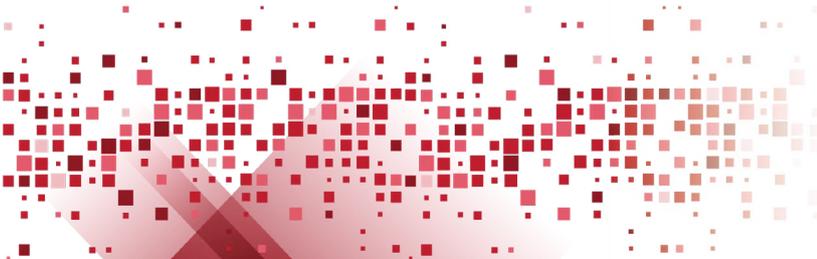
Un aspecto de particular interés es el caso de los municipios. En estos momentos, difícilmente la inmensa mayoría de

los mismos podrían dar cumplimiento a la nueva norma por aspectos asociados con su economía y conocimiento técnico. Sin embargo, ello no es argumento para no actualizar la norma. Se requiere un apoyo decidido de los Estados y del Gobierno Federal para atender de inmediato a este sector.

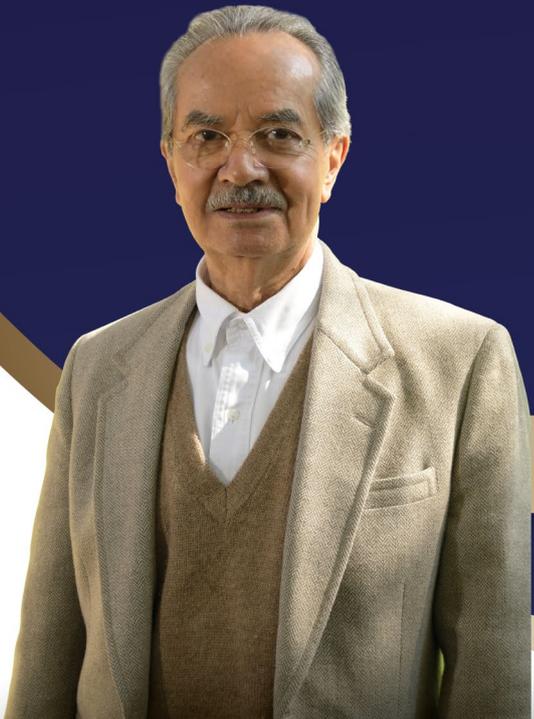
En este sentido, contrario a lo que pudiera pensarse, son los sectores público Federal y Estatal quienes tienen el mayor reto, no solamente para atender las nuevas disposiciones de la norma, sino para crear las condiciones adecuadas en el país para su implementación. No debe tratarse solamente de publicar una norma y dejar al destino su cumplimiento como sucedió con la vieja norma NOM-001-SEMARNAT-1996. Se debe atender el incremento de inversión en el sector, el monitoreo de descargas y cuerpos de agua, la fiscalización en general y la creación de esquemas financieros atractivos aunado a incentivos fiscales. A pesar de los retos de todo tipo que hay que enfrentar, sea bienvenida la nueva norma. |

Referencias

- Carballo-Hontal, O.; Arencibia-Carballo, G.; Concepción, J. e Isla-Molleda, M. (2003). Los bioensayos de toxicidad en sedimentos marinos. Retel: revista de toxicología en línea. Recuperado en <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>.
- Cerda U. Arcadio (2003) Empresa, Competitividad y Medio Ambiente. Panorama Socioeconómico, ISSN: 0716-1921, núm. 26, mayo, 2003, Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Iannacone, J.; Dale, W. y Alvarino, L. (2000). Monitoreo ecotoxicológico del Río Rímac (Lima-Perú) empleando a *Chironomusacalligraphus* Goeld, (Diptera: Chironomidae). Revista Chilena Ent., 27: 25-34.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2000). La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. DGOEIA. <http://revistaieidenar.univalle.edu.co/revista/ejemplares/12/i.htm>.
- Morgan-Sagastume* J. M.; Castro-Martínez** M. y Noyola A.* (2022). Tecnologías para el desarrollo de un esquema integral de tratamiento de aguas residuales en la Península de Yucatán. *Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, **ELNSYST SA de CV (IBTech). Editado por Amigos de Sian KAAAN AC (en prensa).
- Noyola A.; Morgan-Sagastume, J. M. y Güereca L. P. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería. ISBN es 978-607-02-4822-1. (<http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/LibroTratamiento.html>).
- Núñez, M. y Hurtado, J. (2005). Bioensayos de toxicidad aguda utilizando *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado. Rev. Peru. Biol. 12(1): 165-170.
- Samboni-Ruiz, N. E.; Carvajal-Escobar, Y. y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Revista de ingeniería e investigación. Vol. 27. No. 3:171-181.
- Van Loosdrecht M.; Ekama G.; Wentzel M.; Brdjanovic M y Hooijmans C. (2008). Modelling Activated Sludge Processes. Chapter 14, page 369. Biological Wastewater Treatment. Principles, modelling and design. Mogens Henze, Mark C.M. van Loosdrecht, George A. Ekama, Damir Brdjanovic. IWA Publishing. ISBN 1843391880.



iingen.unam.mx



Homenaje al **DR. DANIEL RESÉNDIZ NÚÑEZ**

Investigador Emérito del Instituto
de Ingeniería de la UNAM

Agradezco a todos los asistentes su valiosa compañía en este homenaje tan esperado, tan lleno de nostalgia, de cariño, sobre todo, de mucho reconocimiento hacia uno de los hombres más importantes en la historia de la ingeniería mexicana, Daniel Reséndiz Núñez -con estas palabras inició la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería-.

El Dr. Reséndiz Núñez decía que “Los logros de cualquier individuo no son sólo suyos, sino resultantes de su voluntad y de las condiciones que otros crean, es decir, las influencias que sobre él o su entorno ejercen y el apoyo que le presta”; me parece que esta frase muestra a la perfección la gran calidez humana con que el Dr. Reséndiz se dirigió durante sus 84 maravillosos años de existencia. Nos encontramos ante un personaje cuya vida retrata una etapa muy importante de la historia moderna de México, manteniéndose siempre cerca de las mentes transformadoras, también, siendo él mismo el motor del cambio en el lugar en que se encontrara.

Durante su gestión conjuntó la vida académica con la del servicio público. A lado de Fernando Hiriart, trabajó en la Comisión Federal de Electricidad en las presas de Infiernillo, La Villita, Santa Rosa, Chicoasén y El Cajón, consideradas hoy en día entre las obras más importantes en México.

El Dr. Reséndiz desde 2014 me insistía que ya era el momento de que hubiera una mujer en la dirección con lo cual siempre coincidí y cuando fui designada me felicitó; además, tanto al principio como a lo largo de lo que tengo en mi periodo de gestión, me dio varios consejos para llevar al Instituto a buen puerto en estos tiempos tan complicados. Considero que hoy el Dr. Reséndiz estaría satisfecho del IIUNAM, ya que a pesar de esta pandemia, se han presentado resultados muy satisfactorios y sigue siendo una referencia de la ingeniería mexicana. Sean bienvenidos a este homenaje.

Al tomar la palabra, el Dr. Felipe Arreguín Cortés dijo que “en esta ocasión, quiero referirme a la faceta del Doctor Reséndiz como gremialista, quien pensaba, que el gremio de la ingeniería

en el que están incluidos los colegios, academias y asociaciones, tienen una responsabilidad central en la integración y desarrollo del país. En esta categoría hizo grandes aportaciones, tal vez la más relevante fue la iniciativa de responsabilizarnos de nuestra ingeniería, a través de la autocrítica y un diálogo abierto entre los ingenieros, la sociedad y el sector público. Hoy a cinco meses de su partida, el respeto y admiración por el Dr. Daniel Reséndiz Núñez es cada día más fuerte; tanto sus aportaciones como sus enseñanzas para las nuevas generaciones de profesionales de la ingeniería civil y para todos los miembros de nuestro colegio son más patentes” -concluyó-.

Por su parte, el Arq. Felipe Leal Fernández, presidente del Seminario de Cultura Mexicana, comentó que “el Dr. Daniel Reséndiz Núñez fue un distinguido miembro titular del Seminario de Cultura Mexicana al cual ingresó en mayo de 2006. Durante doce años y hasta 2018 impartió conferencias en las correspondientes que conforman nuestro Seminario de Cultura en distintas ciudades del país; localidades en ocasiones remotas y carentes de experiencias extracurriculares; poblaciones hacia donde los miembros titulares nos trasladamos y realizamos misiones educativas, culturales, conferencias, talleres, exposiciones y conciertos, concluyó”.

Durante su intervención, el Dr. Daniel Reséndiz Carrillo agradeció a nombre suyo y de su familia, este muy especial evento a su padre.

“La única manera de bien morir, es saber bien vivir”, mi padre murió bien, porque vivió bien. Vivió bien porque encontró pasiones diversas y las cultivó no sólo con esmero y dedicación, sino también de la manera en la que James Carse describe en su pequeño gran libro Los Juegos Infinitos, aquellos en los cuales el propósito no es ganar sino asegurar la continuación del juego, enriqueciendo y elevando permanentemente su nivel. Dos de estos juegos infinitos con los que mi padre nos contagió en el círculo familiar fueron México en general y su sistema educativo, su sistema de educación pública en particular.

Hoy estamos reunidos para honrar la vida y obra de un participante que no juega más, sin embargo, en la medida que con mi padre compartamos pasiones como México y como la educación pública incluyente, nos toca a todos nosotros los familiares en primerísimo lugar, no sólo mantener estos juegos vivos, sino llevarlos a niveles cada vez más altos, es un reto que le hubiese gustado a él asumir haciéndolo merecedor de este sentido homenaje. Muchas gracias.

El Dr. Luis Álvarez-Icaza Longoria dijo asistir en primer lugar en representación del Dr. Enrique Graue, rector de la UNAM, quien lamentablemente no pudo estar en esta ceremonia como hubiera querido; en segundo lugar, como presidente de la Academia de Ingeniería de la que el Dr. Reséndiz era académico de honor; en tercer lugar, como ex director de este Instituto; finalmente, quizás la más importante, como investigador del Instituto de Ingeniería.

Daniel Reséndiz ha sido la única persona que ha ocupado la dirección de la Facultad de Ingeniería y la del Instituto de Ingeniería, creo que este hecho marca claramente el interés que le dan ambas facetas de su vida a la investigación y a la docencia, así como la visión que comparto sobre la necesidad de una relación de amplia colaboración que siempre debe existir entre estas dos dependencias.

Este es un justo homenaje al Dr. Reséndiz a su historia y a su trayectoria.

Carlos Agustín Escalante Sandoval, director de la Facultad de Ingeniería -consideró- es un honor participar en este sentido homenaje al Dr. Daniel Reséndiz Núñez, quien fue director de la Facultad de Ingeniería, de 1987 a 1991.

Reséndiz Núñez fue un hombre de inteligencia privilegiada que consideraba que la planeación y la administración deben ser acciones inseparables, enlazadas y simultáneas para no caer en el vicio de los planes incumplidos. Hombre de una gran capacidad y entrega en las labores que emprendía, un excelente universitario y un gran mexicano, así debemos recordar, reconocer y honrar el día de hoy al Dr. Daniel Reséndiz Núñez.

Tuvimos el privilegio de que el Dr. Daniel Reséndiz fuera miembro honorífico de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (SMIG) desde el año 1996, afirmó el presidente de la SMIG Ing. Roberto Avelar Cajiga. Qué afortunados hemos sido en que los aztecas después de salir de Aztlán hayan deambulado durante 200 años para llegar a establecerse en el lago de Texcoco donde la adversidad que representa su subsuelo permitió que talentos como el Dr. Reséndiz se abocaran al estudio de su comportamiento, logrando como consecuencia, el reconocimiento nacional e internacional de la ingeniería geotécnica mexicana.

En este homenaje tendremos el gusto de presenciar las ponencias y clausura de distinguidos miembros de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.

Deseo comentarles que el 27 de noviembre es un día significativo para el SMIG, ese día lamentablemente fallece nuestro querido Dr. Daniel Reséndiz Núñez, nace Leonardo Zeevaert Wiechers y en esa misma fecha se protocoliza el acta constitutiva de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, que en este 2022 cumple 65 años de vida.

Posteriormente la Dra. Alexandra Ossa López dio inicio a la sesión de conferencias la cual llevó por nombre "Contribuciones del Dr. Daniel Reséndiz Núñez a la Ingeniería Geotécnica", con ello, en nombre de la Coordinación de Geotecnia, la Dra. Ossa subrayó que: algunos de nuestros académicos honran la vida y obra de nuestro querido y apreciado investigador emérito Dr. Daniel Reséndiz Núñez, compartiendo parte de su legado.

La primera conferencia estuvo a cargo del Dr. Alberto Jaime Paredes *La incertidumbre y la protección ambiental* -dijo- son dos temas que interesaron siempre a Daniel Reséndiz, por mucho tiempo los trató en repetidas ocasiones en diversos de sus escritos, muestra de ello es su libro *El rompecabezas de la ingeniería*.

La segunda conferencia la impartió el Dr. Eduardo Botero Jaramillo, investigador de la Coordinación de Geotecnia quien hizo un recorrido a lo largo de aproximadamente 55 años de la vida de la obra escrita del Dr. Reséndiz, enfocando los aspectos de la formación del capital humano de los estudiantes y del ingeniero en la práctica.

La tercera participación la hizo el Dr. Manuel Mendoza López, investigador del Instituto de Ingeniería, quien expuso el tema: *La bondad de las pruebas de campo en cimentaciones profundas*.

"El día de hoy trataré aspectos que apasionaron al Dr. Reséndiz, y son los referentes a cimentaciones, hablaré de pilas, de pilotes y en particular de pruebas de carga en pilotes".

El Dr. Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard, investigador de la Coordinación, recordó que Daniel Reséndiz tenía una actitud totalmente dedicada a la ciencia y a la tecnología, pero preocupado también en la solución de problemas nacionales. El Dr. Reséndiz junto con el ing. Jesús Alberro me convencieron de que me quedara en México para seguir colaborando con ellos, sobre un tema apasionante, el subsuelo de la Ciudad de México que tiene características excepcionales por su comprensibilidad, baja resistencia y el famoso fenómeno de hundimiento regional.

Al finalizar, el Dr. Efraín Ovando Shelley agradeció a los presentes por habernos acompañado en este merecidísimo homenaje a nuestro profesor, a nuestro colega, a nuestro amigo, a nuestro tutor, a nuestro mentor Daniel Reséndiz Núñez. Creo que se hizo evidente que el Dr. Reséndiz Núñez es un referente técnico, científico y ético y lo seguirá siendo. Las aportaciones del Dr. Daniel Reséndiz Núñez fueron muchas, ahorita acabamos de escuchar cuatro excelentes presentaciones donde se mencionan sólo algunas de las muchas inquietudes que, como científico, como ingeniero y como mexicano preocupado por su país, le interesaron. |

RECONOCIMIENTOS

Nuestras más sinceras felicitaciones al Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro quien recibió la Medalla Roberto Meli Piralla, distinción que, por primera vez, otorga la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS) a aquellos que han realizado aportaciones en la práctica y en la innovación en el campo de la ingeniería sísmica en beneficio de la nación.

Así mismo, nos da mucho gusto felicitar al Dr. Eduardo Reynoso Angulo por haber recibido la Medalla Luis Esteva Maraboto por sus contribuciones a la docencia y a la investigación en el área de la ingeniería sísmica.

La entrega de ambas medallas se llevó a cabo en el marco del XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica que organiza la SMIS.

De igual manera, extendemos nuestras más sinceras felicitaciones a José Alberto Macías Vargas, quien obtuvo el tercer lugar del Premio BAL-UNAM Ciencias de la Tierra 2021, 4ª edición. La entrega de reconocimientos se llevó a cabo en presencia del Dr. Enrique Graue Wiechers, rector de la UNAM. El Dr. Macías Vargas realizó su trabajo doctoral bajo la supervisión de la Dra. Rosa María Ramírez Zamora.

¡Enhorabuena! |



ENTREGA DE RECONOCIMIENTOS Y MEDALLAS AL PERSONAL ACADÉMICO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

El 16 de mayo se llevó a cabo la entrega de Reconocimientos y Medallas al Personal Académico del Instituto de Ingeniería por 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 55 años de antigüedad cumplidos durante 2020, 2021 y 2022.



Al tomar la palabra la doctora Rosa María Ramírez Zamora, directora del IIUNAM, dijo que es un gusto estar aquí porque esta reunión es para celebrar sus años de labor en esta Universidad; un abrazo muy fuerte a todos ustedes porque a pesar de la pandemia han dado lo mejor de sí. Tras dos años de confinamiento el II no ha parado. Represento a un Instituto donde tenemos gente muy talentosa que ha aportado y seguirá aportando a las diversas áreas de la ingeniería a pesar de las situaciones que se presenten. Por ejemplo, a pesar de las restricciones de la pandemia han sido capaces de organizarse para cumplir de la mejor manera con sus actividades.



Es un gran orgullo y satisfacción que nos acompañe gente como el Dr. Roberto Meli con una trayectoria altamente reconocida.

Por su parte, la Dra. Norma Patricia López Acosta felicitó a los maestros y al personal del Instituto de Ingeniería que cumple años en esta Universidad. La Dra. Rosa María Flores, subdirectora de Hidráulica y Ambiental comentó que es un placer estar aquí reunidos tras dos años de confinamiento, felicitaciones a quienes reciben un reconocimiento el día de hoy. Por último, la Dra. Alexandra Ossa, coordinadora de Geotecnia, en representación del subdirector de Estructuras y Materiales David Murià Vila, dijo que: es un gusto estar aquí acompañándolos en esta ceremonia que hace la UNAM cada año para quienes apoyamos a que esta Universidad crezca y fortalezca sus capacidades en beneficio de la sociedad, este es un reconocimiento más a las actividades que desarrollamos. ¡Felicidades! |

En el cuadro de abajo se presenta el número de reconocimientos que se entregaron de acuerdo con los años laborados.

Antigüedad Años	No. de Reconocimientos
10	6
15	5
20	4
25	11
30	4
35	18
40	3
45	2
50	2
55	1

NATURE PUBLICA ARTÍCULOS DEL IUNAM

Nuestras más sinceras felicitaciones a Mario Ordaz Schroeder, José Antonio León Torres, Eduardo Haddad e Ignacio Fernandes porque la revista Nature aprobó la publicación de su artículo *Risk caused by the propagation of earthquake losses through the economy*. José Antonio León, primer autor del artículo desarrolló su tesis doctoral bajo la supervisión del Dr. Mario Ordaz.

El tema es muy importante, porque es la primera vez que se tiene un método racional para calcular el efecto de las pérdidas directas en la economía de un país o una región.

El segundo artículo publicado es *Dissemination for: Transitional Wave Climate Regions on Continental and Polar Coasts in a Warming World*. Los autores de este trabajo son: Itxaso Odériz, Nobuhito Mori, Tomoya Shimura, Adrean Webb, Rodolfo Silva y Tom Mortlock.

Este artículo presenta cómo el cambio climático afecta a los casquetes polares y la manera en la que estas modificaciones van a repercutir en todo el mundo (desde el aumento del nivel del mar, las características medias del

oleaje y las modificaciones de la frecuencia de ocurrencia de los climas de oleaje globales). Publicar en esta prestigiada revista nos enorgullece pues tiene un alto factor de impacto. Cabe resaltar que este trabajo es uno de los productos de la tesis de doctorado de Itxaso Odériz y que fue dirigido por Rodolfo Silva.

A continuación, incluimos las ligas donde pueden consultar las publicaciones.

León J. A.; Ordaz M. y Haddad, E. *et al.* Risk caused by the propagation of earthquake losses through the economy. *Nature Communications* 13, 2908 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30504-3>
JIF: 14.919 Q1 eISSN:2041-1723

I. Odériz; N. Mori; T. Shimura; A. Webb; R. Silva y T. Mortlock. Transitional wave climate regions on continental and polar coasts in a warming world. *Nature Climate Change*, en imprenta. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01389-3>
JIF: 25.29 Q1 eISSN:1758-6798.

A todos ellos Enhorabuena. |

PRIMERA FIESTA AMBIENTAL EN EL IIUNAM

Todos por una Sola Tierra, es el lema de la Primera Fiesta Ambiental que tuvo lugar el 4 de junio en el Instituto de Ingeniería en Ciudad Universitaria y en Juriquilla, Querétaro; un día antes, el 3 de junio, la Fiesta Ambiental se llevó a cabo en las instalaciones de la sede foránea de este Instituto ubicada en Sisal, Mérida.

La idea de esta Fiesta Ambiental es crear conciencia sobre el cuidado del medio ambiente, me da mucho gusto -dijo la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del IIUNAM- que nos acompañen niños y niñas quienes van a heredar nuestro planeta y en cuyas manos está nuestro futuro.

Este evento -continuó- ha logrado unir a toda la comunidad del Instituto incluyendo a las sedes Académicas de Sisal y Juriquilla, agradezco a los participantes su interés por la realización del evento.



Por su parte, la Dra. Neftalí Rojas Valencia, organizadora de la Fiesta Ambiental reconoció la colaboración de la comunidad académica, becarios, personal de las Secretarías Académica y Técnica y de la Lic. Lidia Neri, todos ellos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, en particular, a alumnos de arquitectura, ingenieros civiles y químicos que se pusieron la camiseta para colaborar arduamente en esta actividad que no fue de un día sino de un mes.

También, agradeció a las empresas Consanhi, Bio-Elements, Mundo Cactus así como a la Dirección General de Obras y Servicios de la UNAM, quienes donaron plantas y macetas que se sembraron el día del evento, con las que se reabilitaron ocho áreas verdes; además, por la capacitación dada a esta dependencia para el cuidado de dichas plantas.

Para el decorado de algunos jardines se reutilizaron 250 cilindros de concreto que ya eran residuos de proyectos del

Laboratorio de Estructuras y Materiales de la Coordinación de Ingeniería Estructural. Con residuos de construcción reciclados se hizo un piso y un muestrario donados por la empresa Concretos reciclados.

Con residuos de construcción reciclados, donados por la empresa Concretos reciclados, se hizo un piso y un muestrario.

El día de hoy, además de mejorar el paisaje, queremos informar sobre el correcto manejo de residuos sólidos; también, haremos la colecta de cartuchos usados de tinta y tóner para su reciclaje.

Con estas acciones pretendemos dejar huella ambiental en el IIUNAM. Debemos hacer algo por el medio ambiente. Cuidar el Instituto, es cuidar nuestro planeta, es cuidar nuestra vida -concluyó-.

En Juriquilla, Querétaro, en el marco del Día Mundial del Medio Ambiente, la Unidad Académica Juriquilla encabezada por la Mtra. Gloria Moreno, limpió, ordenó equipos y materiales en los laboratorios de fisicoquímica y pilotos; recolectó materiales reciclables como papel, cartón, vidrio y PET; identificó el material electrónico obsoleto y pilas para su transporte a un centro de acopio del estado; por último, ordenó y etiquetó los residuos peligrosos generados en los laboratorios para su disposición final.

Toda la comunidad de la Unidad Académica, estudiantes y académicos mostraron un gran compromiso y entusiasmo para ejecutar las actividades.

Por su parte, la Unidad Académica Sisal durante la mañana del viernes 3 de junio llevó a cabo, exitosamente, la limpieza de playas y la siembra de más de 50 plantitas endémicas en la Unidad Académica; más de 60 plantas para la revegetación de la duna frente a la Unidad Académica y juntó más de 50 bolsas de basura en la playa. Además, hizo un compostero y un contenedor para PET.

El Dr. Paulo Salles Afonso de Almeida dijo la Feria Ambiental fue un éxito, la limpieza de la playa y la reforestación de duna se hará semestralmente. Espero que este evento se celebre periódicamente por el bien de nosotros y de nuestro planeta. |





ECOTIPS



Reciclaje de papel

Las cajas con esta leyenda se encontrarán distribuidas en todos los edificios



  INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

UNÁMONOS POR UN MEJOR PLANETA

COLOCA AQUÍ EL PAPEL QUE NO PUEDES VOLVER A USAR, ÚNICAMENTE RECICLAR

CUANDO SE LLENE LA CAJA FAVOR DE REPORTARLO AL CORREO
 ALopezE@iingen.unam.mx
 JRochaR@iingen.unam.mx




  INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

UNÁMONOS POR UN MEJOR PLANETA

COLOCA AQUÍ EL PAPEL QUE NO PUEDES VOLVER A USAR, ÚNICAMENTE RECICLAR

CUANDO SE LLENE LA CAJA FAVOR DE REPORTARLO AL CORREO
 ALopezE@iingen.unam.mx
 JRochaR@iingen.unam.mx