

# GACETA

DEL INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM

## COORDINACIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Microscopía: una poderosa  
herramienta de investigación

Modelo computacional  
COPA LlenA para  
el aprovechamiento de agua  
de lluvia a nivel nacional

Producción de hidrógeno  
por reformado catalítico  
de metanol

Fabricación de materiales  
agregados reciclados con base  
en residuos de construcción

Producción de biogás  
a partir de residuos sólidos  
urbanos

Microscopio Confocal de Barrido Láser del Laboratorio de Ingeniería Ambiental

En el número 122, noviembre-diciembre 2016, se hizo una presentación de la Coordinación de Ingeniería Ambiental y los temas de investigación que llevan a cabo sus académicos, se incluyeron cuatro contribuciones como una muestra representativa; también se presentó el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y su Sistema de Gestión de la Calidad.

Este número nuevamente está dedicado a la Coordinación de Ingeniería Ambiental, las contribuciones que se presentan en esta ocasión constituyen otra muestra representativa de las investigaciones que llevan a cabo sus académicos, las cuales llevan por título: *Desarrollo del modelo computacional COPA LlenA Nacional (Cálculo Óptimo de Parámetros para el Aprovechamiento de Lluvia en Aplicaciones Nacionales) para diseñar e implementar sistemas SCALL como principal método de abastecimiento de agua en zonas de difícil acceso* de la Dra. Alma Chávez Mejía; *Influencia de la sal precursora de nano catalizadores de platino soportados en nano barras de ceria sobre la producción de hidrógeno por reformado catalítico de metanol* del grupo de la Dra. Rosa María Ramírez-Zamora; *Desarrollo tecnológico para la fabricación de materiales agregados reciclados (AR) con base en residuos de construcción* de la Dra. María Neftalí Rojas Valencia y *Producción de biogás a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU)* del grupo del Dr. Simón González Martínez. Cabe señalar que estos trabajos se han llevado a cabo con la participación de recursos humanos en formación, provenientes de entidades de la UNAM, así como de otras instituciones nacionales y extranjeras.

En cuanto a los servicios de apoyo a la investigación que ofrece el Laboratorio de Ingeniería Ambiental, el Dr. Daniel de los Cobos Vasconcelos presenta el artículo titulado *Microscopía: una poderosa herramienta de investigación en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental*, en el que da a conocer las opciones de microscopía a las que pueden tener acceso todos los académicos del Instituto de Ingeniería.

Por considerarlo necesario, me hice responsable de la revisión editorial de las contribuciones técnicas aquí referidas.

**Dra. Susana Saval Bohóquez**

Coordinadora de Ingeniería Ambiental

[SSavalB@iinegn.unam.mx](mailto:SSavalB@iinegn.unam.mx)

## UNAM

Rector  
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario Administrativo  
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario de Desarrollo Institucional  
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria  
Dr. César Iván Astudillo Reyes

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

## IUNAM

Director  
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria

Secretaría Académica  
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
Dr. Efraín Ovando Shelley

Subdirector de Hidráulica y Ambiental  
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco

Subdirector de Electromecánica  
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirector de Unidades Académicas Foráneas  
Dr. Germán Buitrón Méndez

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

Jefe de la Unidad de Promoción y Comunicación  
Lic. Israel Chávez Reséndiz

## GACETA DEL IUNAM

Editor responsable  
Lic. Israel Chávez Reséndiz

Reportera  
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías  
Archivo Fotográfico del IUNAM  
Sandra Lozano Bolaños  
Natalia Cristel Gómez Cabral

Fotografía de portada  
Sandra Lozano Bolaños

Diseño  
Sandra Lozano Bolaños

Corrección de estilo  
Gabriel Sánchez Domínguez

Impresión  
Grupo Espinosa

Distribución  
Guadalupe De Gante Ramírez

## GACETA DEL IUNAM

## MICROSCOPIA: PODEROSA HERRAMIENTA EN EL LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL DANIEL DE LOS COBOS VASCONCELOS

Cuando pensamos en Ingeniería Ambiental, comúnmente asociamos unidades como toneladas, hectolitros o hectáreas, a proyectos de gran alcance que implican grandes mediciones. Sin embargo, muchos de los procesos básicos y alteraciones de los sistemas ambientales se originan en pequeños nichos, los cuales incrementan su extensión poco a poco hasta apreciarse de manera evidente. Algunos de estos procesos pueden ser de origen biológico, mientras que otros se deben a interacciones físicas o químicas entre los diferentes componentes del sistema. Para identificar los efectos y orígenes de estos procesos, recurrimos a diferentes herramientas para observar y analizar más de cerca estos fenómenos.

En este artículo se hablará particularmente de los microscopios, instrumentos equipados con un conjunto de lentes magnificadores que nos permiten observar objetos de tamaño muy pequeño. Estas lentes, que pueden ser de diferentes formas y tamaños, se colocan siguiendo diferentes arreglos con la finalidad de crear un haz de luz hacia el espécimen y después hacia los ojos del observador. Las magnificaciones que pueden alcanzarse con un microscopio compuesto van de los 40 aumentos (resumido como 40x) hasta los 1000 aumentos usando un objetivo de inmersión en aceite.

Es importante aclarar que observar la imagen aumentada de un objeto muy pequeño no está libre de retos. Primero

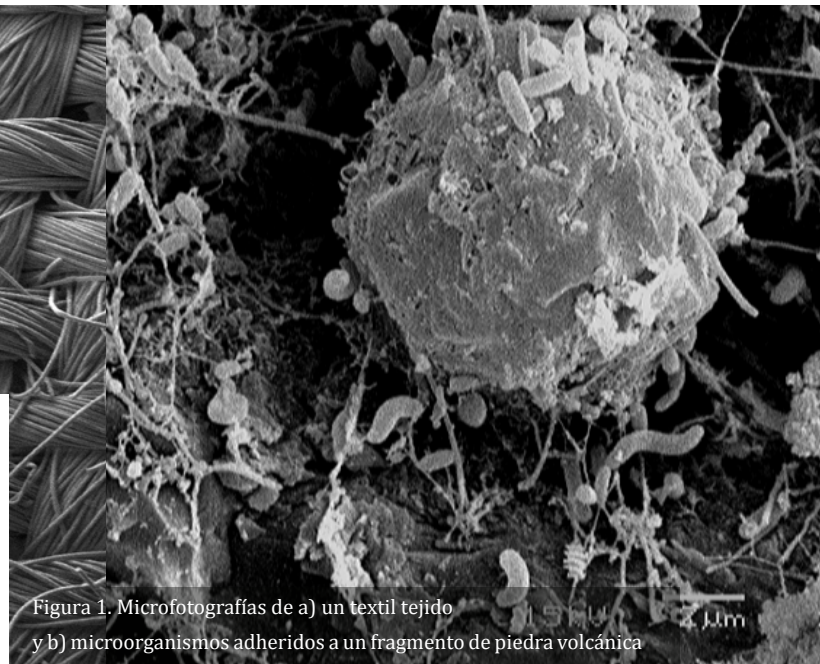


Figura 1. Microfotografías de a) un textil tejido y b) microorganismos adheridos a un fragmento de piedra volcánica

hay que asegurar que el microscopio tenga buena resolución, una propiedad que indica la capacidad del microscopio para identificar dos objetos adyacentes como dos objetos separados (Madigan *et. al.*, 2015). En la mayoría de los microscopios ópticos comerciales, el límite de resolución está alrededor de los 0.2 micrómetros o 200 nanómetros, lo que implica que dos objetos que estén separados por una distancia menor que ésta, aparentarán ser un solo objeto en vez de dos. Segundo, hay que asegurar que la preparación de la muestra previa a la observación es la más adecuada, de no ser así, la observación puede dar resultados erróneos o nulos. Asimismo, si los detalles o características que queremos observar en la muestra se encuentran por debajo del límite de resolución, se debe considerar el uso de un microscopio electrónico, el cual tiene un poder de resolución hasta mil veces más grande (0.2 nm) que los microscopios ópticos (esto puede ser menor bajo ciertas condiciones y tipos de muestras).

A diferencia de los microscopios compuestos u ópticos, el microscopio electrónico utiliza un haz de electrones para obtener imágenes amplificadas de diversos especímenes. La ventaja de utilizar electrones en vez de fotones (partículas de las que está compuesta la luz visible) es que permiten obtener imágenes con una resolución mucho mayor, por tanto, se pueden observar detalles más finos (Flegler *et. al.*, 1993). Existen



Figura 2. Microscopio confocal de barrido láser LSM-800  
Marca Zeiss ubicado en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental

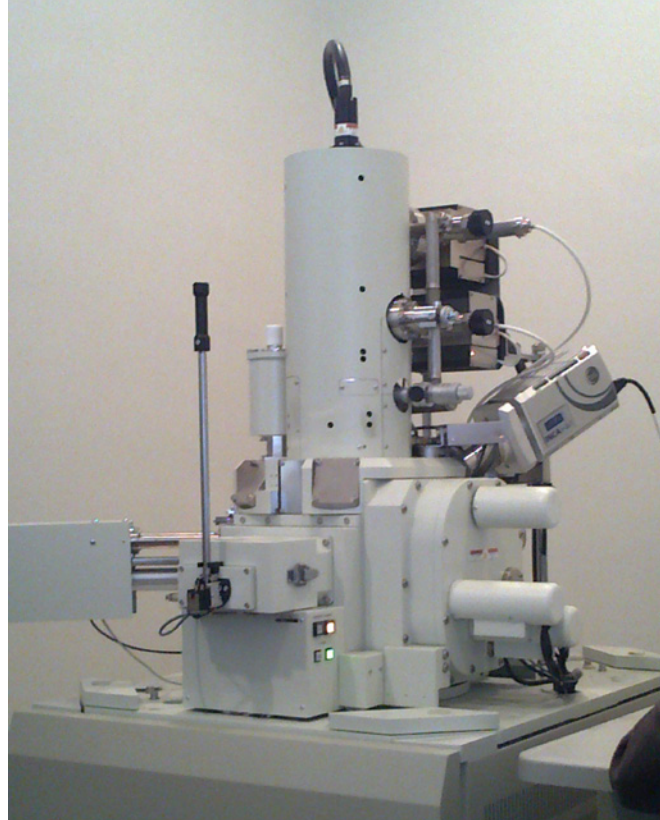


Figura 3. Microscopio electrónico de barrido de emisión  
de campo JSM-7600F ubicado en el Laboratorio  
Universitario de Microscopía Electrónica

dos tipos de microscopios electrónicos: el microscopio electrónico de barrido y el microscopio electrónico de transmisión.

El microscopio electrónico de barrido es usado comúnmente para observar la morfología de superficies que, dependiendo de su configuración, puede proporcionar magnificaciones máximas de 150,000x a 1,000,000x. Las mayores magnificaciones se han logrado con materiales conductores puros en condiciones muy específicas. Para la gran mayoría de muestras, se trabaja con un intervalo más moderado de entre 500x y 200,000x. Su resolución máxima está entre 10 a 3 nanómetros y para algunas configuraciones de alta resolución puede llegar a 1 nm.

El uso común de este tipo de microscopio es explorar y analizar las superficies de materiales de diversas índoles: metálicos y no metálicos (entre ellos materiales biológicos). Algunos ejemplos son: estudio de nuevas aleaciones, efecto de procesos químicos o físicos sobre el material, estructura final de nuevos procesos de manufactura, observación de la estructura de biopelículas sobre soportes (figura 1).

El microscopio electrónico de transmisión es utilizado para visualizar secciones de muestras que miden de 40 a 150 nm o pequeñas partículas en membranas delgadas. Las magnificaciones logradas con este microscopio son mucho mayores que con el de barrido, pero la preparación de la muestra es más laboriosa y delicada que en el caso anterior. La ventaja es

que puede obtenerse una resolución de hasta 0.2 nm y en el caso de los equipos de alta resolución es posible ir más allá y llegar a observar estructuras atómicas.

Este tipo de microscopio se utiliza bastante en el campo de las ciencias biológicas, sobre todo en los campos de diagnóstico de enfermedades, morfología de organismos, tejidos y células, así como organelos y estructuras celulares como el DNA. En el campo de las ciencias físicas y de los materiales, el microscopio electrónico se utiliza para la identificación de minerales en muestras geológicas, determinación de la estructura de cristales, composites, películas delgadas y cerámicas. También se utiliza para observar elementos críticos en la fractura de materiales sometidos a un estrés y en algunos casos, para observar cambios en la estructura debido a la interacción cuando no hay fractura.

El Laboratorio de Ingeniería Ambiental cuenta con diversos tipos de microscopios ópticos, desde los más sencillos que utilizan sólo luz blanca hasta aquellos que usan el fenómeno de fluorescencia para detectar microorganismos marcados con fluorocromos o estructuras autofluorescentes. Una opción más avanzada es el microscopio confocal de barrido láser marca Zeiss modelo LSM 800, adquirido en el año de 2015 (figura 2), que ha permitido observar muestras en campo claro, campo oscuro, contraste diferencial y fluorescencia, esta última usando luz generada por lámparas y también por

medio del sistema confocal que usa láseres a diferentes longitudes de onda. Un aspecto relevante es la posibilidad de obtener digitalmente las imágenes observadas con una calidad excepcional.

Aunque aún no contamos con un microscopio electrónico, gracias al convenio de colaboración establecido entre el Instituto de Ingeniería y el Instituto de Investigaciones en Materiales, cualquier grupo de investigación tiene acceso a los microscopios electrónicos que se encuentran en el Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica (LUME). El LUME cuenta con tres microscopios: a) un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM por sus siglas en inglés), b) un microscopio electrónico de haz de iones focalizado (FIB por sus siglas en inglés) y c) un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución (HRTEM por sus siglas en inglés).

Cada microscopio tiene sus particularidades, en el caso del FESEM (modelo JSM-7600F, JEOL, figura 3), cuenta con dos detectores de electrones secundarios, los cuales tienen poca energía y sólo pueden escapar de la muestra aquellos que se encuentran más cerca de la superficie, por lo que dan información acerca de la topografía superficial; además cuenta con otro detector de electrones retrodispersados, estos electrones poseen mayor energía y penetran más profundo dentro de la muestra antes de ser deflectados. Dependiendo del número atómico de los elementos que componen la muestra, es posible obtener información acerca de la composición química del interior del material. Otro aspecto interesante de este microscopio es que se pueden realizar análisis elementales de la muestra por medio de un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X, el cual proporciona información cualitativa de la composición de elementos de una región de interés en la cual se aplique.

Por otro lado, el FIB es un microscopio enfocado al micro-maquinado y a la preparación de muestras para el HRTEM, pues en lugar de un haz de electrones, el HRTEM utiliza un haz de iones de Galio. Estos iones son miles de veces más pesados que los electrones, por tanto, al ser focalizados en una muestra determinada, desgastan el material pudiendo cortar, seccionar o pulir pequeñas porciones de él. El HRTEM fue adquirido recientemente y se ha explorado su uso para visualización y análisis químico de materiales a nivel atómico. Su utilidad en investigación de materiales es enorme, ya que permite obtener una resolución máxima de apenas algunas decenas de picómetros.

Un factor crítico que puede definir si la muestra podrá observarse o analizarse es su preparación previa. Las muestras que se introducen en estos equipos deben cumplir varios requisitos, entre los más importantes son su tamaño, su contenido de humedad y su conductividad. El tamaño de la muestra depende del tamaño de los portaobjetos o portamuestras y del tipo de microscopio a emplear.

Generalmente, una muestra a observar en el FESEM es que debe medir máximo 5 mm de ancho y largo, mientras que de altura puede medir desde 0.1 hasta 10 mm. Sin embargo, las medidas deben ser exactas y reportadas al técnico microscopista para que haga los ajustes necesarios. En cuanto a contenido de humedad, las muestras deben ser deshidratadas en su totalidad. Si se trata de una muestra biológica, ésta debe fijarse antes para mantener la integridad de algunos de los componentes macromoleculares de las células, y así evitar la pérdida de fidelidad de la estructura durante la desecación. La conductividad es muy importante al momento de seleccionar las condiciones de observación en el microscopio, sobre todo el voltaje. Además, si es una muestra de semiconductores o aislante, hay que tomar medidas adicionales al finalizar la desecación del espécimen, como es el recubrimiento con partículas de un metal conductor como el oro o la plata.

Para que un académico del Instituto de Ingeniería, así como sus estudiantes, puedan tener acceso a estas herramientas, sólo necesitan solicitar una cita al correo [ddeloscobosv@iingen.unam.mx](mailto:ddeloscobosv@iingen.unam.mx) y traer toda la información que consideren pertinente sobre sus muestras, así como el proyecto al cual están asociadas. De esta manera se les puede asesorar sobre la preparación del material, los cuidados que deben tener al momento de manipularlo, el tipo de microscopía que mejores resultados pueda darles, así como la interpretación de sus resultados para enriquecer su investigación. |

---

## Referencias

- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. M., Buckley, D. H. y Stahl, D. A. (2015). Brock. Biología de los Microorganismos. Ed. Pearson. 14a. edición.
- Flegler, S. L., Heckman, J. W. Jr., Klomparens, K. L. (1993). Scanning and Transmission Electron Microscopy. An Introduction. 225 páginas. Ed. W. H. Freeman and Company, New York.
- <http://www.iim.unam.mx/index.php/investigacion/2014-09-07-15-49-45/lume>

# DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL COPA LLEN A NACIONAL (CÁLCULO ÓPTIMO DE PARÁMETROS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LLUVIA EN APLICACIONES NACIONALES) PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR SISTEMAS SCALL COMO PRINCIPAL MÉTODO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO

ALMA CHÁVEZ MEJÍA

El agua de lluvia es una alternativa para el suministro de agua potable de la población, especialmente en regiones donde la cobertura en el servicio de abastecimiento es baja y que por su situación geográfica y la dispersión poblacional se dificulta la implementación de métodos convencionales de distribución. El Plan Nacional Hídrico vigente plantea incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas y rurales privilegiando a la población vulnerable, además de promover el suministro de agua de calidad para uso y consumo humano mediante el aprovechamiento de nuevas fuentes de abastecimiento, incluyendo el uso de fuentes de agua alternativas como la cosecha de lluvia. En el mismo sentido, los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son considerados como una fuente mejorada de abastecimiento de agua (OMS y UNICEF 2000).

La instalación de los SCALL a nivel nacional se ha llevado a cabo a través de diversas instituciones públicas (CONAGUA, IMTA, SAGARPA), privadas (CHOICE, ISLA URBANA, ROTOPLAS) y asociaciones civiles (Fondo para la Paz, Fundación Gonzalo Rio Arriente, Ingenieros Sin Fronteras, Fundación Alstom). Los estados que se han visto más beneficiados con estos sistemas son Aguascalientes, BCS, Chihuahua, CDMX, Coahuila, Durango, Edo. de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz, San Luis Potosí, Querétaro, Campeche, Sonora, Tamaulipas y

Zacatecas. Estos sistemas fueron instalados principalmente para uso agropecuario y consumo doméstico, además han sido aprobados para el uso industrial (Samano *et. al.*, 2016). Sin embargo, un problema que enfrentan dichas instalaciones, es la falta de guías y reglamentación para implementar los lineamientos de diseño, construcción, instalación, desempeño y operación. Esto hace imposible conocer el estado que guarda cada uno de los sistemas así como el estado del arte de éstos a nivel nacional, lo que limita conocer por un lado el uso responsable de fondos públicos (y privados) y por otro los fundamentos de diseño que puedan ser aplicados a las condiciones locales para garantizar su óptimo funcionamiento. Ante esto, se desarrolló una herramienta informática automatizada que genera los parámetros de diseño e información auxiliar necesaria para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia acoplados a un sistema de potabilización a partir de la integración de variables geográficas, climatológicas y económicas propias del lugar para sustentar, de forma técnico-científica, la viabilidad de los sistemas de captación derivados del *software* denominado *COPA LlenA Nacional, Cálculo Óptimo de Parámetros para el Aprovechamiento de Lluvia en Aplicaciones Nacionales*.

## Desarrollo del Modelo computacional

Existe *software* de diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, por ejemplo Netuno Brasil (UFSC 2014), Water Harvester EUA (Jones 2008), PluGriSost España (Gabarrell, *et. al.* 2010), y Tankulator Australia (ATA 2010), sin embargo, alguno de ellos tienen la desventaja de aceptar sólo datos climatológicos locales del país de origen y otros requieren que el usuario provea sus propios datos climatológicos. Además, la mayoría de estos *software* tienen como objetivo reducir los costos asociados con el uso de agua de una red centralizada y no el de crear un sistema de captación como fuente única o principal de abastecimiento como se requiere en la problemática estudiada.

Aunque en México existe una metodología de cálculo oficial para obras de captación superficiales, ésta requiere que el usuario tenga conocimientos de ingeniería y obtenga los datos de precipitación pertinentes por sus propios medios, lo que limita su aplicación (CONAGUA 2015) y muchas veces lleva al fracaso del sistema.

El *software* generado, *COPA LlenA Nacional*, contiene un algoritmo propio que toma en cuenta las particularidades del país, dicho *software* considera elementos de entrada como el

Figura 1. Parámetros de entrada para el diseño del sistema SCALL

número de habitantes de una vivienda (aspectos socio-económicos), nivel de servicio deseado (consumo per cápita de agua al día), capacidad del tanque de almacenamiento (según recursos y/o espacio disponible), tipo de material del techo y área de captación (según recursos y/o espacio disponible) los cuales están sujetos a la probabilidad de ocurrencia de lluvia en el área geográfica donde se proyecte la instalación del SCALL (ver figura 1). Con dichos parámetros el sistema desarrolla una estimación confiable del área de captación y el volumen de almacenamiento requerido bajo dos criterios: a) personalizado (con limitantes en las variables utilizadas) o b) ideal para su localidad (sin ninguna restricción de las variables). De manera paralela, el sistema crea una simulación de la cantidad de agua disponible durante el año que permitirá visualizar el funcionamiento del SCALL para decidir sobre su viabilidad y el costo de construcción (ver figura 2). Adicionalmente, el *software* cuenta con un dispositivo para seleccionar tres opciones de barreras múltiples para su potabilización y un manual del usuario para garantizar la operatividad del sistema SCALL.

La herramienta final fue diseñada usando el lenguaje R y su complemento ShinyStudio, que son OpenSource, significa que no requieren *software* propietario y son gratis para usar. La decisión para usar ese tipo de plataforma fue para hacer más transferible el uso del *software* y se pueda usar en cualquier computadora. Además, así se puede poner en línea para usarse



Figura 2. Diseño propuesto con especificación de área de captación y volumen de la cisterna

con contraseña o libremente dependiendo de las decisiones del grupo de investigación. Al mismo tiempo, también se decidió incluir el análisis completo en la entrega de datos final para el proyecto. Eso significa que todos los datos de precipitación para toda la república fueron procesados y los resultados están en un formato accesible para su uso en el programa. Finalmente, se hizo un algoritmo que calcula el uso diario para un sistema diseñado por el usuario. En general, una de las razones más importantes por la que los SCALL fallan es porque hay una brecha entre la cantidad de agua que los usuarios piensan que van a recibir y la cantidad que en realidad reciben. Por esa razón, se incluyó una visualización de uso diario que muestra la cantidad por persona que deben usar para asegurar que hay agua suficiente durante todo el año.

## Conclusiones

La herramienta desarrollada permitirá a los usuarios (tomadores de decisiones, ONG, sector público y privado así como la población en general) decidir con parámetros propios del sitio, la conveniencia de adoptar estos sistemas como único método de abastecimiento, como un sistema complementario o en definitiva no optar por ellos.

El uso del *software* impactará de forma directa sobre la planeación de sistemas de potabilización y permitirá ampliar la cobertura de abastecimiento de agua potable en toda la

República Mexicana, con especial atención a las zonas de difícil acceso y bajos recursos. Los resultados del modelo desarrollado permitirán el análisis del aprovechamiento del excedente que precipita en usos agrícolas, forestales y recreativos para fomentar su implementación. Con la aplicación de este sistema es factible medir el impacto social a nivel nacional por el aprovechamiento del agua de lluvia.

El desarrollo de un *software* amigable cuya operación pueda llevarse a cabo por personas que no tengan conocimiento en ingeniería de diseño y que contenga los datos necesarios sin importar la región del país, simplificará el diseño, reducirá tiempo de cálculo y hará accesible el diseño de captación acorde a las necesidades específicas del sitio.

Es de vital importancia contar con una herramienta de fácil acceso al usuario que permita el desarrollo de un prototipo tanto para la captación de agua de lluvia como para su potabilización, que pueda ser implementado fácilmente en cualquier zona del país.

### Agradecimientos

Este proyecto estuvo financiado por el fondo del Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 6335. *Aseguramiento de la cantidad y calidad del agua almacenada en proyectos de captación de agua de lluvia en México.*

### Contacto

Dra. Alma Chávez Mejía

[AChavezM@iingen.unam.mx](mailto:AChavezM@iingen.unam.mx)

### Referencias

- Alternative Technology Association (ATA). 2010. The Tankulator. The Victorian Government Sustainability Fund. <<http://tankulator.ata.org.au/questionnaire.php>>
- CONAGUA. 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). CONAGUA.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2011. Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. CONAPO.
- Gabarrell, X.; Morales-Pinzón, T.; Rieradevall, J.; Rovira, M. R.; Villalba, G.; Josa, A. y Martínez-Gasol, C. 2010. PluGriSost®: a model for design, economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting in urban systems. *Sostenipra*. <<http://icta.uab.cat/ecotech/jornada/fitxers/plugrisost.pdf>>
- Jones, Matthew. 2008. Rainwater Harvester 1.5. North Carolina State University (NCSU), Biological and Agricultural Engineering (BAE) Stormwater Engineering Group. <<http://www.bae.ncsu.edu/topic/waterharvesting/model.html>>
- Organización Mundial de Salud (OMS) y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 2000. Evaluación Global de los Servicios de Agua y Saneamiento 2000. Programa Conjunto de Monitoreo para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento.
- Sámamo-Romero G, Mautner M, Chavez-Mejía A., Jiménez-Cisneros B. (2016) Assessing Marginalized Communities in Mexico for Implementation of Rainwater Catchment Systems. *Water*;8,140; DOI:10.3390/w8040140.
- Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2014. Netuno. Laboratorio de Eficiencia Energética en Edificaciones, Brasil. <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>

REDES SOCIALES DEL IIUNAM

-  <https://www.facebook.com/InstitutoIngenieriaUNAM>
-  <https://twitter.com/IIUNAM>
-  <https://www.youtube.com/user/IINGENUNAM>
-  <https://www.linkedin.com/company/instituto-de-ingenier-a-de-la-unam>
-  <https://www.instagram.com/iunam>
-  <https://plus.google.com/102848256908461141106>



## INFLUENCIA DE LA SAL PRECURSORA DE NANO-CATALIZADORES DE PLATINO SOPORTADOS EN NANO-BARRAS DE CERIA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR REFORMADO CATALÍTICO DE METANOL

ROSA MARÍA RAMÍREZ ZAMORA<sup>1\*</sup>,  
ARTURO CLAUDIO PIEDRAS<sup>1</sup>,  
BRENDA ALCÁNTAR VÁZQUEZ<sup>1</sup>,  
A. GUTIÉRREZ MARTÍNEZ<sup>2\*</sup>,  
RAÚL PÉREZ HERNÁNDEZ<sup>2</sup>

Los combustibles fósiles son nuestra principal fuente de energía, pero tienen un gran impacto negativo en la salud y en el ambiente. Con el agotamiento de estos combustibles fósiles

debido a la creciente demanda de energía, a los costos altamente fluctuantes de los combustibles derivados del petróleo y a las repercusiones ambientales y de seguridad energética, se ha impulsado la investigación de fuentes alternativas de energía renovable. Desde el punto de vista energético y ambiental, el hidrógeno es la fuente de energía ideal porque puede transformarse en calor y energía mecánica o eléctrica. Actualmente, se ha considerado a los alcoholes (principalmente metanol, etanol, glicerol, n-butanol) como principales portadores de hidrógeno. El metanol ha sido ampliamente estudiado en los últimos años debido a las ventajas que presenta: es líquido a temperatura ambiente, tiene una alta relación H/C y baja propensión a la formación de hollín, por lo que puede ser empleado en celdas de combustible para aplicaciones estacionarias y de transporte. El reformado de metanol (SRM) está emergiendo como una alternativa prometedora para la producción de hidrógeno debido a los casi nulos efectos al ambiente, por lo que se llevaron a cabo una gran variedad de estudios sobre la mejora de catalizadores. Varios autores han determinado que cada paso en el proceso de síntesis del catalizador, puede afectar las propiedades catalíticas, es decir, catalizadores similares preparados por distintos métodos tienen diferentes propiedades físico-químicas y catalíticas, siendo los catalizadores a

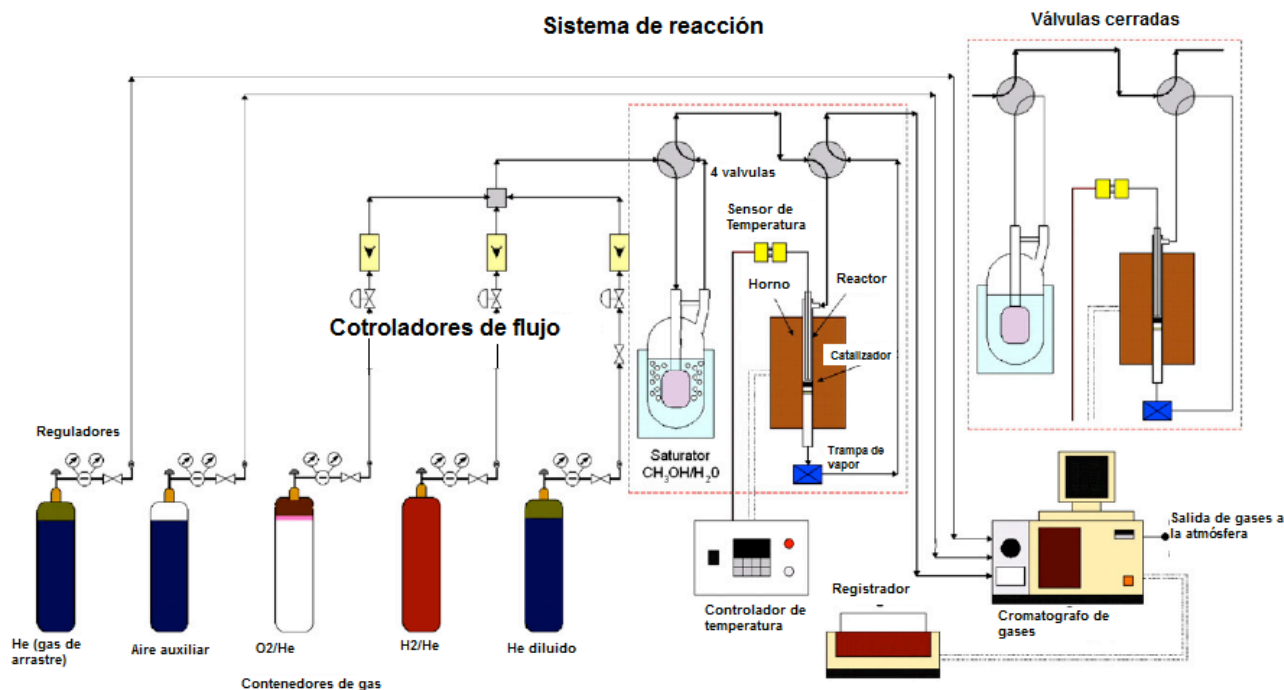


Figura 1. Diagrama del sistema de reacción catalítica de metanol

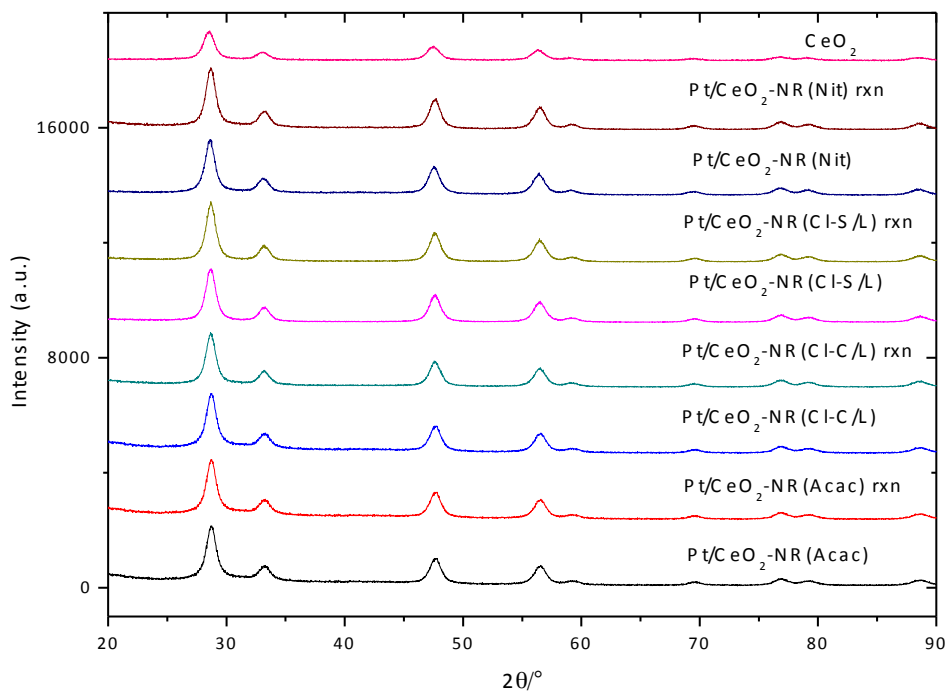


Figura 2. Patrones de difracción XRD del  $\text{CeO}_2$ -NR puro y de los nano-catalizadores de Pt/ $\text{CeO}_2$ -NR(X) antes y después de reacción (rxn)

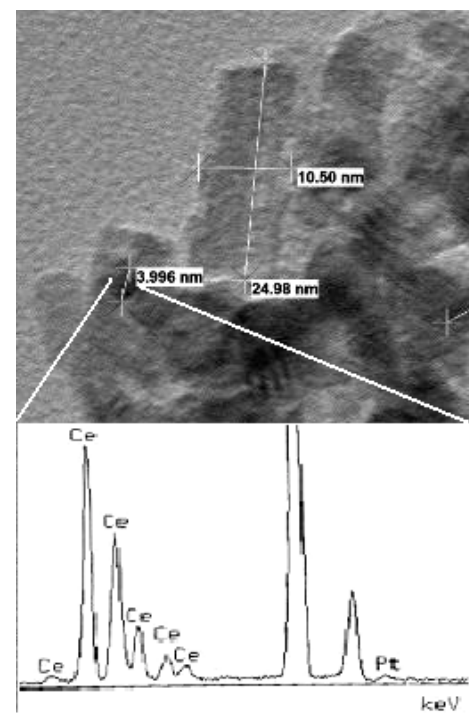


Figura 3. Imagen STEM del nano-catalizador de Pt/ $\text{CeO}_2$ -(Nit) con espectro EDS

base de cobre y los de los grupos 8-10 (Pd, Pt y Ni) los que presentan mejores rendimientos. Aunado a esto, se han empleado diferentes soportes entre los que destacan:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ZnO,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{CeO}_2$ . De estos soportes, la ceria ( $\text{CeO}_2$ ) ha llamado mucho la atención debido a que tiene la capacidad de almacenar y liberar oxígeno por lo que son extremadamente reducibles, además requieren una energía de activación, lo que la hace muy atractiva para procesos de producción de hidrógeno. Por una parte, estudios realizados sobre este tema revelan que las nano-estructuras de óxido de cerio mejoran la conversión de metanol debido a su alta reactividad. Dentro de los principales resultados se observó que los diferentes planos expuestos por las estructuras (partículas, cubos, octaedros, barras y alambres) tienen distintas reactividades, destacando las estructuras unidimensionales (1D), las cuales exponen planos que son mucho más reactivos para la oxidación del CO. Por otra parte, existen pocos estudios centrados en evaluar las propiedades de los catalizadores sintetizados a partir de diferentes precursores, concluyendo que la sal precursora

empleada en la síntesis también puede afectar el rendimiento catalítico.

Por ese motivo, el grupo de Procesos fisicoquímicos para el tratamiento de agua y aire del IIUNAM ha estudiado el efecto de las sales precursoras de Pt en las propiedades de nano-catalizadores Pt/ $\text{CeO}_2$ -NR para la producción de hidrógeno por la reacción de reformado de metanol con vapor. En ese estudio, se sintetizaron y evaluaron nano-catalizadores de Pt soportados en  $\text{CeO}_2$ -NR ( $\text{CeO}_2$ -nano-barras) en la reacción de reformado de metanol con vapor (SRM) para la producción de hidrógeno. Se investigó el efecto del precursor de Pt sobre la eficiencia de estos materiales, empleando sales de nitrato de tetraaminplatino ( $\text{Pt}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2$ ), acetilacetato de platino ( $\text{CH}_3\text{-COCHCO-CH}_3$ )<sub>2</sub>Pt y ácido hexacloroplatínico ( $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) con (L) y sin lavado (S/L) empleando el dispositivo experimental mostrado en la figura 1. Los nano-catalizadores se caracterizaron mediante las técnicas de Adsorción-Desorción de  $\text{N}_2$  (BET), microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X (DRX), reducción de temperatura

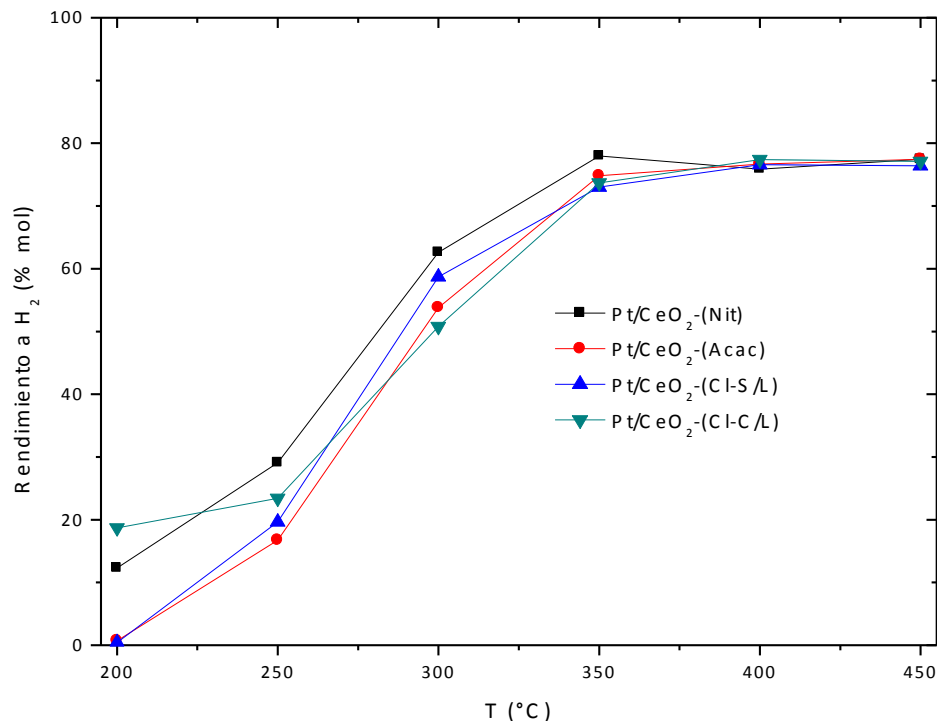
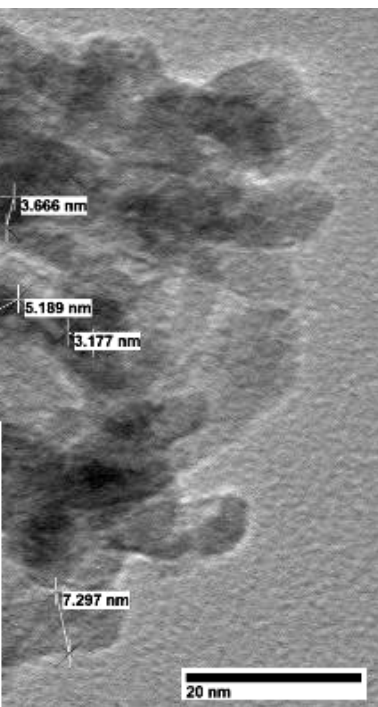


Figura 4. Rendimiento de producción de H<sub>2</sub> por el proceso de reformado catalítico de metanol utilizando los nano-catalizadores sintetizados de Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(x)

programada (TPR) y microscopía de transmisión electrónica de barrido (STEM-HAADF).

Los resultados de DRX ilustrado en la figura 2 para los nano-catalizadores Pt/CeO<sub>2</sub>-NR muestran un difractograma típico de un material cristalino, asociado a la estructura cúbica de la fluorita para el CeO<sub>2</sub>; sin embargo, esta técnica no permitió identificar al Pt debido a su límite de detección. Los datos del análisis de TPR mostraron que los catalizadores Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Nit) y Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Acac) se reducen a una temperatura significativamente más baja respecto a la del Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Cl), lo cual significa menor energía requerida. Los resultados de STEM-HAADF (figura 3), mostraron partículas del orden de 1 nm en la superficie de los CeO<sub>2</sub>-NR. El orden de actividad y selectividad en la reacción de SRM que ilustra la figura 4 fue: Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Nit) > Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Acac) > Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Cl-S/L) > Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Cl-C/L). Por una parte, el mejor rendimiento observado en el catalizador de Pt/CeO<sub>2</sub>-NR(Nit) se asoció a una distribución más homogénea de las nano-partículas de Pt. Por último, el menor rendimiento de los catalizadores sintetizados

a partir de la sal que contiene cloro, se asoció a la formación de especies oxi-cloradas de Pt<sub>x</sub>O<sub>y</sub>Cl<sub>z</sub>, las cuales posiblemente afectaron el rendimiento y la selectividad de estos catalizadores en la reacción de SRM. |

## Contactos

Dra. Rosa María Ramírez Zamora

[RRamirezZ@iingen.unam.mx](mailto:RRamirezZ@iingen.unam.mx)

Dr. Raúl Pérez Hernández

[raul.perez@inin.gob.mx](mailto:raul.perez@inin.gob.mx)

## Referencias:

1. Instituto de Ingeniería, Avenida Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán C.P. 04510, Cd. Mx., México.
2. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carr. México-Toluca. S/N. La Marquesa, Ocoyoacac, Edo. de México, 52750, México.



# DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA LA FABRICACIÓN DE MATERIALES AGREGADOS RECICLADOS (AR) CON BASE EN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

La generación y manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial son uno de los problemas ambientales de la sociedad actual. La gran producción de basuras domésticas, restos de mobiliario, residuos de construcción y demolición, así como desmontes de terrenos y jardines, obliga a establecer servicios especiales de recolección, almacenamiento y tratamiento de dichos residuos, sin embargo, muchos de ellos se siguen vertiendo a ríos, lagunas, lagos y a sus riberas; se acumulan en terrenos baldíos, banquetas, barrancas, tiraderos a cielo abierto y vertederos, los cuales producen un serio impacto sobre el paisaje, el suelo y la calidad del aire.

En 2011 partiendo de las necesidades del proyecto titulado *Diagnóstico preliminar para un plan de manejo de residuos sólidos en el parque Ecológico Tuzantepetl, Veracruz* (proyecto elaborado para el Instituto de Biología-PEMEX) y con el apoyo de un grupo multidisciplinario en el cual participó el Dr. David Morillón, entre otros investigadores, tomó fuerza la línea de investigación *Valorización y desarrollo de materiales a partir de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*, la cual tiene dos objetivos: el primero, dar valor agregado a residuos generados en diferentes edificaciones e industrias, dándoles un manejo apropiado cambiando el término de residuo por materia prima, para que sean utilizados nuevamente, y el segundo, desarrollar técnicas menos perjudiciales para el ambiente, mediante el aprovechamiento de la materia prima.

Esta línea de investigación se divide en tres ejes principales: 1) Caracterización de materiales, diseño de mezclas y manufactura, 2) diseño y manufactura de máquinas moldeadoras de ladrillos y 3) diseño y manufactura de un secador solar a pequeña escala para adobes, ladrillos y bloques. A continuación, se describen los avances en cada eje.

## 1) Caracterización de materiales, diseño de mezclas y manufactura

El primer eje de investigación está enfocado a la valorización y aprovechamiento de los materiales de excavación y residuos de construcción que se generen en cualquier edificación. Se han probado materiales de excavación y residuos de construcción provenientes de Puebla, Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo y Morelos, y mezclas de algunos de éstos con excelentes resultados y se continua con el desarrollo experimental, con el fin de integrar el uso de diversos materiales como residuos de tala, aserrín, cartón, residuos provenientes de la industria nopalera, papelera, azucarera y plásticos; por lo que se puede decir que esta tecnología puede tener una cobertura muy amplia dirigida al campo de la construcción sostenible.

En el año 2015 se generaron en la República Mexicana 12 millones de toneladas (t/año) de residuos de construcción (RC), sólo en la Ciudad de México se generan 7,000 t/día de RC sin considerar los generados por fenómenos naturales. Actualmente sólo se reciclan 1,000 t/día.

Paralelamente, la demanda de ladrillos en México es de aproximadamente 280 millones de piezas por Estado, lo que acarrea graves problemas ambientales, entre ellos el de la explotación y consumo desenfrenado de bancos de materiales vírgenes.

Por lo que, si se toma en cuenta las cifras anteriormente mencionadas se puede ver que se tiene un potencial de materia prima que podría ser disponible para el sector ladrillero.



Como productos de este eje de investigación se solicitó una patente en 2014, la cual se refiere a eco-ladrillos. Pueden ser fabricados a partir de residuos de excavación (arcilla), residuos de construcción triturados de granulometría (3/8 y 1/4”) a finos sólo cementantes, residuos de tala (producto del corte de árboles y ramas) y una mezcla líquida entre agua y mucílago de nopal. El eco-ladrillo puede ser utilizado en la construcción de muros interiores y en construcciones exteriores usando como recubrimiento un acabado convencional.



Los eco-ladrillos pueden ser empleados como sustitutos de ladrillos fabricados con materiales de primer uso, en muros divisorios, bardas, pretilos y parapetos, sólo por mencionar algunos. Al igual que se hace en los muros de ladrillos convencionales el estructurista puede decidir si es necesario incluir elementos de refuerzo como castillos y cadenas alrededor de los muros. Otros beneficios de esta tecnología es cumplir con el proyecto de norma ambiental PROY-NADF-007-RNAT-2013, que establece la obligación de reciclar los residuos generados en la obra en la Ciudad de México, también, cumplir con la norma NMX-AA-164-SCFI-2013 que establece los requerimientos de las Edificaciones Sustentables en cuanto a minimización, reutilización y/o reciclaje de los residuos generados desde la planeación de la obra.

Otras de las ventajas es la eliminación de emisiones al ser ladrillos que no requieren cocción, la disminución de la explotación de bancos de material virgen, el coste de adquisición y su transporte. Además, determinar la forma y tamaño de los ladrillos de acuerdo con las necesidades y ser un excelente aislante térmico, motivo por el cual se reducen las demandas de energía.

Estudios más recientes han llevado a la fabricación de Recobloques y bloques-AR, ambos incluyen en sus mezclas agregados reciclados (AR). Antes de la manufactura se realizan pruebas preliminares al material de excavación ya que el comportamiento de algunas características físicas del suelo es fundamental para las mezclas. También se llevan a cabo pruebas físicas, químicas y mineralógicas para los residuos de construcción y pruebas de erosión e intemperismo.

Los resultados muestran que los eco-ladrillos, Recobloques y bloques-AR cumplen con lo que se solicita en las normas mexicanas: NMX-C-038-ONNCCE-2004 para determinar las dimensiones de los ladrillos, NMX-036-ONNCCE-2004 para resistencia a la compresión, NMX-037-ONNCCE-2005 para la absorción de agua máxima inicial, NMX-C-441-ONNCCE-2013 para uso no estructural y NMX-C-404-ONNCCE-2005 para uso estructural. A nivel internacional, los Recobloques elaborados con la mezcla de suelos y mucílago de nopal cumplen con la resistencia mínima establecida en Brasil, Colombia, España, Francia y Kenia.

Cabe destacar que se ha firmado un convenio de colaboración entre la UNAM y la Universidad de Aconcagua de Chile, para unir esfuerzos con el Ingeniero Constructor Luciano Montiel Reyes, con el fin de desarrollar nuevos proyectos que se puedan patentar como el *Diseño y construcción de un prototipo*

de un Sistema de Bloques Trabables o Plug and Play, empleando residuos de construcción y plásticos para construir una estructura monolítica aplicable en la industria de la edificación.

El objetivo es obtener un diseño innovador de vanguardia que, al utilizarlo como material de construcción, libre de aglomerantes, genere un nuevo desarrollo tecnológico que ayude a dar respuesta sustentable a las necesidades de auto construcción y a la industria de la edificación tanto en México como en Chile. Además, con esta tecnología se da una respuesta constructiva rápida ante eventos inesperados.

Otras actividades de intercambio académico se han tenido con el Dr. José Manuel Gómez Soberón del Departamento de Arquitectura Tecnológica de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Dos alumnas de ingeniería ambiental y uno de ingeniería civil han realizado una estancia de investigación en dicha Universidad y como resultado se tiene la publicación de un artículo en la revista *Appl. Sci.* 2017, 7(10).

Es importante señalar que se ha formalizado el primer intercambio académico apoyado por el programa de Movilidad Académica Internacional de la Secretaría Técnica de Intercambio Académico de la Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.

Por último, en colaboración con la Dra. Mabel Vaca Mier de la UAM-Azcapotzalco, se están utilizando los agregados reciclados (AR) sólo cementantes para encapsular suelos ya tratados que estuvieron contaminados con metales.

## 2) Diseño y manufactura de máquinas moldeadoras de ladrillos

El segundo eje de investigación está enfocado al diseño, básicamente a la generación de planos para la manufactura de máquinas moldeadoras de ladrillos.

Al respecto, en 2015 se solicitó la segunda patente la cual se refiere a una máquina moldeadora de ladrillos que se fabricó con materiales provenientes de residuos de la construcción, actualmente se está desarrollando una ladrillera multifuncional empleando materiales más resistentes y convencionales apoyada por el Ing. David Santoyo del Laboratorio de Diseño Mecánico y Manufactura Avanzada del Instituto de Ingeniería.

## 3) Diseño y manufactura de un desecador solar a pequeña escala para adobes, ladrillos y bloques

En México existen más de 17 mil productores artesanales que usan 8,000 hornos rudimentarios de baja eficiencia para cocer ladrillos de arcilla, sin posibilidades de control de emisiones, lo

que genera gases peligrosos y afecta gravemente al ambiente ya que el cocido de cada lote tarda varios días (INECC, 2018).

Lo anterior motiva la implementación de tecnologías avanzadas y menos contaminantes como aprovechar la radiación solar para acelerar la disminución del contenido de agua presente en ladrillos, lo cual representa una ventaja ambiental ya que reduciría a cero la gran cantidad de emisiones a la atmósfera que arroja un horno típico que se emplea en el sector ladrillero, mejoraría la calidad de vida de los ladrilleros y de las comunidades adyacentes a las plantas de producción, especialmente en zonas con alta concentración de ladrilleras.

Como producto de este eje se ha diseñado, construido y puesto en marcha un desecador solar (de primera, segunda y tercera generación) a pequeña escala para adobes, ladrillos y bloques; para este proyecto se buscó la colaboración del Mtro. Felipe Muñoz Gutiérrez del Instituto de Ingeniería y de la Universidad de Cottbus Alemania. Con esta Universidad se realizó un primer intercambio académico en el que el alumno Sathya Rajan Karuppasamy Vasurajan (Masters Environmental & Resource Management de la BTU) estuvo en México realizando su tesis *Use of construction materials from waste*.

En esta línea de investigación han realizado su servicio social más de una docena de alumnos provenientes de diferentes carreras entre las que se encuentran arquitectos, ingenieros civiles, industriales, químicos, biólogos y administradores. Se han titulado alumnos tanto de licenciatura como de maestría y se encuentran en desarrollo una tesis de licenciatura y tres de maestría. Se han presentado trabajos en tres congresos tanto en México como en el extranjero con el apoyo del Dr. Morillón y cinco artículos en revistas indexadas tanto nacionales como internacionales. Además de participar activamente en los talleres que organiza el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) del sector ladrillero artesanal en México. Si desea mayor información sobre esta línea de Investigación favor de comunicarse con

[MRojasV@iingen.unam.mx](mailto:MRojasV@iingen.unam.mx) |



## PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU) SIMÓN GONZÁLEZ MARTÍNEZ

En algunos países europeos, desde hace más de 25 años, separan los residuos orgánicos de la basura doméstica del resto con el fin de utilizarlos de alguna manera para obtener un beneficio de este procesamiento. Esto se debe, principalmente, a la problemática asociada con el manejo de residuos sólidos urbanos y la búsqueda para disponer de ellos de una manera ambientalmente adecuada, de preferencia para obtener algún otro beneficio adicional. La situación se ve radicalmente modificada cuando, en 1998, la mayor parte de los países firma el Protocolo de Kioto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Posteriormente, en 2008, la Unión Europea publica la *Directiva Europea de Vertido de Residuos* que contempla, entre otras cosas, el control de la producción de gases efecto invernadero cuando los residuos son confinados en rellenos sanitarios. De esta problemática se mencionan, específicamente, las emisiones de metano y dióxido de carbono como las principales por sus volúmenes generados.

Para ese entonces ya muchos rellenos sanitarios estaban controlados por medio de cubiertas de geomembranas para coleccionar el biogás y comercializarlo como gas natural después de su purificación y así evitar la salida del metano a la atmós-

fera. La mayor parte de estos sistemas controlados producen energía eléctrica por combustión de metano, ya que por las distancias de entrega es más fácil comercializar la energía eléctrica que el metano como gas natural. Otras instalaciones se fueron construyendo específicamente para producir metano por medio de la digestión anaerobia a partir de residuos orgánicos urbanos.

Se reporta que, a partir de 2009, cuando se realizó el primer censo de plantas productoras de biogás en Europa, el número se incrementó de 6,227 a 17,662 instalaciones en 2017. De éstas, la mayor parte de las plantas que producen biogás a partir de sustratos agrícolas aumentaron de 4,797 en 2009 a 12,496 en 2016. En número de instalaciones, le siguen las que procesan: lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (2,838), residuos de rellenos sanitarios (1,604) y otros tipos de sustratos (688) (EBA, 2017).

A pesar de que la tendencia de construcción de nuevas plantas en Europa ha disminuido, la capacidad instalada continúa en aumento al incrementar la capacidad de las plantas existentes y el tamaño de las nuevas; la producción de biometano se incrementó de 752 GWh en 2011 a 17,264 GWh en 2016. Solamente en 2016 la producción de biometano en Europa incrementó en 4,971 GWh (+40 %) (Figura 1). El crecimiento en el sector es fácilmente reconocible. Los países con el mayor crecimiento en producción de biometano en 2016 fueron: Alemania con +900 GWh, Francia con +133 GWh y Suecia con +78 GWh. Aproximadamente el 65 % de la producción proviene de sustratos agrícolas y el restante de residuos orgánicos municipales, industriales y agropecuarios de diferentes tipos (EBA, 2017).

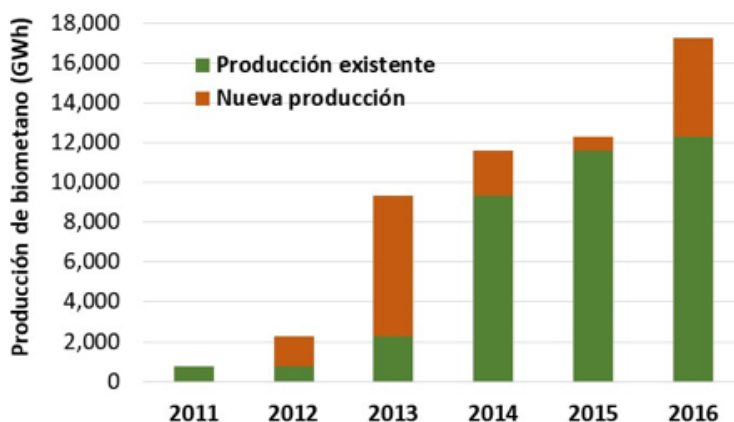


Figura 1. Evolución de la producción de biometano en Europa (EBA, 2017)

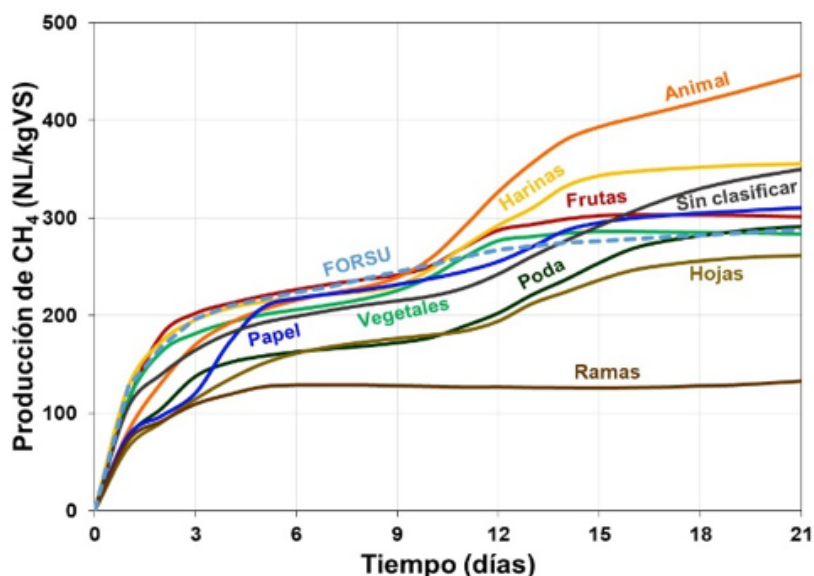


Figura 2. Producción de biogás a partir de las fracciones separadas de la FORSU de la Ciudad de México.

Estas consideraciones son importantes cuando la necesidad de disponer y procesar millones de toneladas de residuos orgánicos urbanos y la importante influencia de la *Directiva Europea de Vertido de Residuos* prohíbe cualquier instalación que produzca metano que pueda ser liberado a la atmósfera.

La producción de biometano a partir de biogás, que es una mezcla de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), a partir de cultivos energéticos se ha convertido en un negocio rentable que ha sido estrictamente regulado en Europa, porque es necesario controlar la dedicación del suelo y evitar la competencia con la producción de alimentos. En cambio, la producción de biometano a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) no es negocio debido a los costos asociados con su recolección, manejo y preparación antes de la fermentación. Sin embargo, ha tenido éxito debido a la asociación del manejo ambientalmente adecuado de los residuos urbanos, cuyos costos son cubiertos por los usuarios por medio de cuotas mensuales que son cobrados por los gobiernos municipales, con la producción de biometano y venta de metano y los productos de la digestión de FORSU.

De esta manera, el productor de biometano a partir de FORSU no conlleva los costos asociados con el manejo ambiental de los residuos, pero participa activamente en la protección ambiental, cuya legislación prohíbe el confinamiento de residuos orgánicos en rellenos sanitarios para evitar la producción de

gases efecto invernadero y permitir la conversión de los residuos en sustancias reciclables como mejorador de suelos (por ejemplo, composta). El balance de costos se compensa con las cuotas que paga la población por manejo de residuos sólidos, el valor de venta del biometano (como electricidad, calor o gas natural) con la venta de la composta como mejorador de suelos o del denominado *digestato* para posterior producción de energía por incineración.

En México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93 % y se disponen en sitios de disposición final 78.54 %, reciclando únicamente el 9.63 % de los residuos generados (SEMARNAT, 2017).

La Ciudad de México produce 12,843 t/d de residuos sólidos urbanos con una producción per cápita que varía entre 0.85 y 2.42 kg/d dependiendo de la zona en la que se produzcan. De este volumen, un 47.7 % son de origen domiciliario, 15.4 % proviene de comercios y 13.6 % del sector de servicios. Aproximadamente el 53 % son residuos orgánicos (FORSU) (SEMARNAT, 2017).

En el grupo de investigación se están llevando a cabo varios proyectos relacionados con la producción de biometano (biogás) a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU). El origen de estas investigaciones data de hace aproximadamente diez años cuando el Gobierno de la Ciudad de México, a través del entonces existente Instituto de Ciencia



y Tecnología de la Ciudad de México (actualmente Secretaría de Ciencia y Tecnología), solicita apoyo para contribuir en la mejora del sistema de manejo de residuos sólidos de la Ciudad de México. Una de las propuestas del Instituto de Ingeniería fue el manejo de la FORSU para producir biogás y posteriormente darle al material fermentado una salida como mejorador de suelos. Desde entonces se llevan a cabo investigaciones en diversos aspectos de la producción de biogás a partir de FORSU como una de las formas más adecuadas de aprovechamiento, al considerarla una materia prima y no como un desecho.

Las investigaciones se inician con la caracterización de la FORSU considerando que provienen de dos fuentes principales: a) residuos domésticos provenientes de alimentos, y b) residuos de poda de jardines. Debido a que estos residuos se encuentran mezclados no es posible contemplar su procesamiento por separado. Su análisis se basa en caracterizarlos de manera tradicional como residuos sólidos, y también como material orgánico proveniente de restos de alimentos. De los resultados de la caracterización de FORSU y de la separación de las fracciones identificables se obtiene el biogás y, a partir del biogás, el metano (Figura 2).

Se han realizado diversos proyectos para mejorar la producción de metano por medio de tratamientos previos a la fermentación metanogénica de FORSU como son: 1) efectos de la temperatura sobre la producción de biogás, 2) efectos de la adición de sustancias ácidas y básicas, 3) efectos del tamaño

de las partículas, 4) uso de enzimas especializadas, 5) separación de compuestos solubles de insolubles, 6) características de los digestatos y su relación con la producción de biogás, 7) efectos de la dilución para reducir efectos inhibitorios por productos formados, 8) contenido de sustancias lignocelulósicas y producción de biogás, 9) mecanismos de diferentes tipos de inhibiciones y producción de biogás, 10) diferencias entre recalcitrancia e inhibición de los procesos bioquímicos. Cada uno de estos proyectos es realizado por estudiantes del Posgrado en Ingeniería Ambiental que es parte del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM; las investigaciones experimentales se llevan a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería. |

## Contacto

Dr. Simón González Martínez

[sgm@pumas.iingen.unam.mx](mailto:sgm@pumas.iingen.unam.mx)

## Referencias

EBA. European Biogas Association Statistical Report 2017. <http://european-biogas.eu/2017/12/14/eba-statistical-report-2017-published-soon/>. Consultado el 5 de octubre de 2018.

SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Fecha de publicación 10 de enero de 2017. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>. Consultado el 5 de octubre de 2018.

UNAM  
**Global**

A un clic de  
la información

**¡Consúltala!**

Comunicación para la era digital.  
Noticias, innovación y vida cotidiana.  
De la Universidad y del mundo.

<http://www.unamglobal.unam.mx>



## INGENIEROS DE LA UNAM/UT AUSTIN RECIBEN BECA COLABORATIVA DE CONTEX

Los Doctores Sergio Alcocer y Juan Murcia-Delso fueron seleccionados para recibir una beca colaborativa de investigación de ConTex. Esta beca les permitirá evaluar la forma en la que se comportaron, durante el sismo de 2017, las estructuras que fueron reforzadas después del temblor de 1985.

Murcia-Delso, actualmente profesor en la Universidad de Texas en Austin, junto con Sergio Alcocer y David Murià-Vila, ambos del IIUNAM, decidieron utilizar sus conocimientos en estructuras de concreto, ingeniería de sismos, simulación por computadora, rehabilitación de estructuras y monitoreo de condiciones estructurales para ayudar a reducir la vulnerabilidad de los edificios en la Ciudad de México y mejorar la capacidad de respuesta frente a los desastres naturales.

Alcocer recordó que la mañana del 19 de septiembre de 1985 estaba resolviendo un examen final de planeación en la Universidad cuando percibió el temblor; pero no se percató en ese momento de la magnitud de lo sucedido. Sin embargo, al darse cuenta de la tragedia provocada por el sismo, cambió la pasión que sentía por la hidráulica por la del campo de las estructuras. Sergio Alcocer siempre ha tenido participación activa en este tipo de eventos, en 1985 siendo estudiante se unió a los grupos de auxilio a los damnificados y en 2017 como profesional colaboró en la evaluación de las condiciones de seguridad de los edificios impactados por el temblor.

El 19 de septiembre de 1985, ese mismo día al otro lado del mundo, en España, Juan Murcia-Delso era apenas un estudiante de primaria. Ni él ni Sergio imaginaban que 32 años después, justo en el aniversario del sismo de 1985, otro temblor sacudiría nuevamente a la Ciudad de México y que comenzaría así su colaboración. Sergio Alcocer y Murcia se conocían desde antes del sismo de 2017, pero este evento los motivó a trabajar juntos. Como parte de su investigación, se hará un inventario de los edificios de concreto reforzados y no reforzados previos a 1985; se elaborará una base de datos para valorar la eficacia de las medidas de reforzamiento de las estructuras, realizando una evaluación detallada del comportamiento de las estructuras de concreto reforzadas, y se documentarán trabajos



actuales de reforzamiento en edificios de concreto en México y Estados Unidos. Si bien es cierto que las características de las estructuras que se van a estudiar son específicas de la Ciudad de México, en particular el tipo de suelo en el que se construyen, los resultados de la investigación deben beneficiar a otras comunidades, incluidas zonas con riesgos sísmicos menores como el Estado de Texas. La evaluación del desempeño de los métodos existentes de reforzamiento estructural, junto con el análisis de las condiciones ambientales y el evento sísmico en sí mismo, deben contribuir a generar datos que ayuden a determinar oportunidades y desafíos para futuros eventos.

Para Murcia-Delso después del sismo de 2017 el papel de la sociedad a través de las redes sociales, para organizarse, fue impresionante. En lo personal –comenta Murcia–, como ingeniero siento la obligación de apoyar esa respuesta de la sociedad. Como investigador; uno de los objetivos del proyecto es evaluar los edificios que fueron reparados y reforzados después del sismo de 1985 para comprobar que esos arreglos funcionaron. En muchos casos, sí lo hicieron.

Para finalizar, Sergio Alcocer dijo que están muy agradecidos por el financiamiento de ConTex, ya que es oportuno y permite fortalecer nuestro compromiso como ingenieros civiles para proveer un servicio a la comunidad que eventualmente generará una sociedad más segura y sustentable –concluyó–.

MGT. Rodrigo Arturo Cárdenas y Espinosa  
RCardenasE@iingen.unam.mx  
M en I. Margarita Moctezuma Riubí  
mmr@pumas.ii.unam.mx

**PATENTE MX 346670**

## Proceso y sistema para la identificación y cuantificación de huevos de helmintos en muestras

Otorgada por el Instituto Mexicano  
de la Propiedad Industrial (IMPI)  
el 5 de diciembre de 2013



UNIDAD  
DE PATENTES  
Y TRANSFERENCIA  
DE TECNOLOGÍA

### Inventores:

Blanca Elena Jiménez Cisneros, Fernando Arámbula Cosío, Catalina Maya Rendón,  
Francisco José Torner Morales, Gustavo Adolfo Rodrigo Velásquez Rodríguez,  
Emilia Soledad Lucario y Jessica Damaris Pérez Sánchez.

La presente invención se refiere a un proceso y sistema para la identificación y cuantificación automática de huevos de helmintos a partir de imágenes de microscopía procesadas en el laboratorio. Constituye una alternativa confiable y objetiva del conteo de este tipo de parásitos en muestras de agua residual y una aplicación inmediata en múltiples estudios ambientales, facilitando el trabajo en el análisis y llevando este beneficio a instalaciones de monitoreo ambiental que no cuentan con un experto en el proceso de cuantificación.

El reúso de agua residual en la agricultura es una práctica extendida cuyos beneficios son múltiples, tales como: ahorro de volúmenes importantes de agua de primer uso, reducción en costo de producción agrícola al emplear menos fertilizantes artificiales y disminución de contaminación de cuerpos de agua superficiales (como ríos, presas y lagos) ya que evita que se viertan volúmenes significativos de agua residual sin tratar, incrementando notablemente el rendimiento de los cultivos (por ejemplo maíz, alfalfa, etc.). Sin embargo, también representa un riesgo a la salud principalmente por el contenido de diferentes organismos patógenos como es el caso de los helmintos, parásitos conocidos comúnmente como lombrices o gusanos intestinales, los cuales constituyen el origen de diversos riesgos a la salud asociados al deficiente servicio de saneamiento. Los helmintos se transmiten a través de huevos (etapa infectiva del ciclo de vida) y su riesgo está vinculado a su baja dosis infectiva (1 huevo), a su persistencia en el medio ambiente (incluso de varios años) y a su alta resistencia a procesos de inactivación (como cloro, UV, ozono, entre otros). Las helmintiasis (enfermedad ocasionada por los helmintos) es endémica de África, Latinoamérica y Este de Asia; siendo diarrea, desnutrición y anemia las principales afectaciones a la salud. Se estima que alrededor

del mundo cerca de 2,600 millones de personas están infectadas; especialmente niños entre 5 y 15 años de edad.

Desde 1989, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció los huevos de helmintos como el parámetro ambiental crítico para asegurar un adecuado saneamiento ya que representa uno de los problemas que enfrenta gran parte de las regiones de bajos recursos a nivel mundial, así como las guías y lineamientos que limitan su contenido en agua residual para reúso. A pesar de ello, y aunque existen diversas técnicas y metodologías para la determinación, identificación y cuantificación de los huevos de helmintos, éstas requieren de la observación directa en microscopio por personal altamente especializado, lo que ocasiona resultados subjetivos y errores potenciales. Debido a lo anterior, es necesario contar con técnicas analíticas mejoradas o nuevas, especialmente en lo que refiere a las etapas de identificación y cuantificación.

En respuesta a tal problemática, a partir de los avances en el procesamiento digital de imágenes y de patrones de reconocimiento, un grupo de académicos bajo la dirección de la Dra. Blanca Jiménez Cisneros lograron implementar un sistema mismo que quedó registrado en la patente MX 346670 "PROCESO Y SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE HUEVOS DE HELMINTOS EN MUESTRAS", a través del cual se pueden detectar y clasificar de manera confiable objetos de interés. Una vez capturadas las imágenes de las diferentes especies de huevos en un archivo bibliográfico de más de 700 fotos, éstas son procesadas para obtener sus características principales, mismas que son comparadas con la base de datos de entrenamiento. Finalmente, por medio de una verificación estadística y, si el objeto cumple con ésta, la imagen es etiquetada y se contabiliza a la especie correspondiente de forma automática, lo que representa un avance importante en este campo de la ciencia.

# Distinciones del personal académico



## Premio Nacional de Ciencias en el Campo de Tecnología, Investigación y Diseño

Tenemos el agrado de comunicarles que el pasado 29 de octubre el Dr. Ricardo Chicurel Uziel, investigador del Instituto de Ingeniería, recibió el Premio Nacional de Ciencias en el Campo de Tecnología, Investigación y Diseño 2018 por sus contribuciones en el área de mecánica teórica y aplicada, por la formación de grupos de investigación y tecnólogos, así como por el registro de patentes y su transferencia al sector industrial fundamental para el desarrollo del país.

El Premio que otorga la SEP lo recibió de manos del señor presidente Enrique Peña Nieto en una ceremonia que tuvo lugar en Los Pinos.

¡Enhorabuena!



## Proyecto de Desarrollo de Tecnologías de Energía Sustentable

Felicidades a Héctor Aviña, Germán Carmona y a Luis Álvarez Icaza, académicos del IIUNAM, por haber recibido el Premio PRODETES (categoría oro) edición 2018 que organiza la Secretaría de Energía en colaboración con el Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

El Premio PRODETES acepta propuestas para desarrollar proyectos que impulsen la innovación tecnológica en los campos de generación, almacenamiento, transmisión y consumo de energías limpias y en eficiencia energética, todo ello para mitigar impactos del cambio climático.

Los proyectos ganadores, tres en categoría oro, dos en plata y una en bronce, fueron seleccionados de un total de 78 propuestas evaluadas por un Comité Técnico y otro de Aprobación de Inversiones.



## Premio Enrique Arntsen

Isaura Yáñez Noguez, académica del IIUNAM obtuvo el Premio Enrique Arntsen que otorga la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) al mejor trabajo técnico oral en la Categoría Agua Potable.

El trabajo que presentó Isaura llevó por título Cinética de desinfección con cloro y ozono para inactivar las formas resistentes de *vibrio cholerae* en agua. Autores: Yáñez Noguez Isaura, Orta Ledesma Ma. Teresa, Atengueño Reyes Karina, Pérez Cenobio David y Luna Hernández Anelly Jaqueline.

La entrega tuvo lugar en el marco del XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, el pasado 31 de octubre de 2018 en Guayaquil, Ecuador.



## Premio Gilberto Sotelo Ávila

Nos da un gusto enorme que el Maestro Víctor Franco, investigador del Instituto de Ingeniería, fue galardonado con el Premio Gilberto Sotelo Ávila que la Asociación Mexicana de Hidráulica AC otorga a quienes se han distinguido como docentes en el campo de la ingeniería hidráulica.

El maestro Franco ha impartido clases de Hidráulica desde hace 40 años a estudiantes de la licenciatura en ingeniería civil y de la maestría en hidráulica en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Esta distinción se le entregó dentro del marco del XXV Congreso Nacional de Hidráulica.

¡A todos ellos felicidades!

## DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El Dr. Óscar Fuentes Mariles, investigador del Instituto de Ingeniería, impartió la conferencia Distribución de agua potable en la Ciudad de México, en el Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth.

Óscar Fuentes dijo que uno de los principales problemas en la Ciudad de México es la distribución del agua, actividad a cargo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, esta dependencia enfrenta problemas económicos y políticos, además del cierre de algunos pozos y la suspensión de la continuación del acuaférico. Afirmó que uno de los principales retos es lograr que la distribución del agua sea más equitativa, para ello, se tendría que dividir la red en cinco redes que deben contar con agua suficiente y tuberías del diámetro adecuado.



Actualmente, el agua que abastece a los habitantes de la CDMX viene del Sistema Cutzamala, otra parte del Lerma y la mayor parte de los pozos donde se extrae agua de los acuíferos. Un acuífero se recarga a partir de la lluvia que ocurre en zonas donde el terreno es permeable. Desafortunadamente, en la parte céntrica de la Ciudad de México, predominan las arcillas y eso hace que el agua no llegue hasta la parte profunda donde se encuentran los acuíferos. Por otra parte, el crecimiento urbano es otro impedimento para la recarga del acuífero al disminuir las zonas propicias para la infiltración del agua.

Según algunos especialistas la CDMX está dividida en: la zona norte, la zona centro y la zona de Texcoco. Las zonas con mayor escasez de agua son Iztapalapa e Iztacalco.

Para lograr una mejor distribución se requiere de conducir una cantidad suficiente de agua al Oriente de la ciudad y una opción conveniente sería la continuación del acuaférico ya que se podrían disminuir considerablemente los bombeos de agua y contribuir un tanto a la disminución de fugas –concluyó–.



SE INVITA A LA COMUNIDAD DEL  
INSTITUTO DE INGENIERÍA A RECOGER SU

## CALENDARIO 2019

(BECARIOS PORTAR CREDENCIAL)

UNIDAD DE PROMOCIÓN Y COMUNICACIÓN  
EDIFICIO 1, FERNANDO HIRIART BALDERRAMA  
SOLICITAR A GUADALUPE DE GANTE  
HORARIOS: 9:00 A 13:00 Y 17:00 A 19:00 H



## ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE AMBATO VISITAN EL IUNAM

Alumnos de ingeniería civil de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, visitaron la Universidad Nacional Autónoma de México durante tres semanas, con la intención de realizar actividades académicas relacionadas con la investigación y divulgación de proyectos del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

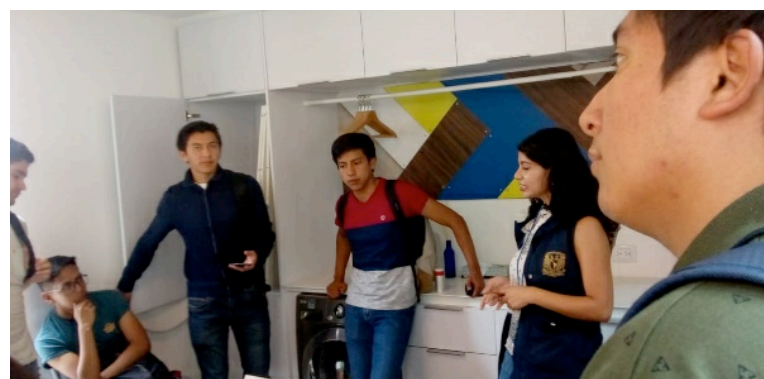
A su llegada, fueron recibidos por Héctor Guerrero Bobadilla, investigador del mencionado instituto, quién brindó una plática de bienvenida. Al finalizar recorrieron las instalaciones del campus central.

Durante su primera semana, los alumnos visitantes asistieron a distintas conferencias, entre las que destacan: *Vigas de acoplamiento a través del uso de concretos reforzados con fibras de acero* por el profesor Gustavo J. Parra-Montesinos de la Universidad de Wisconsin-Madison; *El análisis de ciclo de vida en el Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía* por Julio C. Sacramento Rivero, de la Universidad de Manchester; y los *Sistemas de protección sísmica* por Héctor Guerrero Bobadilla. Además cursaron el *Taller Factual Service-IIUNAM* impartido por Jorge Arturo Reyes Chiquini, Idania Hernández Aburto y Valente Vázquez Tamayo, entre otros.

Los estudiantes de la Universidad de Ambato visitaron dos de los laboratorios del Instituto de Ingeniería: Estructuras y Materiales y el de Instrumentación Sísmica. Conocieron las instalaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), el Túnel de viento del Laboratorio de

Estructuras y Materiales de Alta Tecnología (LemAT), la Torre de Ingeniería y el museo UNIVERSUM.

Dentro del programa de actividades los alumnos participaron en algunos proyectos de investigación y prácticas de laboratorio. |





Alex Enrique Conyers, Salvador Lee Godínez, Javier Castañeda Garay, Luis Leforreta Hernández, Efraín Ovando Shelley, Mario Edgar Maya Navarrete, Eduardo Botero Jaramillo.

## CONVENIO ENTRE EL IIUNAM, LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES DE CAL Y LA UNIVERSIDAD DE TEXAS



El pasado mes de noviembre la Subdirección de Estructuras y Geotecnia del IIUNAM firmó un convenio con la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal y con la Universidad de Texas A&M. Desde hace dos años estas tres instituciones han trabajado de manera conjunta para estudiar el proceso de estabilización química del suelo del antiguo lago de Texcoco mezclándolo con óxido de calcio.

La principal aportación de la investigación consiste básicamente en estudiar el cambio de propiedades mecánicas del suelo de tal manera que éstos puedan tener capacidad de soporte y poder edificar con seguridad a largo plazo. Gracias a estos estudios se logra cambiar drásticamente las propiedades del suelo en cuanto plasticidad, deformabilidad y resistencia al esfuerzo cortante.

Ya en la época prehispánica se usaron morteros de cal, arena y agua en estructuras que han persistido a lo largo de estos años. La cal puede aplicarse de muy diversas maneras y en este

proyecto se propone estudiarla para aplicarla en la solución de problemas geotécnicos para lo cual se harán estudios colaborativos de campo y de laboratorio entre los investigadores de la Universidad de Texas A&M y los de la Coordinación de Geotecnia de nuestro instituto de lo cual se esperan resultados no sólo interesantes sino, sobre todo, útiles. Los estudios iniciales al aplicar esta técnica para el mejoramiento de las propiedades del subsuelo del antiguo lago de Texcoco han sido muy exitosos y demuestran las bondades de este método.

En la firma del convenio estuvieron presentes los Doctores Efraín Ovando Shelley y Eduardo Botero Jaramillo, investigadores del Instituto de Ingeniería, así como el Ing. Mario Edgar Amaya Navarrete, estudiante de doctorado del IIUNAM. También estuvo presente el Ing. Luis Legorreta Hernández, Presidente de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal a quien acompañaron los Ingenieros Francisco Javier Castañeda Garay, Salvador Lee Godínez y el Lic. Alex Enrique Conyers. |



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM

# REUNIÓN INFORMATIVA ANUAL, 2019

23, 24 Y 25 DE ENERO

UNIDAD DE SEMINARIOS DR. IGNACIO CHÁVEZ,  
JARDÍN BOTÁNICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA

23

Subdirección  
de Estructuras y Geotecnia

24

Subdirección  
de Electromecánica

25

Subdirección de Hidráulica  
y Ambiental  
Subdirección de Unidades  
Académicas Foráneas

UNIDAD DE SEMINARIOS  
DR. IGNACIO CHÁVEZ

Informes:  
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez  
lsanudoc@iingen.unam.mx