



# GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM®

NÚMERO 151, NOVIEMBRE-DICIEMBRE 2021  
ISSN 1870-347X

Diseño e implementación de un equipo móvil TRT para la determinación *in situ* de las propiedades térmicas de los suelos en México

Interacción sísmica entre estructuras elevadas y subterráneas en ciudades densamente pobladas

Tratamiento de aguas residuales conteniendo antimonio

Materiales adsorbentes de CO<sub>2</sub> a partir de sub-productos industriales

# EDITORIAL

Llegamos al final de 2021, acumulando más de 21 meses de la pandemia por la COVID-19, con irreparables y lamentables pérdidas de queridos miembros de nuestra comunidad, como es el Dr. Daniel Reséndiz Núñez (investigador emérito, exdirector de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Ingeniería, UNAM). El panorama va mejorando paulatinamente, considerando la baja cantidad de contagios, todos ellos realizados fuera de nuestras instalaciones, y por el inicio de la aplicación de la tercera dosis, por lo que considero que el año 2022 se vislumbra mucho mejor, en lo profesional y en lo personal, que los dos años anteriores. Sin embargo, es importante considerar que la pandemia y la época decembrina que vivimos representan un importante riesgo para la salud mental para los integrantes del IIUNAM, por lo que he considerado tomar acciones para apoyar a nuestra comunidad.

En este contexto, con auspicio del IIUNAM, de manera muy exitosa en el pasado mes de noviembre se inició un Programa de atención profesional, especializada y gratuita para la comunidad del IIUNAM, que es proporcionado por el Grupo Espora de la Facultad de Psicología. Este apoyo, renovable cada año, consiste en sesiones psicoterapéuticas de manera presencial, virtual o mixta, que imparten los maestros Elda López y Alain Briseño. Este programa incluye, también, pláticas informativas de temas que son de interés sobre salud mental. Este Programa está siendo coordinado por la Dra. Norma Patricia López Acosta, Secretaria Académica del IIUNAM y espero que tenga un efecto positivo sobre el ánimo de todos los miembros de nuestro Instituto.

Otro punto importante a mejorar, durante los periodos de pandemia y postpandemia, es la seguridad, por lo que el IIUNAM celebró un acuerdo con la Dirección General de Análisis, Protección y Seguridad Universitaria (DGAPSU) para que nos apoyen en esta labor. Lo anterior, permitirá reforzar las actividades de monitoreo con las cámaras colocadas en la parte exterior de nuestras instalaciones. El objetivo es disminuir el riesgo de delitos hacia nuestra comunidad y vandalismo de nuestros edificios.

Por otra parte, considerando los riesgos que representan los residuos por la COVID-19 y otros de manejo especial, en enero se iniciarán dos programas que presenté de manera general en

el Café Académico del 10 de diciembre, los cuales forman parte del Plan de Manejo Integral de Residuos. Esta iniciativa está coordinada por la Dra. Neftalí Rojas Valencia, académica de la Coordinación de Ingeniería Ambiental.

En enero de 2022 entrará en operación el Sistema para el Personal de Servicios Profesionales (SIPSPII), que permitirá realizar los trámites para su contratación y recontractación. El objetivo de este Sistema es agilizar estos trámites, de manera electrónica y coordinada con el SIAF, con el fin de que este Personal pueda recibir sus percepciones en tiempo y forma. Este Sistema fue desarrollado con la colaboración de la Mtra. Rosalía Aldana, el Act. Jorge Aldana y las Secretarías Administrativa y de Telecomunicaciones e Informática. Antes de la puesta en operación de este Sistema, que se inscribe dentro del Eje del Plan de Desarrollo 2020-2024 denominado "Secretaría Administrativa sin Papel", se dará una plática informativa para su correcto uso.

Es conveniente mencionar que, en vista de la eficiencia de las vacunas contra la COVID-19 para reducir el riesgo de enfermedad grave y el inicio de aplicación de refuerzos, a partir del jueves 6 de enero de 2022 se eliminará la solicitud de autorización de ingreso a las instalaciones mediante el SIFEII. En este sentido, en periodo de semáforo epidemiológico verde, exhorto vivamente a todos los miembros del IIUNAM a acudir a realizar sus actividades, con excepción de las madres y padres que tengan bajo su custodia a niños menores de 13 años. En caso de regresar a semáforo epidemiológico amarillo o naranja, se evaluará la conveniencia de regresar a las prácticas de solicitud de autorización de ingresos en el SIFEII y la restricción de horarios.

Para concluir, les transmito mis mejores deseos para ustedes y sus seres queridos, que tengan una Navidad y Año Nuevo lleno de mucha salud y prosperidad. Que el año 2022 nos podamos reunir, dar un fuerte abrazo y colaborar todos juntos para salir adelante de los nuevos retos que se nos avecinan. |

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

## UNAM

Rector  
**Dr. Enrique L. Graue Wiechers**  
Secretario General  
**Dr. Leonardo Lomeli 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**  
Abogada 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. Efraín Ovando Shelley**  
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**  
Secretario Técnico de Vinculación  
**Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez**

## 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**  
Distribución  
**Guadalupe De Gante Ramírez**

## 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.

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO MÓVIL TRT PARA LA DETERMINACIÓN *IN SITU* DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS SUELOS EN MÉXICO

NORMA PATRICIA LÓPEZ-ACOSTA,  
ABIGAIL MARISOL RIVERA-MARTÍNEZ,  
Y DAVID FRANCISCO BARBA-GALDÁMEZ

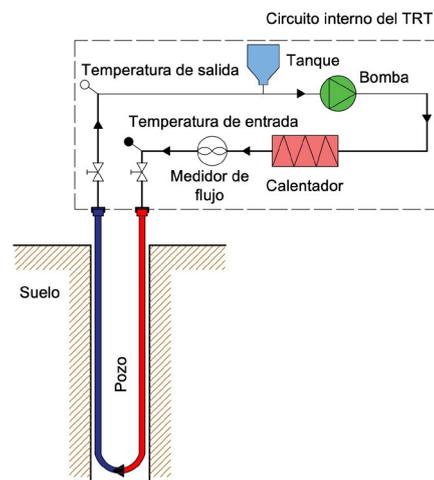
Los pozos intercambiadores de calor (*Ground Source Heat Pump, GSHP*) y las estructuras termoactivas (como pilas de energía, muros de energía, losas de energía, entre otras) utilizan la diferencia de temperatura entre el suelo y el ambiente para el calentamiento o enfriamiento de edificios, por lo cual representan una alternativa para reducir el impacto ambiental de la creciente demanda de energía para el acondicionamiento de espacios (Brandl, 2006). El diseño de estas estructuras requiere la correcta determinación de las propiedades térmicas del suelo, como la conductividad térmica  $\lambda$ ,

su temperatura inalterada y la resistencia térmica del intercambiador de calor  $R_b$  (Gehlin, 2002). Estas propiedades pueden obtenerse mediante pruebas de laboratorio o ensayos *in situ*. El procedimiento estándar para medir estos parámetros *in situ* es el ensayo de respuesta térmica (*Thermal Response Test, TRT*), el cual, permite obtener valores efectivos de las propiedades térmicas en condiciones reales de campo, eliminando los problemas de extracción, transporte y manejo de muestras inalteradas, asociados a las pruebas de laboratorio. En este trabajo se exponen las principales características de un aparato TRT móvil diseñado y puesto en marcha en el Instituto de Ingeniería, así como los resultados de las primeras pruebas ejecutadas dentro de la zona metropolitana del Valle de México.

El ensayo TRT consiste en hacer circular un fluido portador de calor dentro de una tubería en bucle incrustada en el suelo. Durante el periodo de prueba se monitorean las temperaturas de entrada y salida del circuito. Posteriormente, los datos medidos se ajustan a un modelo de transferencia de calor, como el modelo de fuente lineal infinita (Ingersoll y Plass, 1948) o el modelo transitorio de Loveridge *et al.* (2014). En 2020, como parte de un proyecto de investigación a cargo de la Dra. Norma Patricia López Acosta del Instituto de Ingeniería, se diseñó, construyó e implementó un equipo móvil que contiene todos los elementos necesarios para la ejecución de ensayos TRT (Fig.1).



a)



b)

Figura 1. a) Equipo TRT-IUNAM, b) Esquema representativo del circuito interno de funcionamiento

Las actividades generales para llevar a cabo una prueba de respuesta térmica se indican en la Figura 2 (para mayor información, consultar Rivera-Martínez, 2021).

El buen funcionamiento del equipo móvil TRT-IIUNAM se comprobó mediante la ejecución exitosa de dos pruebas en campo. La primera prueba TRT se efectuó al poniente de la CDMX en la primera pila de energía construida en el país de

80 cm de diámetro y 15.5 m de longitud. La segunda prueba TRT se realizó en un pozo en el subsuelo del norponiente del Estado de México, de 15 cm de diámetro y 20 metros de profundidad. La ubicación de los sitios de prueba se ilustra en la Figura 3. Las zonas de estudio se seleccionaron con base en la disponibilidad de espacio y las características estratigráficas del sitio.



a) Llegada del equipo a la obra



b) Ubicación del equipo en el sitio de prueba



c) Revisión de los componentes internos



d) Corte de la tubería y colocación del aislante térmico



e) Medición de la temperatura media del suelo con un sensor Pt 100



f) Conexión de las tuberías al equipo TRT-IIUNAM



g) Arranque del circuito interno de funcionamiento



h) Puesta en marcha del equipo TRT-IIUNAM



i) Monitoreo de la prueba

Figura 2. Actividades para la realización de un ensayo TRT

## TRT ejecutado en una pila de energía

La estratigrafía de la zona de estudio está compuesta principalmente por arenas limosas con grava y fragmentos de roca andesítica. En la Tabla 1 se presentan las características principales de la prueba efectuada en una pila de energía (ubicación en la Figura 3).

Tabla 1. Características principales de la prueba ejecutada en una pila de energía

Diámetro	0.80 m
Longitud	15.5 m
No. Bucles	4
Duración de la prueba	60 horas
Método de análisis	Funciones G (Loveridge <i>et al.</i> , 2014)

La Figura 4a presenta las temperaturas de entrada y de salida registradas en la prueba. Durante el TRT se recomienda que el flujo de agua sea turbulento y que tanto el caudal como la potencia suministrada al sistema sean constantes, como se obtuvo al realizar la prueba (Figura 4b). El análisis de resultados indica que la conductividad térmica del suelo del sitio es  $\lambda = 1.63 \text{ Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  y la resistencia térmica de la pila es  $R_b = 0.090 \text{ m}^\circ\text{CW}^{-1}$ . Estos valores son similares a los reportados en la literatura para pilas de energía (Loveridge *et al.*, 2013) y arenas no saturadas (Dalla Santa *et al.*, 2020).

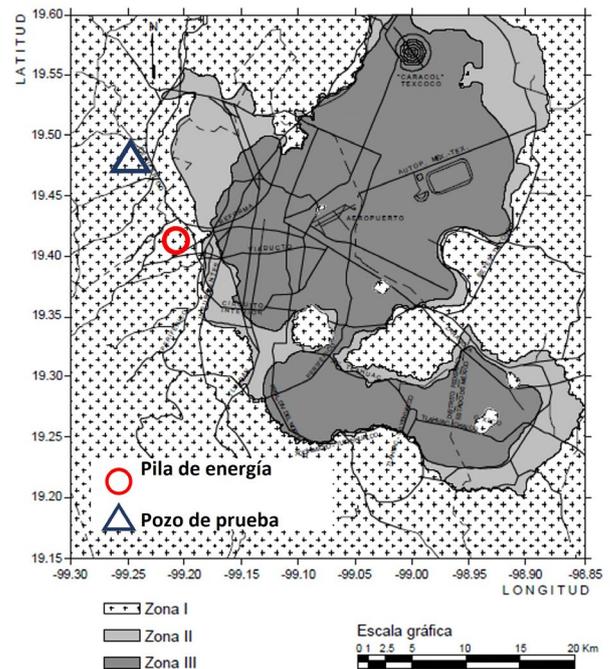
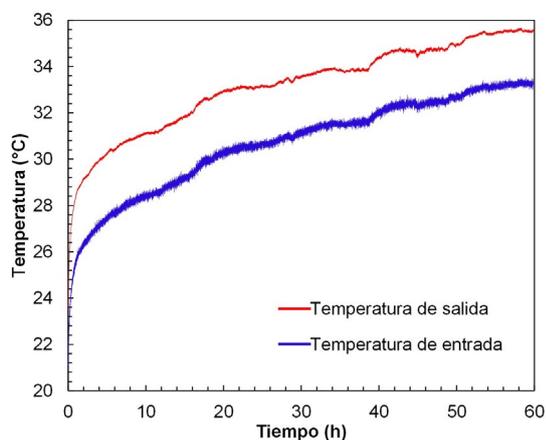
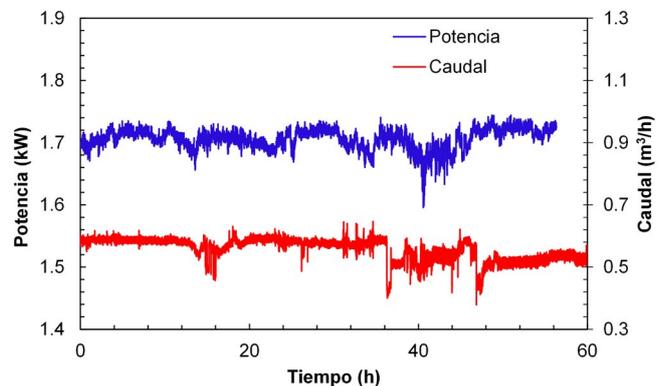


Figura 3. Ubicación de los sitios de las primeras pruebas ejecutadas con el equipo móvil TRT-IIUNAM



a)



b)

Figura 4. a) Temperaturas de entrada y de salida del fluido durante la prueba TRT, b) Variación de la potencia y la tasa de flujo

## TRT ejecutado en un pozo intercambiador de calor de prueba

La zona de estudio (Figura 3) se compone principalmente de arenas limosas y gravas. En la Tabla 2 se presentan las características principales de la prueba TRT efectuada en el pozo intercambiador de calor. Como complemento al TRT *in situ*, se extrajeron ocho muestras inalteradas de suelo. Las muestras se utilizaron para medir la conductividad térmica  $\lambda$  en laboratorio con el método de la aguja térmica, mediante el equipo KD2 Pro. Este equipo es capaz de medir adicionalmente la capacidad calorífica volumétrica  $c_{cv}$  y la difusividad térmica  $D$  de los suelos.

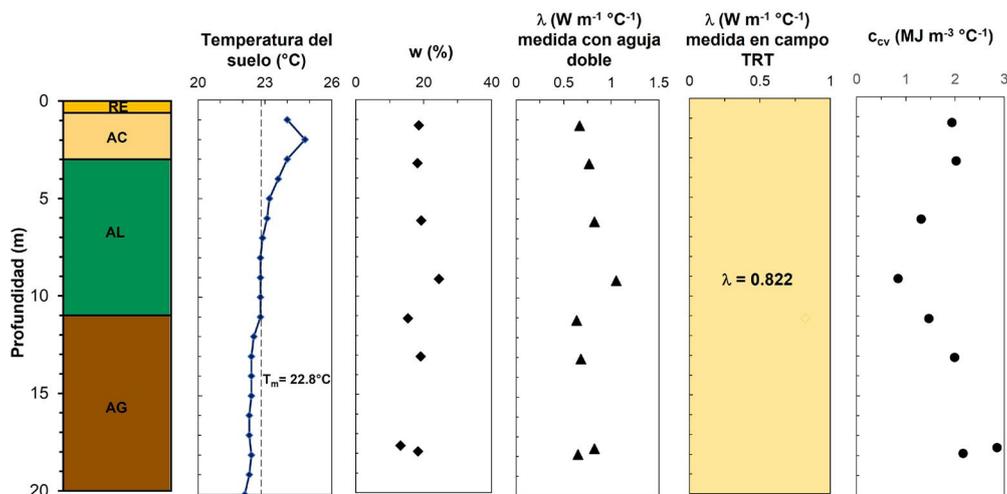
En la Figura 5 se presenta el perfil estratigráfico con la temperatura del sitio de prueba, el contenido de agua, así como las propiedades térmicas medidas en laboratorio y campo con el ensayo de respuesta térmica TRT-IIUNAM. Los resultados de las pruebas indican que el suelo ensayado tiene una conductividad térmica baja.

Tabla 2. Características principales de la prueba ejecutada en un pozo de prueba

Diámetro	0.15 m
Longitud	20.0 m
No. Bucles	1
Duración de la prueba	160 horas
Método de análisis	Modelo de fuente lineal infinita (Ingersoll y Plass, 1948)

Por otra parte, la conductividad térmica medida en las pruebas de laboratorio resultó inferior a la obtenida con el ensayo TRT *in situ*. Esta discrepancia se ha reportado previamente en estudios internacionales (Low *et al.*, 2015) y se asocia a efectos de escala.

Los resultados obtenidos en esta investigación aportan gran conocimiento de las propiedades térmicas de los suelos nacionales y representa un recurso invaluable para la implementación de estructuras termoactivas en nuestro país. |



Nota: RE= material de relleno, AC= arena limosa color café, AL= arena limosa color gris con grava, AG= arena limosa con poca grava,  $w$  = contenido de agua (%),  $\lambda$  = conductividad térmica del suelo ( $W m^{-1} °C^{-1}$ ),  $c_{cv}$  = capacidad calorífica volumétrica ( $MJ m^{-3} °C^{-1}$ )

Figura 5. Perfil estratigráfico con la temperatura del sitio de prueba, el contenido de agua, así como las propiedades térmicas medidas en laboratorio y campo

## Referencias

- Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56, 81-122.
- Dalla Santa, G.; Galgaro, A.; Sassi, R.; Cultrera, M.; Scotton, P.; Mueller, J.; Bertermann, D.; Mendrinós, D.; Pasquali, R.; Perego, R. *et al.* (2020). An updated ground thermal properties database for GSHP applications. *Geothermics*, 85, 101758.
- Gehlin, S. (2002). Thermal Response Test. Method Development and Evaluation. Luleå University of Technology, Sweden. 191.
- Ingersoll, L. R. y Plass, H. J. (1948). Theory of the Ground Pipe Heat Source for the Heat Pump. *ASHVE Transactions*, 54, 339-348.
- Loveridge, F.; Powrie, W. y Smith, P. (2013). A review of the design and construction aspects for bored thermal piles. *Ground Engineering*, 2011-2014.
- Loveridge, F.; Powrie, W. y Nicholson, D. (2014). Comparison of two different models for pile thermal response test interpretation. *Acta Geotechnica*, 9(3), 367-384.
- Low, J. E.; Loveridge, F. A.; Powrie, W. y Nicholson D. (2015). A comparison of laboratory and in situ methods to determine soil thermal conductivity for energy foundations and other ground heat exchanger applications. *Acta Geotechnica*, 10(2), 209-218.
- Rivera-Martínez A. M. (2021). Diseño e implementación de un equipo de respuesta térmica (TRT) para la determinación de las propiedades térmicas de los suelos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

## INTERACCIÓN SÍSMICA ENTRE ESTRUCTURAS ELEVADAS Y SUBTERRÁNEAS EN CIUDADES DENSAMENTE POBLADAS

JUAN MANUEL MAYORAL VILLA,  
LEONARDO RAMÍREZ GUZMÁN,  
DANIEL DE LA ROSA ARENAS  
Y JOSÉ MAURICIO ALCARAZ BARRANCO

Actualmente, el Laboratorio de Modelado Numérico Avanzado e Instrumentación, **Geo-sim**, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, desarrolla la línea de investigación sobre la interacción sísmica entre puentes y edificios típicos de la Ciudad de México, (CDMX), con infraestructura urbana subterránea, a fin de evaluar la interacción benéfica y adversa, delimitando, con base en los resultados de modelos numéricos y sitios clave instrumentados en CDMX, el área de influencia y la relevancia de esta interacción en el desempeño

sísmico de las estructuras aledañas para producir recomendaciones normativas de diseño. Este fenómeno ha sido estudiado tanto en suelos blandos como en rígidos típicos de la CDMX (i.e. Mayoral *et al.*, 2020; Mayoral y Mosqueda, 2020 y 2021). La evaluación de la resiliencia sísmica de infraestructura estratégica (ej. edificios, pasos elevados, y túneles) en zonas urbanas densamente pobladas ante eventos naturales extremos (ej. sismos, hundimiento progresivo e inundaciones) requiere estudiar las interdependencias del riesgo entre cada subsistema (Mayoral *et al.*, 2020; Mayoral y Mosqueda, 2020; Román *et al.*, 2019; Chungsik, 2012), incluyendo la revisión de la compleja interacción entre las ondas sísmicas incidentes, reflejadas y difractadas en las estructuras subterráneas, además de las generadas por la vibración de las estructuras superficiales, como se ilustra en la Figura 1. Aunque diversos grupos de investigación han estudiado la interacción entre estructuras superficiales (ej., Isbilibroglu *et al.*, 2015), en todos los casos han considerado principalmente edificios que suponen propiedades lineales para el suelo (ej., Podestá *et al.*, 2019), y no toman en cuenta la interacción con obras subterráneas. La razón fundamental de esta simplificación es la complejidad implícita del fenómeno, por lo que a menudo su importancia es soslayada en la práctica. Lo anterior, conlleva a diseños de estructuras potencialmente costosas y en algunos casos inseguras.

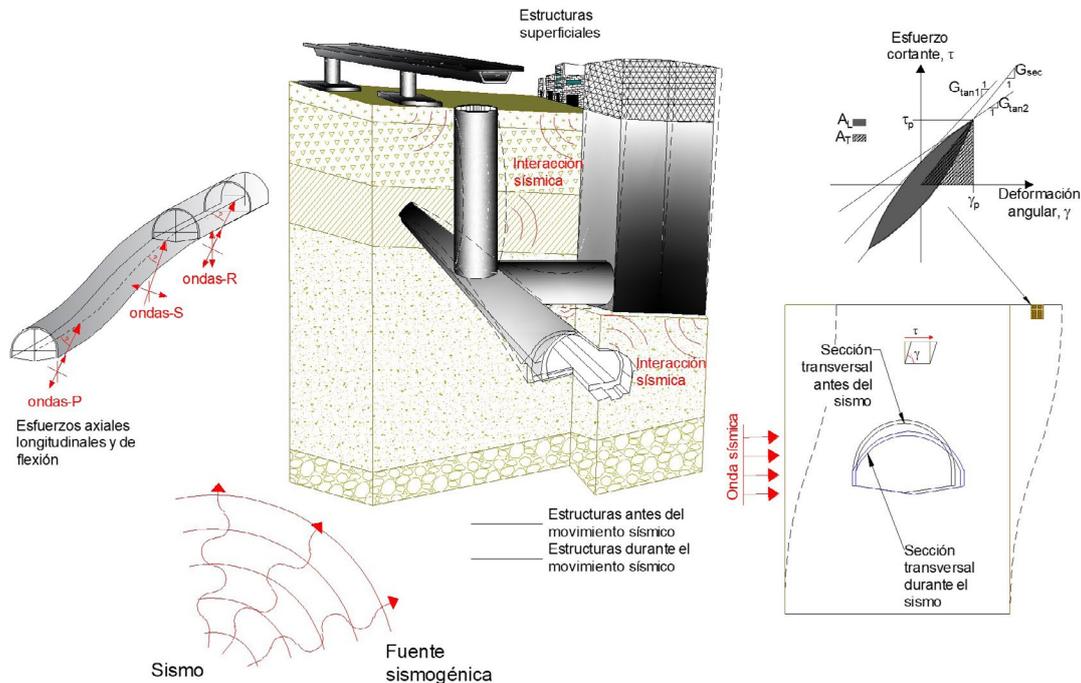
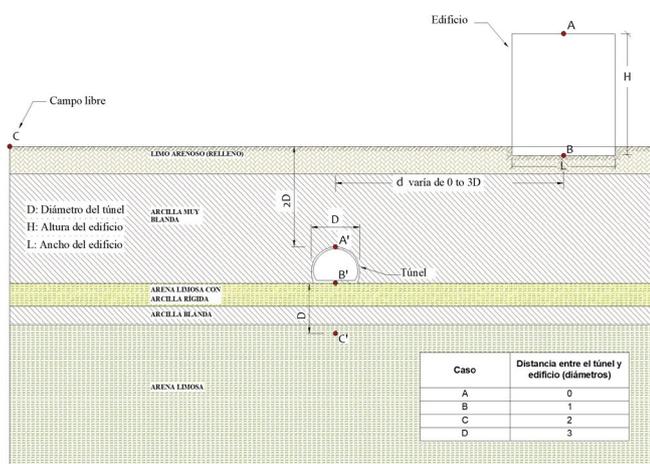


Figura 1. Interacción sísmica entre obras superficiales y subterráneas (Mayoral *et al.*, 2020)

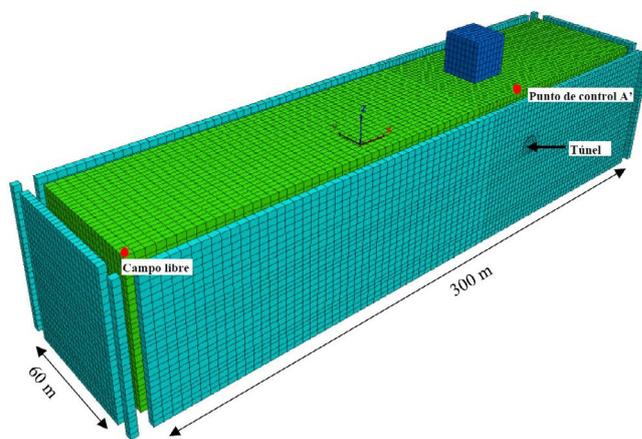
## Sistema túnel-suelo-edificio

Para suelos blandos, se consideró la tipología presentada esquemáticamente en la Figura 2a, a partir de la cual, se generaron modelos numéricos tridimensionales de diferencias finitas desarrollados con el programa FLAC<sup>3D</sup> (Figura 2b). Se hicieron análisis paramétricos variando la distancia entre el túnel y el edificio (*i.e.*, de 0 a 3 veces el ancho del túnel  $D$ ) considerando cuatro casos

(ver Figura 2a). La profundidad del túnel se mantuvo constante e igual a dos veces el ancho del túnel (*i.e.*, 22 m). Para el caso de suelos rígidos se consideró el sistema túnel-suelo-edificio y el modelo numérico presentados en la Figura 3, el cual corresponde a un sitio que se ha instrumentado como se indica en la Figura 3a, como parte de los alcances de esta investigación.

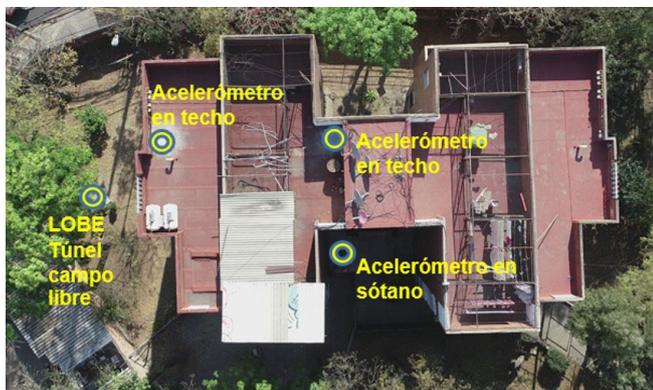


a)

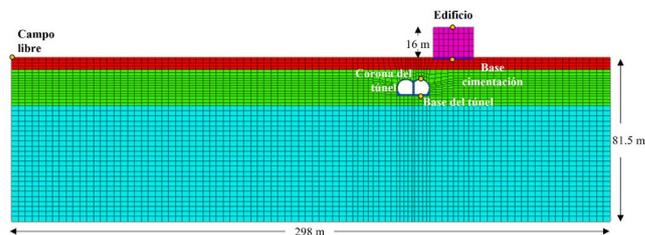


b)

Figura 2. a) Representación esquemática del problema idealizado, y b) modelo numérico tridimensional de diferencias finitas para suelos blandos



a)



b)

Figura 3. a) Instrumentación y tipología de edificio considerada y b) modelo numérico tridimensional de diferencias finitas para suelos rígidos

## Interacción puente-edificio-túnel

Se desarrollaron modelos numéricos del sistema puente-edificio-túnel (Figura 4) variando la posición del túnel (*i.e.* debajo del puente, del edificio, y a la mitad entre el edificio y el puente), así como la ubicación del puente (de 1 a 3 diámetros

del edificio), tanto para suelos blandos como rígidos; actualmente, se llevan a cabo los análisis paramétricos correspondientes en las estaciones de trabajo de alto rendimiento del **Geo-sim** del II-UNAM.

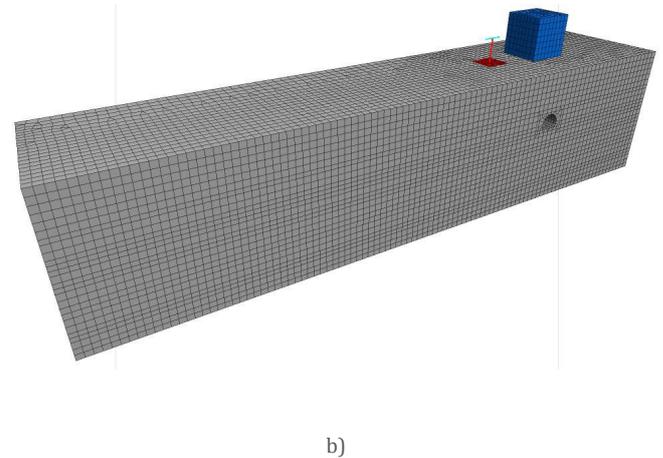
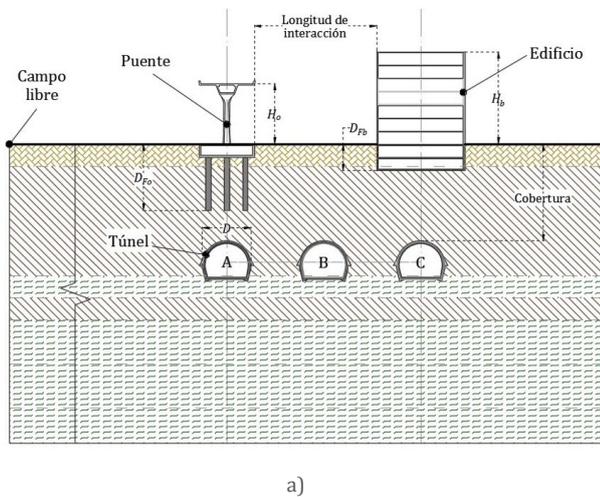
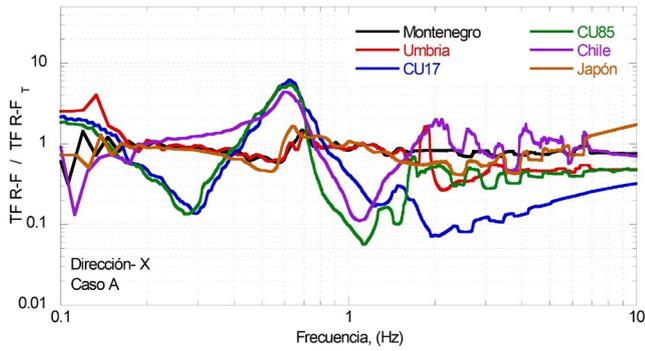


Figura 4. a) Representación esquemática del problema idealizado del sistema puente-edificio-túnel para suelos blandos, y b) modelo numérico tridimensional de diferencias finitas

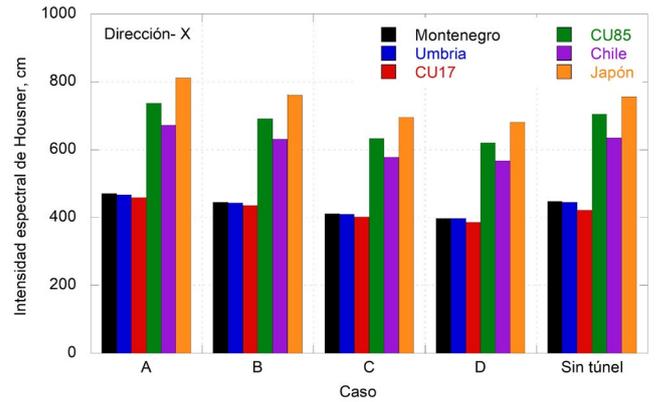
## Resultados parciales

Para estudiar el efecto del túnel en la interacción sísmica túnel-suelo-edificio, los resultados se presentaron en términos del factor del túnel-edificio,  $T_{fb}$ , que se define como la función de transferencia calculada entre la azotea y la cimentación sin el túnel, TF R-F, dividido entre la función de transferencia entre la azotea y la cimentación con la presencia del túnel, TF R-F<sub>T</sub>. Estos resultados se muestran para suelos blandos en la Figura 5a para el caso A, para la componente transversal.  $T_{fb}$  permite mostrar claramente el efecto del potencial de amplificación y la distribución de energía dentro del contenido de frecuencias de interés. Existe una clara amplificación (*i.e.*, interacción perjudicial) en el edificio debido a la presencia del túnel para el rango de frecuencia de interés (*i.e.*, de 0.7 Hz a 1.2 Hz), que incluye el período fundamental de la estructura,  $T_f = 1.01$  s, y el período

característico del sitio elástico del suelo,  $T_{pe} = 0.85$  s, donde se alcanzan valores de  $T_{fb}$  inferiores a uno para este intervalo de frecuencias. El efecto mencionado es más importante para el caso A, (*i.e.*, cuando el túnel está debajo del edificio), y reduce gradualmente su impacto cuando el túnel se aleja del edificio. Esta amplificación está de acuerdo con la intensidad espectral de Housner, SI ( $\xi$ ), calculada para cada escenario, como se muestra en la Figura 5b. Es interesante que hay un claro potencial de atenuación (*i.e.*, interacción beneficiosa) en el edificio debido a la presencia del túnel de 0.4 Hz a 0.7 Hz, que abarca el período característico no lineal del sitio,  $T_{pnl} = 2$  s (0.5 Hz) y el segundo período no lineal 1.73 s (0.58 Hz). Los resultados presentados son parte de una investigación en proceso, y se puede consultar parcialmente en Mayoral y Mosqueda (2020, 2021).



a)



b)

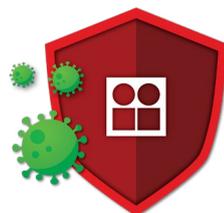
Figura 5. a) Amplitud relativa de las funciones de transferencia entre la Azotea y la Cimentación, con y sin túnel, para la dirección transversal (X) y b) Intensidad de Housner calculada en la azotea

## Conclusiones

Para los casos específicos analizados, existe amplificación (i.e., interacción perjudicial) en el edificio debido a la presencia del túnel, aumentando las aceleraciones máximas calculadas en la azotea del edificio. Este efecto es más importante para el caso A (i.e., túnel debajo del edificio), y reduce su impacto gradualmente cuando el túnel se aleja del edificio. Asimismo, existe una interacción benéfica túnel-cimentación al nivel de la cimentación, donde se atenúan las aceleraciones máximas calculadas. Con respecto al campo libre, también, existe un claro potencial de atenuación (i.e., interacción benéfica) en la respuesta del suelo debido a la presencia del túnel para eventos de subducción, este efecto benéfico prevalece para distancias de hasta tres veces el diámetro del túnel. Sin embargo, esta interacción depende del contenido de frecuencias, por lo que se observa una interacción perjudicial importante para las frecuencias bajas en eventos de falla normal. Este hecho debe ser considerado para estimar adecuadamente la demanda sísmica en las estructuras circundantes a obras subterráneas. |

## Referencias

- Chungsik, Y. 2012. Interaction between tunneling and bridge foundation – A 3D numerical investigation. *Computers and Geotechnics* 49:70-78.
- Isbiliroglu, Y.; Taborda, R. y Bielak, J. (2015). Coupled soil-structure interaction effects of building clusters during earthquakes. *Earthquake Spectra*, 31(1), 463–500. <https://doi.org/10.1193/102412EQS315M>
- Mayoral, J. M. y Mosqueda, G. 2020. Seismic interaction of tunnel-building systems on soft clay. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 139 (2020) 106419.
- Mayoral, J. M. y Mosqueda, G. 2021. Foundation enhancement for reducing tunnel-building seismic interaction on soft clay. *Tunn. Und. Space Tech.* 115 104016.
- Mayoral, J. M.; Mosqueda, G.; De La Rosa, D. y Alcaraz, M. 2020. Tunnel Performance during the Puebla-Mexico September 19, 2017. *Earthquake Spectra* 2020, Vol. 36(S2) 288–313.
- Podestá, L.; Sáez, E.; Yáñez, G. y Leyton, F. (2019). Geophysical Study and 3-D Modeling of Site Effects in Viña del Mar, Chile. *Earthquake Spectra*, 35(3), 1329–1349.
- Román, A.; Mayoral, J. M.; Hutchinson, T.; Candia, G.; Montgomery, J. y Tepalcapa, S. (2019). Assessment of fragility models based on the Sept 19th, 2017 earthq observed damage. *Soil Dyn. Earth Eng.* 125.2019.105707.



Juntos  
prevenimos  
la COVID-19

## TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTENIENDO ANTIMONIO

IVÁN MORENO ANDRADE, JESÚS RAMÍREZ PATIÑO,  
JAIME PÉREZ TREVILLA Y JULIÁN CARRILLO REYES

El antimonio (Sb) es un metaloide que naturalmente se puede encontrar asociado con sulfuros en yacimientos hidrotermales, en sedimentos o incorporado con otros minerales en el suelo. Su símbolo químico deriva del latín *stibium*, que significa "banco de arena gris brillante", que es el mineral en el cual se encuentra comúnmente. Actualmente, es muy utilizado industrialmente en la manufactura de retardantes de fuego, municiones, aleaciones, baterías (como las de auto), pigmentos, dispositivos semiconductores, detectores infrarrojos y diodos. En la minería mundial es el noveno metal más explotado. Hoy en día, México es el décimo productor de Sb en el mundo, aunque históricamente, en la década de los cincuenta, fue el segundo. Existen varios yacimientos de antimonio en el país: San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Sonora y Querétaro, y aunque las estadísticas fluctúan continuamente, al año se exportan entre 600 y 800 toneladas, principalmente a China y Estados Unidos. La estibina es la principal mena del Sb, la cual es muy quebradiza y puede convertirse en un polvo fino con más rapidez que las demás rocas, lo que provoca su liberación al ambiente, ya sea en el aire o en el agua. Sin embargo, son muy pocos los estudios acerca de la presencia de antimonio en el aire y cuerpos de agua aledaños a lugares de explotación de antimonio.

El Sb comparte muchas características químicas y toxicológicas con el arsénico. Se ha reportado que la exposición al antimonio afecta la función cardiaca (arritmias cardíacas) y renal, provoca lesiones en la piel y trastornos neurológicos. A pesar de que este metaloide es tóxico por inhalación e ingestión y que ha mostrado ser carcinogénico, sus mecanismos de transformación y su toxicidad no son claros. Proyecciones a futuro estiman un incremento en la aplicación, explotación y el riesgo de contaminación por antimonio en cuerpos de agua por las descargas derivadas de actividades antropogénicas.

El metaloide está presente en residuos industriales o en aguas contaminadas, principalmente en dos estados de oxidación: antimonato (SbV) y antimonito (SbIII), siendo este último mucho más tóxico. Por ejemplo, para el caso de SbIII, se han realizado estudios para encontrar las concentraciones letales medias o  $CL_{50}$  (las cuales indican qué concentración de una

sustancia puede esperarse que produzca la muerte de 50% de los organismos experimentales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado). Para el caso de pulgas de agua (*Simocephalus mixtus*) y de embriones de peces Medaka japonés (*Oryzias latipes*), los valores fueron de 4.9 y 261 mg/L, respectivamente, después de 24 h de exposición (Nam *et al.*, 2009).

Debido a sus efectos genotóxicos, desde 1976 y 1979, la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, respectivamente, lo han considerado como un contaminante prioritario, estableciendo un nivel máximo en agua de tan sólo 5 y 6  $\mu\text{g/L}$  (US-EPA, 2009; EU, 1998). Para darnos una idea, para el arsénico, estos países han establecido niveles de 10  $\mu\text{g/L}$ , lo que indica que el antimonio puede tener mayores efectos adversos. En México, el antimonio en el agua potable aún no está regulado.

Todo lo anterior muestra que es necesario extender los estudios relacionados a la comprensión de los procesos de transformación o eliminación del antimonio en ambientes contaminados, ya sea para minimizar los efectos tóxicos de su presencia, incluso, eliminarlo completamente. En la Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería de la UNAM, hemos trabajado desde hace cinco años en proyectos relacionados con la toxicidad y con el entendimiento de los procesos de reducción biológica del Sb. En este tópico, hemos colaborado con la Universidad de Arizona, con la financiación del Consorcio Arizona-México para Ambientes Áridos (Cazmex) y en proyectos PAPIIT. En particular, se han abordado tres ejes en el tema: i) Presencia de Sb en muestras ambientales, ii) Estudios de toxicidad del antimonio en distintos ambientes y iii) Estudios de la Reducción biológica del antimonio.

### Presencia de antimonio en suelos cercanos a minas en Querétaro

Se realizó un muestreo de suelo en la Sierra Gorda de Querétaro, en sitios cercanos a una mina activa y sus alrededores (Figura 1), así como en cuerpos de agua de una comunidad cercana (aproximadamente a 2 Km de la mina). Las muestras de suelo se tomaron hasta 20 cm de profundidad. Los resultados muestran que la zona de extracción del metaloide, es el que presentó mayor concentración (230.6 mg/kg), esta concentración disminuyó al alejarse de la mina, teniendo una concentración de  $0.25 \pm 12.02$  mg/kg a 1 Km de ésta, mientras que, en el cuerpo de agua de la comunidad cercana no se detectó Sb. Esto concuerda con los resultados de Wang y colaboradores quienes tomaron muestras en sitios alrededor

de la mina más grande del mundo, ubicada en la provincia de Hunan, China. La concentración de Sb en el suelo decreció mientras aumentaba la distancia hacia la mina, de 7315.7 a 57.1 mg/kg (Wang, *et al.*, 2011). Casiot y colaboradores en 2007, determinaron la movilidad del antimonio y arsénico en un arroyo que drena una mina abandonada, la concentración máxima en suelo fue de 500 mg/kg (Casiot, *et al.*, 2007). La cantidad de antimonio en el suelo de la mina de Querétaro es mucho menor que en estos sitios. Estos resultados son importantes desde el punto de vista de la toxicidad, ya que, si bien la concentración de Sb disminuye con el aumento de la distancia a la zona minera, está presente en concentraciones que pueden provocar problemas ambientales. Esto es importante, ya que la comunidad que se encuentra a un par de kilómetros de la mina (alrededor de 600 habitantes) están en contacto con este metaloide, inclusive, usan las rocas de antimonio para la construcción de sus viviendas. Esto puede presentar un problema de salud, pues no se sabe a qué concentración se está exponiendo la población o si presentan síntomas derivados de esta prolongada exposición.



Figura 1. Muestreo de suelo cercano a una mina de Antimonio

### Toxicidad del antimonio sobre microorganismos en varios ambientes

Dentro de los pocos estudios acerca de la toxicidad del Sb, como se mencionó anteriormente, se ha buscado el efecto sobre algunos organismos indicadores como peces y artrópodos, sin embargo, no existen reportes claros de la toxicidad que podría tener la presencia del Sb al llegar a sistemas de tratamiento de aguas residuales (tanto aerobios como anaerobios), por lo anterior, se buscó evaluar la toxicidad de SbV y SbII, a diferentes concentraciones, sobre cultivos microbianos en ambientes aerobios (en la cepa pura *Allivibrio fisheri*, empleada en ensayo estandarizado Microtox y en cultivos mixtos de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales) y anaerobios (sobre la producción de microorganismos productores de hidrógeno y metano). Los resultados demostraron que independientemente del ambiente y los microorganismos evaluados, la especie SbIII es mucho más tóxica que el SbV.

Para el caso de los ensayos de Microtox (*A. fisheri*) se demostró que el SbIII tiene una Concentración Efectiva para inhibir 50% de la población ( $CE_{50}$ ) de microorganismos de  $43.86 \pm 8.24$  (mg/L) en una exposición de 30 min. En los microorganismos de una planta de tratamiento aerobia municipal, la inhibición de la tasa específica de consumo de oxígeno (TECO) reveló que 50 mg/L de SbV causó la inhibición de los microorganismos ( $CE_{50}$ ) (figura 2B), mientras el SbIII lo lograba a sólo 0.03 mg/L (figura 2A).

En ambientes anaerobios, se demostró que la tasa de producción específica de hidrógeno en un proceso de fermentación oscura era reducida por la presencia de Sb, mostrando una  $CE_{50}$  de 72.5 y 13.1 mg/L de SbV y SbIII, respectivamente. Para el caso de una comunidad metanogénica de una planta de tratamiento, los valores de  $CE_{50}$  fueron de 182.7 y 11.4 mg/L para SbV y SbIII, respectivamente. Lo anterior demuestra que los microorganismos anaerobios presentan una menor inhibición con respecto a los aerobios. Esta tolerancia al SbV hace posible plantear procesos de reducción anaerobia para la transformación biológica de SbV a SbIII con el fin de proponer posibles procesos de recuperación de antimonio.

### Reducción biológica del antimonio

Debido a que el SbIII es poco soluble en agua, al realizar una reducción biológica de SbV (soluble en mayor medida) a SbIII, es posible obtener su precipitación y la recuperación del mismo.

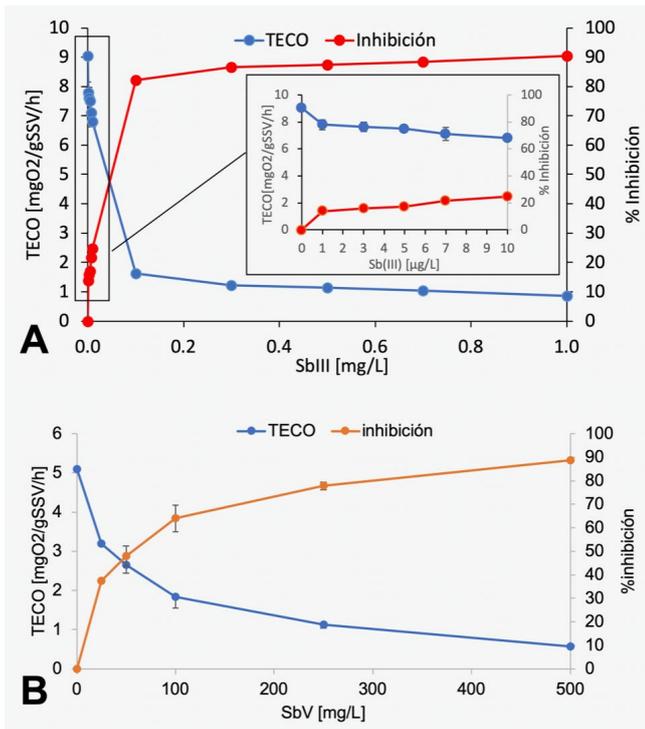


Figura 2. Porcentaje de inhibición y TECO de los microorganismos aerobios a diferentes concentraciones de A) SbV y B) SbIII

Para entender como actúan las comunidades microbianas en esta reducción biológica, realizamos estudios con inóculos provenientes de varias plantas de tratamiento y sedimentos anaerobios identificando distintas rutas de transformación del Sb, y la correlación de las mismas con los microorganismos presentes obtenidos por medio de análisis metagenómicos. De los inóculos evaluados, aquellos provenientes de reactores anaerobios demostraron la capacidad de reducción de SbV de 85 a 100% en periodos entre 5 y 60 días. En algunos inóculos no sólo se observó una reducción, sino también, una disminución en la concentración total de Sb soluble, lo que sugiere la precipitación de SbIII. El análisis metagenómico reveló una alta variabilidad en la composición de las comunidades microbianas en los diferentes inóculos evaluados. Aunque no se observó una clara correlación en términos de transformación y remoción de Sb, los resultados sugirieron que el aumento en la presencia de la clase Bacilliales está relacionado con la transformación de SbV en Sb III, pero no con la remoción total de Sb.

La reducción de SbV a SbIII con mediación biológica se lleva a cabo en condiciones anaerobias por dos vías extracelulares, desasimilatoria y al reaccionar con H<sub>2</sub>S disuelto en sistemas de sulfato reducción. Los reactores anaerobios de flujo ascendente con lecho empacado se han utilizado exitosamente para la biotransformación de metales presentes en aguas residuales así como para la formación y recuperación de precipitados. Por lo anterior, hemos trabajado en determinar la eliminación Sb total en agua residual sintética (con una concentración de 5 mg/L) de SbV, por vías desasimilatoria y sulfato reductora, por medio de la operación de reactores anaerobios de flujo ascendente con lecho empacado (Figura 3). Los reactores fueron inoculados con lodo de un sedimentador secundario de un sistema de lodos activado y operados 44 días en un sistema discontinuo secuencial por lotes, con una duración de 48 horas por lote.

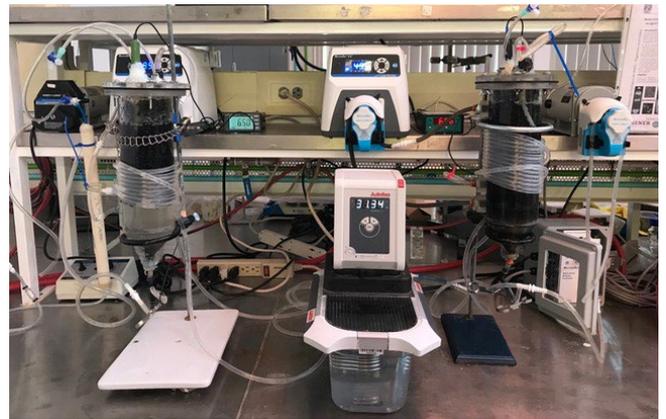


Figura 3. Reactores piloto usado en los experimentos de reducción biológica

El porcentaje promedio de eliminación de Sb total para el reactor desasimilatorio fue de 28%, mientras que en el proceso de sulfato reducción se logró una remoción de 59%. Al término del experimento se realizó un análisis de difracción de rayos X para determinar las especies cristalinas presentes en las muestras recolectadas en la purga, encontrándose la formación de valentinita en el reactor desasimilatorio, mientras que en el reactor de sulfato reducción se encontró estruvita, valentinita y quermesita (minerales compuestos de Sb), siendo esta última, un resultado de la oxidación sufrida de la estibina formada en el interior del reactor al exponerse a condiciones ambientales. De igual manera, se realizó un análisis filogenético al final del experimento

de la comunidad microbiana presente en el empaque y la biomasa suspendida, donde en ambos reactores se reportó la aparición de los géneros *Geobacter* y *Pseudomonas* en baja proporción, los cuales han sido asociados a la reducción desasimilatoria (Figura 4). En el reactor de sulfato reducción se reportó mayor abundancia de organismos sulfato reductores, mientras que en el reactor desasimilatorio, el género *Dysgonomonas*, presentó mayor abundancia, por lo que este género podría llevar a cabo un papel clave en la transformación del metaloide; sin embargo, se requieren más estudios para determinar el rol del microorganismo en la eliminación de Sb.

### Conclusiones

Esta línea de investigación ha generado conocimiento innovador asociado a la reducción biológica de Sb en sistemas anaerobios, y es de los pocos estudios donde se correlaciona este proceso con la identificación de microorganismos. Con la colaboración de académicos del Instituto se ha podido hacer posible el correcto análisis desde el punto de vista analítico, de proceso y microbiológico, con lo cual se potencializan los resultados obtenidos en el tema.

### Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero de DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIIT IN105220. |

### Referencias

Casiot, C.; Ujevic, M.; Muñoz, M.; Seidel, J. y Elbaz-Poulichet, F. Antimony and arsenic mobility in a creek draining an antimony mine abandoned 85 years ago (upper Orb basin, France) (2007). *Applied Geochemistry*, 788-798.

EU. 1998. EU Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Adopted by the Council, on 3 November 1998.

Nam, S. H.; Yang, C-Y. y Y-J. Effects of antimony on aquatic organisms (Larva and embryo of *Oryzias latipes*, *Moina macrocopa*, *Simocephalus mixtus*, and *Pseudokirchneriella subcapitata*) (2009). *Chemosphere*, 75:889-893.

US-EPA. National Primary Drinking Water Regulations. 2009. US EPA, Washington, DC.

Wang, X.; He, M.; Xi, J. y Lu, X. Antimony distribution and mobility in rivers around the world's largest antimony mine of Xikuangshan, Hunan Province, China. *Microchemical Journal*, 2011. 4-11.

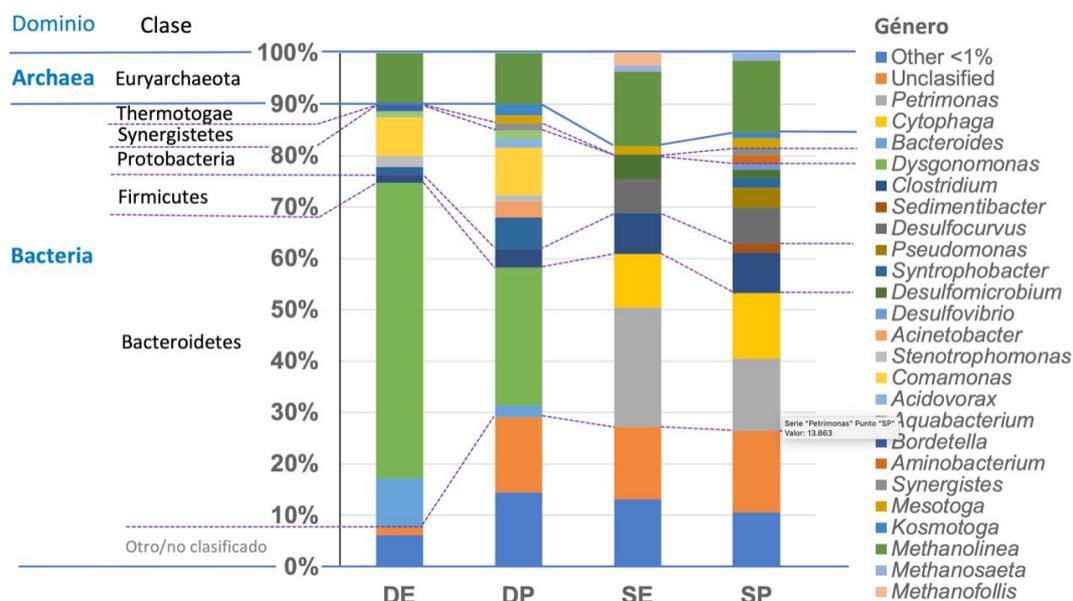


Figura 4. Caracterización microbiana de los reactores para la reducción biológica de antimonio. DE: Reactor desasimilatorio empaque; DP: Desasimilatorio purga (efluente del reactor); SE: Sulfato reducción empaque; SP: Sulfato reducción purga

## MATERIALES ADSORBENTES DE CO<sub>2</sub> A PARTIR DE SUB-PRODUCTOS INDUSTRIALES

AMELIA JIMÉNEZ ALCÁNTARA,  
VANESSA HERNÁNDEZ TAPIA  
Y BRENDA CECILIA ALCÁNTAR VÁZQUEZ

Como resultado de las emisiones antropogénicas a la atmósfera relacionadas principalmente con la generación de energía (25%) y otras actividades industriales (21%), los gases de efecto invernadero continúan acumulándose en la atmósfera a un ritmo acelerado con impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud. Dentro de los gases de efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> es uno de los más abundantes, con aproximadamente

65% de las emisiones; la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico actualmente es de 414 ppm<sup>[1]</sup>. México ocupa el lugar número 12 a nivel mundial y el primer lugar en América Latina en emisiones de dióxido de carbono. Para contribuir con la reducción de estas emisiones, se han implementado algunas tecnologías para la captura, almacenamiento y utilización de CO<sub>2</sub> (CCUS, por sus siglas en inglés). Las CCUS (Figura 1) son una serie de prácticas disponibles para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de fuentes fijas, tales como plantas de producción de energía, fabricación de acero y cemento. La etapa de captura o separación del CO<sub>2</sub> se puede llevar a cabo mediante absorción con aminas, destilación criogénica, separación con membranas y adsorción con sólidos. La adsorción con sólidos es una alternativa prometedora para la captura de CO<sub>2</sub>, ya que los materiales adsorbentes pueden reutilizarse, son de fácil manipulación, existe una amplia variedad de adsorbentes disponibles para diferentes temperaturas de operación y presentan altas capacidades de captura de CO<sub>2</sub>.

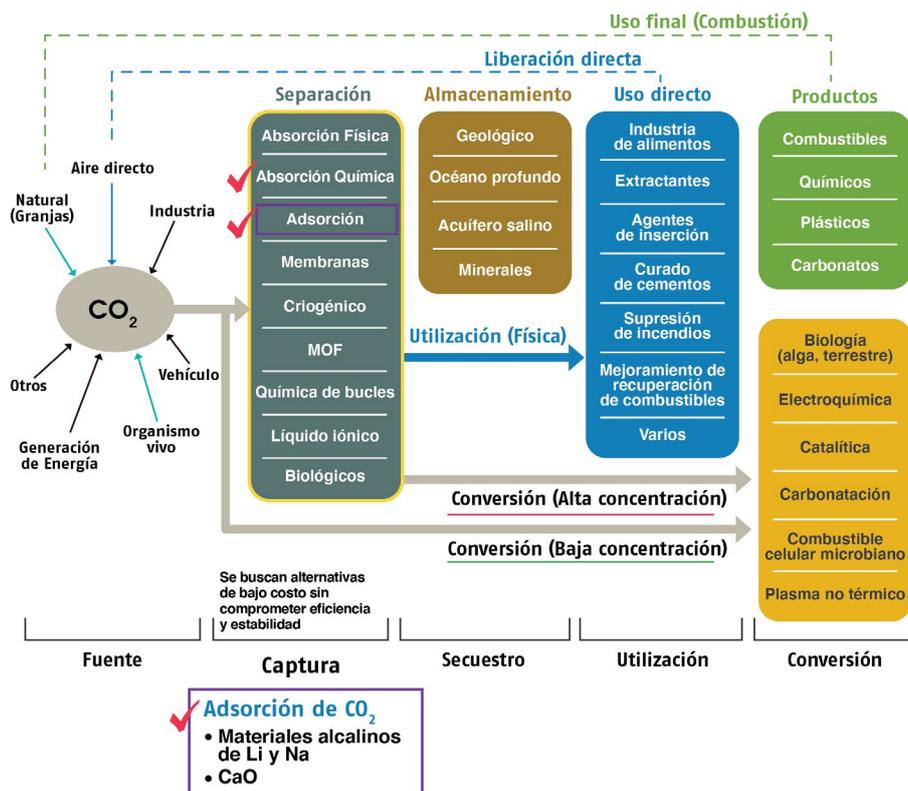


Figura 1. Captura, almacenamiento y utilización/conversión del CO<sub>2</sub>. Adaptado de <sup>[2]</sup>

Dentro de los materiales adsorbentes, el óxido de calcio y los cerámicos alcalinos son los que presentan mejores propiedades de captura de  $\text{CO}_2$  a elevadas temperaturas. Los cerámicos alcalinos se definen como un óxido de metal binario, donde al menos uno de los metales es un elemento alcalino como Li, K y Na; entre los que destacan zirconatos, silicatos, cupratos, titanatos, cobaltatos, aluminatos y ferritas de litio y sodio; para los que el grado de adsorción de  $\text{CO}_2$  está influenciado por factores como la temperatura, presión, concentración de  $\text{CO}_2$  en la corriente gaseosa, tamaño de partícula, estructura cristalina y transiciones de fase estructurales durante la síntesis del cerámico. Estos materiales poseen una alta selectividad al  $\text{CO}_2$  a elevadas temperaturas, cinética adecuada de adsorción-desorción, buenas propiedades de regeneración y alta estabilidad térmica y mecánica. Por lo que buscar alternativas de bajo costo para su síntesis, sin comprometer su eficiencia y estabilidad, es el objetivo del presente trabajo.

Bajo este escenario, utilizar residuos y/o sub-productos industriales para la síntesis de estos materiales ofrece ventajas como abundancia, disponibilidad y bajo costo. En el grupo de trabajo se han utilizado como materia prima escorias metalúrgicas de hierro, acero, cobre y sílice, obtenidas de la planta geotérmica de Cerro Prieto en Baja California, por su alto contenido en calcio, hierro y sílice.

#### Ortosilicato de litio, $\text{Li}_4\text{SiO}_4$

El  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  fue preparado utilizando escorias de hierro como fuente de  $\text{SiO}_2$  por el método de reacción en estado sólido. En la figura 2 se puede observar que el material alcanza una

capacidad de adsorción de  $\text{CO}_2$  mayor al  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  sintetizado a partir de sílice comercial con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$  y 0.20 en la corriente gaseosa. El silicato derivado de escoria presenta una captura máxima de  $135 \text{ mg}_{\text{CO}_2}/\text{g}$  a  $675^\circ\text{C}$  con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$ . Además, los silicatos de litio preparados con escoria presentan alta estabilidad durante 20 ciclos consecutivos de adsorción-desorción [3].

#### Ferrita de pentalitio, $\text{Li}_5\text{FeO}_4$

La  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  fue elaborada utilizando escorias metalúrgicas de cobre como fuente de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  utilizando el método de reacción en estado sólido. Los resultados del análisis termogravimétrico mostraron que la adsorción de  $\text{CO}_2$  en el material ocurre en tres etapas (Figura 3). La primera etapa se asocia a la formación del  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  en la superficie del material. Posteriormente, en la segunda etapa del proceso, la adsorción de  $\text{CO}_2$  aumenta con mayor velocidad, este comportamiento se asocia a que el incremento de temperatura activa el proceso de difusión de  $\text{CO}_2$  y de iones  $\text{Li}^+$  y  $\text{O}^{2-}$  en el material, por tanto, la quimisorción comienza a llevarse a cabo en el volumen de la  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  y no sólo en su superficie. En la tercera etapa, después de que se alcanza la temperatura máxima de carbonatación del material, comienza el proceso de desorción o descarbonatación, descrita por la pérdida de masa en el material. De los experimentos dinámicos, se determinó que el intervalo de mayor adsorción de  $\text{CO}_2$  es de  $400$  a  $700^\circ\text{C}$ . Posteriormente, en los experimentos isotérmicos (Figura 4), la isoterma a  $675^\circ\text{C}$  mostró la mayor captura de  $\text{CO}_2$ ,  $200 \text{ mg}_{\text{CO}_2}/\text{g}$ . A partir de estos resultados, se realizaron experimentos isotérmicos a distintas  $P_{\text{CO}_2}$  (0.05, 0.10, 0.15 y 0.20) a  $675^\circ\text{C}$ , donde la mayor captura

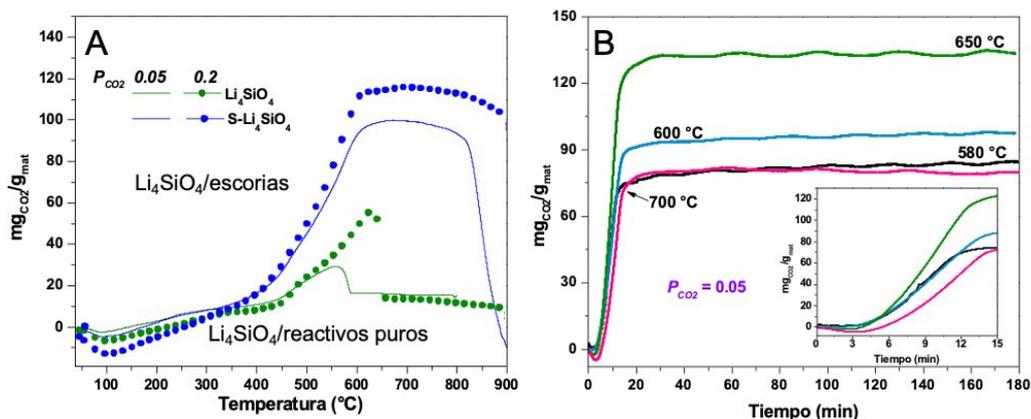


Figura 2. Adsorción de  $\text{CO}_2$  del  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ : A) Termogramas dinámicos con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$  y 0.20 y B) Isotermas a  $650^\circ\text{C}$  y  $P_{\text{CO}_2}=0.05$

de  $\text{CO}_2$  se obtuvo con  $P_{\text{CO}_2}=0.20$ , este comportamiento confirma que la capacidad máxima de captura disminuye cuando la  $P_{\text{CO}_2}$  disminuye hasta 11.6% con  $P_{\text{CO}_2}=0.05$ .

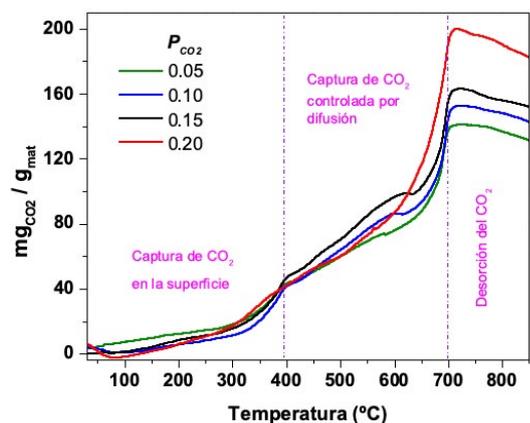


Figura 3. Termogramas dinámicos de  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  sintetizado a partir de escorias metalúrgicas de cobre en flujo de  $\text{CO}_2$  ( $P_{\text{CO}_2} = 0.05 - 0.20$ )

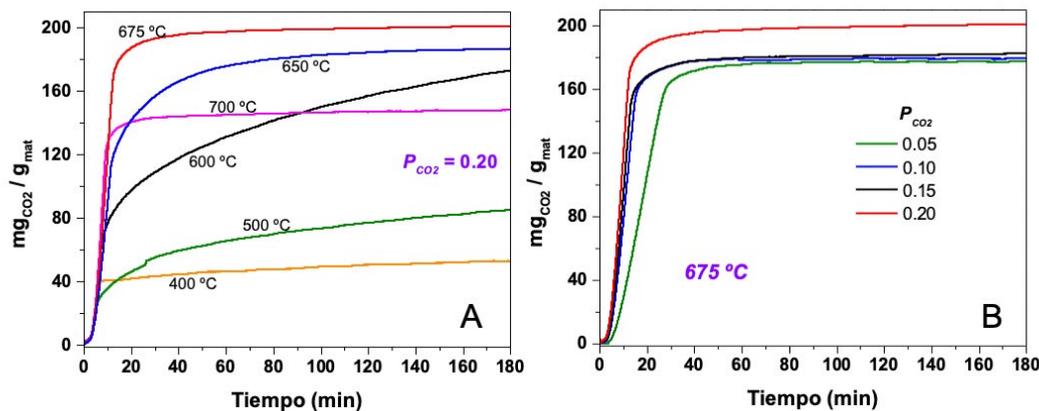


Figura 4. Análisis isotérmico de  $\text{Li}_5\text{FeO}_4$  sintetizado a partir de escorias metalúrgicas de cobre A) a diferentes temperaturas con  $P_{\text{CO}_2}=0.2$  y B) a  $675^\circ\text{C}$  con  $P_{\text{CO}_2}= 0.05, 0.10, 0.15$  y  $0.20$

**Contacto:** Dra. Brenda Cecilia Alcántar Vázquez | BalcantarV@iingen.unam.mx

## Referencias

- National Oceanic and Atmospheric Administration *Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases*. Recuperado de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>.
- Pen-Chi, C. y Shu-Yuan, P. (2017). Carbon dioxide mineralization and utilization. Springer.
- Alcántar-Vázquez, B. C. y Ramírez-Zamora, R. M. (2020). Lithium silicates synthesized from iron and steel slags as high temperature  $\text{CO}_2$  adsorbent materials. *Adsorption*, 26, 687-699.

## Comentarios finales

Los adsorbentes derivados de residuos y sub-productos industriales poseen muchas ventajas que incluyen disponibilidad, regeneración, bajo costo y menor corrosión. Sin embargo, su aplicación aún enfrenta varios retos que superar antes de que pueda adoptarse para aplicaciones a gran escala:

- Demostrar detalladamente la estabilidad de los materiales para determinar su practicidad y rentabilidad efectiva.
- Evaluar la adsorción de  $\text{CO}_2$  en presencia de otros gases,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ .
- Los residuos tienen impurezas, por lo que es fundamental identificar todos los subproductos formados durante la síntesis y la adsorción de  $\text{CO}_2$ .
- Proponer alternativas para su disposición.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto PAPIIT IA100520. |



## PREMIOS QUE OTORGA EL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO AC

### PREMIO NABOR CARRILLO



El Dr. Francisco José Sánchez Sesma recibió el Premio Nabor Carrillo Flores a la investigación 2021, por su destacada participación en actividades de investigación y por su contribución al desarrollo de procedimientos de regionalización de uso general en México. El Dr. Sánchez Sesma se sintió honrado con la designación del premio y recordó que Nabor Carrillo era un ingeniero Civil célebre que llegó a ser Rector de la UNAM. Egresado de la Escuela Nacional de Ingenieros de la UNAM, se doctoró en la universidad de Harvard. Gracias a él, México adquirió una gran relevancia en mecánica de suelos. Ciudad de México es un laboratorio natural de geotecnia por las difíciles condiciones de los suelos, eso le permitió proyectar a nivel mundial la ingeniería civil mexicana. También, tuvo un papel relevante en la fundación del Instituto de Ingeniería en la UNAM.

Para finalizar, agradeció al CICM esta gran distinción, a su Presidente Luis Rojas Nieto, al jurado que la decidió y al Instituto de Ingeniería por postularlo.

### PREMIO MARIANO HERNÁNDEZ BARRENECHEA

El Dr. Gustavo Ayala Milián fue distinguido con el Premio Mariano Hernández Barrenechea a la Docencia 2021, por su contribución en la formación de ingenieros. Ante la audiencia, el Dr. Ayala expresó: “El recibir este premio me honra y me llena de orgullo porque pienso que con él se me ratifica el que mis más de 52 años como investigador y formador de recursos humanos no han sido en vano y por eso me faltan palabras para expresar la alegría que me da el tenerlo y mi agradecimiento a quienes me postularon y a quienes me lo otorgaron.”



### PREMIO MIGUEL A. URQUIJO

Por otra parte, el Premio Miguel A. Urquijo, por el mejor artículo técnico 2020, les fue otorgado a los doctores Rodolfo Silva Casarín en coautoría con los doctores Itxaso Odériz Martínez, Thomas R. Mortlock y Edgar Mendoza Baldwin, autores de *Climate Drivers Directional Wave Power on the Mexican Coast*.

Al tomar la palabra, la Dra. Itxaso Odériz agradeció a nombre de los coautores este reconocimiento y dijo que el artículo premiado trata sobre el impacto que la variabilidad natural tiene en el oleaje, que es un factor de riesgo costero, un factor de diseño de estructuras portuarias y fuente de energía. Entender cómo la variabilidad natural modifica el oleaje va a permitir establecer el grado de resiliencia de nuestras costas ante el cambio



climático y tomar decisiones en las medidas de adaptación. Ahora, están desarrollando los escenarios del cambio climático de oleaje para finales de este siglo utilizando ensambles de Modelos de Clima Globales, para realizar la adaptación al cambio climático en las costas mexicanas.

El Premio Miguel A. Urquijo, por el mejor artículo técnico 2019, se les otorgó al Dr. Felipe Arreguín Cortés en coautoría con el Dr. Velitchko G. Tzatchkov, los maestros José Raúl Saavedra Horita, José Manuel Rodríguez Varela, Oscar Jesús Llaguno Gilberto, Arizabeth Sainos Candelario y el ingeniero Petronilo E. Cortez Mejía, por el artículo de *State Level Water Security Indices in Mexico*.

Por su parte, el Dr. Arreguín explicó que el artículo premiado “Índices de seguridad hídrica a nivel estatal en México”, es importante debido a que el impacto del cambio global sobre nuestro país sumado a otros factores como el crecimiento poblacional y la desigualdad social han creado una gran inseguridad hídrica. Felipe Arreguín agradeció al Instituto de Ingeniería la oportunidad de colaborar en la institución y señaló que el número de autores (siete) no es algo anormal, pues existe un artículo que tiene 1530 colaboradores, cada uno de ellos tuvo una colaboración importante.



## PREMIO JOSÉ A. CUEVAS

El Premio José A. Cuevas al mejor artículo técnico de 2020, correspondió a los doctores Juan Manuel Mayoral Villa y Gilberto Mosqueda por de *Seismic Interaction of Tunnel Building Systems on Soft Clays*.

El Dr. Mayoral explicó que en el artículo que escribió con Gilberto Mosqueda se presenta la fragilidad en las centrales modales donde hay la interacción que se da entre las estructuras superficiales y subterráneas durante un evento sísmico, además, se estudia la fragilidad de estos sistemas donde hay pasos elevados, túneles, edificios, considerando el hundimiento

regional, las inundaciones y el sismo. Esperamos que estos estudios se vean reflejados en la práctica profesional a través de los reglamentos para lograr una mejor resiliencia.

También, el Premio José A. Cuevas por el mejor artículo técnico 2019, le fue otorgado al Dr. Josué Hiram Arellano Toledo, autor de *Optimum Criss Crossing Cables in Multi-Span Cable-Stayed Bridges Usin Genetic Algorithms*, quien agradeció, entre otras personas, al Dr. Roberto Gómez, investigador del II por sus comentarios y sugerencias en la elaboración de este trabajo.



## PREMIO JAVIER BARROS SIERRA

El Premio Javier Barros Sierra al Mejor Libro de Ingeniería Civil 2021 fue para el Dr. Humberto Marengo Mogollón, autor de *Obras de Desvío en Proyectos Hidráulicos, Aspectos de Diseños y Construcción*.

El Dr. Marengo recordó que este libro tiene un origen eminentemente práctico, hizo memoria de cuando estaban construyendo el proyecto Aguamilpa y el profesor Marsal junto con el ingeniero Hiriart los regañaron porque la obra de desvío era insuficiente. Decidieron tomar en cuenta lo que les pidieron y colocaron un bordo fusible, empezaron la construcción y sucedió lo que ellos dijeron, se presentó una avenida extraordinaria en el invierno de 10 200 m<sup>3</sup> cuando la máxima histórica había sido de 6 400 m<sup>3</sup>. En el momento en que iba a desbordar la ataguía funcionó lo que nos había recomendado el Prof. Marsal y el agua entró ordenadamente, se sobresaturó, volvió a bajar y no perdimos la ataguía, ni 300 millones de dólares de generación, ni la presa. Medimos y se me ocurrió proponer, algo que luego se llamó, la rugosidad compuesta (poner concreto hidráulico en el piso del túnel, concreto lanzado en las paredes y en la bóveda, con esto, Aguamilpa hubiera pasado sin ningún problema el evento de desbordamiento. Eso lo publiqué en un artículo y luego me quedó la inquietud de que no había suficiente investigación del tema, se hicieron muchos estudios matemáticos para evolucionar en metodologías aplicables; el libro recoge todo esto y el hecho de evaluar los riesgos. Este libro es el resultado de haber tenido la oportunidad de trabajar en el IIUNAM.



Cabe señalar que, tanto el Dr. Arreguín como el Dr. Marengo han colaborado con el Instituto de Ingeniería en diversos proyectos, por lo que se les considera parte de la comunidad del IIUNAM.

Al final la Dra. Rosa María Ramírez Zamora fue invitada para dar unas palabras en las que dijo "Es un orgullo para mí que todos los galardonados hayan pertenecido o pertenecen al cuerpo académico del IIUNAM, es una muestra de la calidad y de las capacidades que tenemos en el Instituto de Ingeniería para aportar, para dar lo mejor de nosotros en bien de nuestro país y el bienestar de la sociedad mexicana. Es un orgullo que todas las áreas de la Ingeniería el IIUNAM sea una referencia nacional durante tantos años, espero que lo siga siendo. Muchas gracias al Ing. Rojas, presidente del Colegio, por las deferencias que ha tenido hacia el Instituto de Ingeniería. |



## OTROS RECONOCIMIENTOS



### ASOCIACIÓN JALISCIENSE DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS EN EDUCACIÓN SUSTENTABLE

También, felicitamos al Dr. David Morillón Gálvez, quien fue reconocido como defensor del planeta tierra y miembro número uno, por sus importantes contribuciones al diseño bioclimático y edificaciones sustentables, por la Asociación Jalisciense de Ingenieros y Arquitectos en Educación Sustentable.



### SCIENTIFIC CHALLENGE AWARD

Es un gusto comunicar que Dr. Roberto Giovanni Ramírez Chavarría y su grupo fueron galardonados con el premio Scientific Challenge Award en el marco de la IV Conferencia Latinoamericana de Bioimpedancia con el trabajo *Bioimpedance Online Synchronous Measurement: An Adaptive Scheme* por la novedad tecnológica del sistema de medición propuesto.



### RED DE DESASTRES ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS Y CAMBIO CLIMÁTICO EN SU EDICIÓN 2021

Pablo Ruiz Salcines, cotutorado por los doctores Christian Appendini y Paulo Salles de la Unidad Académica Sisal, obtuvo el Premio a la mejor tesis de posgrado, otorgado por la Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Cambio Climático en su edición 2021.



### UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

El Dr. Guillermo Quijano Govantes, investigador en la Unidad Académica Juriquilla, se hizo acreedor al Reconocimiento Egresado Distinguido que otorga la Universidad Autónoma Metropolitana a sus exalumnos. |

## ACTIVIDADES ACADÉMICAS

### CONFERENCIA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE 2021

La Dra. Ruth Cerezo Mota, investigadora de la Unidad Académica Sisal, participó como autor líder del Sexto Reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio Climático, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021 que se llevó a cabo en Glasgow, Escocia en días pasados.

### RED PANAMERICANA DE EPIDEMIOLOGIA AMBIENTAL

Se pone en marcha esta Red basada en el estudio de aguas residuales. La red coordinará una campaña de vigilancia para SARS-CoV-2 en las aguas residuales de principales capitales del continente. El Dr. Julián Carrillo Reyes investigador de la Unidad Académica Juriquilla co-liderará este proyecto en México.



### NUEVO NOMBRAMIENTO

En la sesión del 6 de diciembre, el Consejo de Dirección del Campus Yucatán, aprobó designar, a partir de enero de 2022, a la Dra. Rosa María Ramírez como Presidente y a la Dra. Gabriela Medellín como su representante.

A todos ellas y ellos ¡Enhorabuena! |



## **SENSIBLE FALLECIMIENTO DR. DANIEL RESÉNDIZ NÚÑEZ**

Expresamos nuestro más profundo y sincero pésame por el sensible fallecimiento del Dr. Daniel Reséndiz Núñez, distinguido investigador de nuestro Instituto, acaecido el sábado 27 de noviembre de 2021, en la Ciudad de México.

El Dr. Reséndiz fue un especialista en Geotecnia y consultor para decenas de proyectos en México y en el extranjero. Fue profesor, investigador y director de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

En el Instituto de Ingeniería, fue director de junio de 1974 a septiembre de 1982. En 1990 le fue otorgado el Premio Nacional de Diseño y Tecnología, en 2009 recibió el doctorado Honoris Causa por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Fue Miembro de Honor del Colegio de Ingenieros Civiles de México; secretario general del CONACyT y asociado del

Comité Asesor de la ONU sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. También, fue reconocido como investigador Emérito del Instituto de Ingeniería en 1992.

Se desempeñó como subdirector técnico de las Comisiones Federal de Electricidad y Nacional del Agua; subsecretario de Educación Superior e Investigación Científica en la Secretaría de Educación Pública.

Su partida representa una gran pérdida, siempre se le recordará por su calidez Humana, gran capacidad técnica y directiva, y por su generosidad al compartir el conocimiento.

Nos unimos a la pena que embarga a familiares, colegas y amigos de tan distinguido universitario quien fuera una pieza fundamental en la historia de la ingeniería mexicana y el desarrollo del país.

Descanse en Paz. |



# Homenaje al Dr. Luis Esteva Maraboto



**Dr. Luis Esteva Maraboto**

Uno de los Cuatro Grandes Maestros de la Ingeniería Sísmica a nivel internacional (IAEE)

**07 de diciembre de 2021 | 18:00 h**

Transmisión en vivo

<https://us06web.zoom.us/j/89087111772>



Ing. Oscar Valle Molina  
Moderador



Dra. Sonia Ruiz Gómez



Dr. David de León Escobedo



Dr. Francisco José  
Sánchez Sesma



Dr. Oscar González Cuevas



Ing. Francisco García Jarque



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM

## 2° Informe de Actividades

Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Evento vía streaming

Viernes 18 de febrero, 2022

12:00 h



Para acceder al evento entre a la siguiente liga  
<https://streaming.iingen.unam.mx>