



# GACETA

# DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM®

NÚMERO 146, ENERO - FEBRERO 2021  
ISSN 1870-347X

Propagación de las  
pérdidas por terremoto  
a través de la economía

Bioteología microalgal  
para la producción de  
biometano y la captura de  $\text{CO}_2$   
de gases de combustión,  
a nivel piloto e industrial

Estudio experimental  
y numérico de mezcladores  
a diferentes regímenes

Biosensores electrónicos  
con dispositivos  
de efecto de campo:  
Fundamentos y aplicaciones

Iniciamos el 2021, año en el que celebraremos el 65 aniversario de creación del Instituto de Ingeniería, UNAM (IIUNAM) con algunos eventos a distancia y la impresión de un calendario que ilustra varios momentos relevantes de la historia del Instituto de Ingeniería y de sus fundadores. También presenta diversas obras de la ingeniería que se construyeron con participación de sus investigadores, que sirven de inspiración a nuestra comunidad para seguir brindando lo mejor en el desarrollo de su labor y de los retos que se presentarán. Los eventos que se realizarán, con motivo de la celebración de nuestro 65 aniversario, serán coordinados por los doctores José Luis Fernández Zayas y Gustavo Ayala Milian. El objetivo es mostrar las principales aportaciones del Instituto en la ingeniería y el impacto que han tenido en el país y en el extranjero. Asimismo, se abordarán los retos que tendremos que afrontar a corto y mediano plazos para seguir aportando en investigación y desarrollo tecnológico.

La pandemia por la COVID-19 ha dejado en el camino a varios miembros de nuestra comunidad; a sus familias, les reiteramos nuestra solidaridad. Sin embargo, el balance de nuestra labor en el 2020 ha sido positivo, considerando los resultados que presenté en mi Primer Informe de Actividades. El aprendizaje y reflexiones que nos dejó el año pasado, así como el desarrollo de vacunas para el control de la pandemia por la COVID-19, permiten vislumbrar un mejor futuro, al que podremos seguir aportando avances en las diversas áreas de la ingeniería que cultivamos, como tradicionalmente lo hemos hecho. Asimismo, es probable que se presenten nuevos retos, pero contamos con más elementos y experiencia para seguir

desarrollando nuestras actividades lo mejor posible, como lo hicimos durante casi un año de la pandemia.

Es de suma importancia el rol que ha tenido y tendrá el Instituto en la Ingeniería para superar la brecha que dejará en el país la COVID-19. En ese contexto, varios grupos de investigación del IIUNAM han realizado esfuerzos muy importantes para desarrollar su labor enfocada a la atención de esta pandemia, como son la fabricación de termómetros infrarrojos para la comunidad de la UNAM, cubrebocas para la Ciudad de México (con financiamiento del Gobierno de la Ciudad de México) y desarrollo de métodos de biología molecular para la detección de los fragmentos genéticos del SARS-COV2 en aguas residuales. También se han realizado trabajos relevantes en el tema de las energías renovables, a través de los Centros Mexicanos en Energía (CEMIE-Oceáno, CEMIE-Bio, CEMIE-Geotermita), aportando avances que contribuirán a disminuir el impacto en la salud que representa el uso de combustibles fósiles; tema que durante y después de la pandemia es de suma importancia atender. De la misma manera, otros grupos de investigación han trabajado en proyectos que contribuyen al avance de las principales obras de ingeniería civil, como es el Tren Maya y el aeropuerto Felipe Ángeles, que tienen como objetivo mejorar la movilidad del país.

Deseando que este año 2021 sea pleno de salud y de muchos éxitos profesionales y personales, les envío un cordial abrazo. |

**Dra. Rosa María Ramírez Zamora**  
Directora

## UNAM

Rector  
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario Administrativo  
Dr. Luis A. Álvarez  
Icaza Longoria

Secretario de Desarrollo Institucional  
Dr. Alberto  
Ken Oyama Nakagawa

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

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 Ambríz 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

Impresión  
Grupo Espinosa

## 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 Hirriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP 04510, Ciudad de México. Tel. 56233615.

## PROPAGACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR TERREMOTO A TRAVÉS DE LA ECONOMÍA

JOSÉ ANTONIO LEÓN Y MARIO ORDAZ

Las pérdidas económicas en la producción causadas por desastres, algunas veces llamadas pérdidas indirectas, pueden ser más grandes que aquellas producidas por el daño físico (GFDRR, 2012). La importancia de tomar en cuenta las pérdidas indirectas en el riesgo es crucial y se hace cada vez más importante a medida que aumenta la complejidad de las cadenas de suministro en la era de la globalización (Rose y Huyck, 2016). Sin embargo, no es fácil dar cuenta de las pérdidas económicas ocasionadas por terremotos con base únicamente en información histórica, dado que estos eventos catastróficos no son frecuentes, la información relevante es escasa y es difícil distinguir entre pérdidas directas e indirectas. Por otro lado, la construcción de modelos para estimar las pérdidas indirectas es considerablemente más complicado, dado que, además de evaluar el daño físico, varios agentes más entran al juego, como la interacción de empresas e industrias en la producción, decisiones públicas y privadas, capacidad de sustitución de insumos, uso eficiente de los recursos disponibles, etc. A pesar de esta dificultad, se ha desarrollado una importante literatura para el estudio de los impactos por desastres (Okuyama y Rose 2019), sin embargo, se ha concentrado casi exclusivamente en el análisis de eventos individuales, sin una apropiada consideración de su frecuencia de ocurrencia. Pero la frecuencia de ocurrencia importa. Claramente, las decisiones y políticas a tomar serían muy diferentes si se conociera que los impactos económicos de un cierto tamaño serán esperados en promedio una vez cada cien años o una vez cada mil años.

En este trabajo, se desarrolla un enfoque probabilista para la estimación de las pérdidas económicas que toma en cuenta que: 1) los eventos naturales, en este caso terremotos, se originan como un proceso estocástico en el tiempo; 2) la frecuencia de ocurrencia de los eventos importa en la cuantificación del riesgo; y 3) existe un vínculo entre el daño físico de los componentes de la economía y la reducción del *stock* de capital.

La propuesta inicia con un modelo de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés) de la economía, especificado como un sistema interregional completamente integrado. Este modelo describe las interacciones económicas entre regiones y sectores industriales, y está en equilibrio

bajo ciertos niveles de *inputs*, *outputs* y precios. Al ocurrir un terremoto se producen daños físicos (pérdidas directas) en los componentes económicos asociados con el *stock* de capital disponible (por ejemplo, edificios, fábricas, infraestructura) de la parte afectada de la región; estas pérdidas son estimadas con técnicas convencionales del riesgo sísmico. Las pérdidas directas, por su parte, producen reducciones parciales en algunos de los *inputs* del modelo CGE, llamados *stocks* de capital regional-sectorial, los cuales, logran un nuevo equilibrio después de ajustes adecuados, alcanzando así, nuevos niveles de *outputs* y precios. El resultado es tal que, la ocurrencia de un terremoto produce pérdidas directas más otro tipo de pérdidas indirectas que resultan de la propagación de las reducciones de los factores primarios de producción disponibles a través de la economía descrita por el modelo CGE. Así, como en el caso de riesgo sísmico convencional, el análisis se repite para un extenso conjunto de temblores con frecuencia de ocurrencia conocida, el cual, colectivamente describe la amenaza sísmica de la región bajo estudio. El resultado obtenido para cada uno de los terremotos permite calcular varias métricas probabilísticas, pero, con la ventaja de que ahora se incluye, también, el efecto de las pérdidas indirectas.

Este trabajo constituye el primer esfuerzo para unir, de manera sistemática, el modelo probabilista de riesgo sísmico y la modelación económica CGE, siendo ambos, modelos robustos muy utilizados en sus respectivos campos de estudio. Los modelos CGE se usan ampliamente para analizar y simular gran variedad de impactos dentro de la economía, por ejemplo, políticas económicas, impuestos, crisis financieras, ataques terroristas, desastres naturales, etc.

El enfoque de modelado es totalmente probabilístico del lado de la ocurrencia de temblores, pero, por ahora, es determinista del lado de la modelación económica CGE. Se asume que el daño físico produce una reducción proporcional en el valor del *stock* de capital de los componentes golpeados por el temblor. Lo anterior, inicialmente causa una reducción directa en la producción que se propaga dentro de la economía siguiendo las relaciones de interconexión dictadas por el modelo CGE.

Además de abordar la estimación de las pérdidas monetarias indirectas, la propuesta planteada nos brinda un mejor y más claro panorama de las posibles consecuencias de la ocurrencia de terremotos en un contexto económico completo. Como se ve en los resultados, la riqueza del modelado CGE permite llevar a cabo estimaciones de riesgo respecto a múltiples variables económicas, tales como empleo, producto interno bruto (PIB), producto regional bruto (PRB), salarios, ingresos arancelarios, inflación, volúmenes de exportación,

entre otros. Por otro lado, la versatilidad y capacidad de sustitución de insumos del modelo CGE, permite observar y capturar ciertos efectos económicos positivos en algunos sectores económicos y regiones.

En esta investigación, hemos mostrado cómo el modelo CGE y el modelo probabilista de riesgo sísmico son capaces de trabajar conjuntamente, permitiendo un robusto y sistemático vistazo de las consecuencias de las perturbaciones de terremotos dentro de toda una economía. Los nuevos indicadores de riesgo presentados por primera vez en esta investigación son útiles y están pensadas como un complemento a los indicadores usuales de riesgo por daño físico.

## Resultados

La nueva metodología que hemos desarrollado se aplica al estudio de Chile, país que es frecuentemente afectado por grandes terremotos. Chile tiene, por un lado, una economía considerada como una de las más dinámicas de Latinoamérica; por el otro, con notables disparidades regionales, características que lo convierten en un lugar ideal para ejemplificar nuestro enfoque. La Tabla 1 muestra las regiones y sectores económicos utilizados. Para el caso de estudio se consideraron un total de

44 350 temblores simulados. La Figura 1a muestra las curvas de excedencia de pérdidas (LEC, por sus siglas en inglés) directas y de producción obtenidas para Chile. La LEC para pérdidas directas es una métrica común utilizada en el mundo del riesgo sísmico; sin embargo, la LEC para pérdidas de producción se introduce por primera vez en esta investigación. En este estudio, las pérdidas directas sólo están referidas a las edificaciones no residenciales de Chile.

En Chile, la pérdida anual esperada (AAL por sus siglas en inglés) de producción se estimó en 583 millones de dólares, esto es 0.132% de la producción anual total del país, mientras que la AAL de pérdidas directas fue de 302 millones de dólares, 0.29% de valor total de las edificaciones no residenciales. La Figura 1b muestra la AAL de pérdidas de producción por sector económico de Chile como porcentaje de su valor total (gris) y como una fracción (al millar) de su producción total sectorial (naranja). La Figura 2 presenta la AAL por región del país para ambos tipos de pérdida, junto con un indicador del nivel de amenaza sísmica, expresada en términos de la aceleración máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés), asociada a un período de retorno de 475 años. Las Figuras 2b y d muestran que la distribución regional de la AAL de las pérdidas directas de Chile es similar a la distribución regional

Cód.	Nombre de la región	Cód.	Nombre de la región
R1	Región de Arica and Parinacota	S1	Agrario - silvícola y pesca.
R2	Región de Tarapacá	S2	Minería
R3	Región de Antofagasta	S3	Industria manufacturera
R4	Región de Atacama	S6	Electricidad, gas y gestión de residuos
R5	Región de Coquimbo	S5	Construcción
R6	Región de Valparaíso	S6	Comercio, hoteles y restaurantes
R7	Región Metropolitana de Santiago	S7	Transporte, comunicaciones y servicios de información
R8	Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	S8	Intermediación financiera
R9	Región de Maule	S9	Bienes raíces y servicios inmobiliarios
R10	Región de Biobío	S10	Servicios de negocios
R11	Región de La Araucanía	S11	Servicios personales
R12	Región de Los Ríos	S12	Administración pública
R13	Región de Los Lagos		
R14	Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo		
R15	Región de Magallanes and Chilean Antarctic		

# COORDINACIÓN DE INGENIERÍA SISMOLÓGICA

de la AAL de pérdidas de producción. Por el contrario, los indicadores de riesgo regional respecto a pérdidas directas no son proporcionales a sus correspondientes indicadores de pérdida de producción, como se puede observar en las Figuras 2c y e. Esto claramente demuestra la importancia de tomar en cuenta las pérdidas económicas de orden superior, ya que, mientras que puede haber regiones físicamente más afectadas por la amenaza sísmica, existen otras regiones que experimentan los más grandes impactos en términos de pérdidas de producción. Las Figuras 2f y g, además, presentan los efectos positivos regionales que se pueden observar en Chile por la ocurrencia de sismos en términos de la ganancia anual esperada (AAG) de producción.

## Nuevos indicadores de Riesgo

La Figura 3 presenta los nuevos indicadores de riesgo obtenidos para Chile en función de la AAL a nivel regional, respecto al PIB y al producto regional bruto (PRB), empleo, volumen de exportación e ingresos arancelarios; mientras que las Figuras 4a, b, c y d presentan, respectivamente, para estas mismas variables económicas, los segundos indicadores de riesgo, esta vez utilizando las curvas de excedencia de pérdidas. Adicionalmente, la Figura 3g muestra el cambio promedio anual del índice de precios al consumidor en cada región de Chile, así como la ganancia anual esperada de empleo por región (Figuras 3h e i).

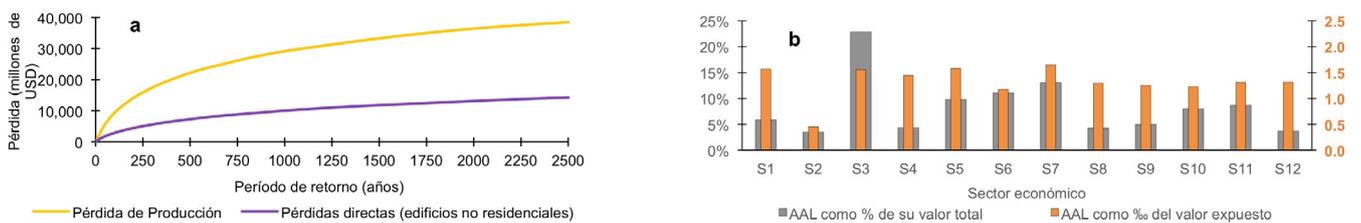


Figura 1. Resultados de riesgo para Chile.

Panel a: curvas de excedencia de pérdidas directas y de producción. Panel b: AAL por sector económico

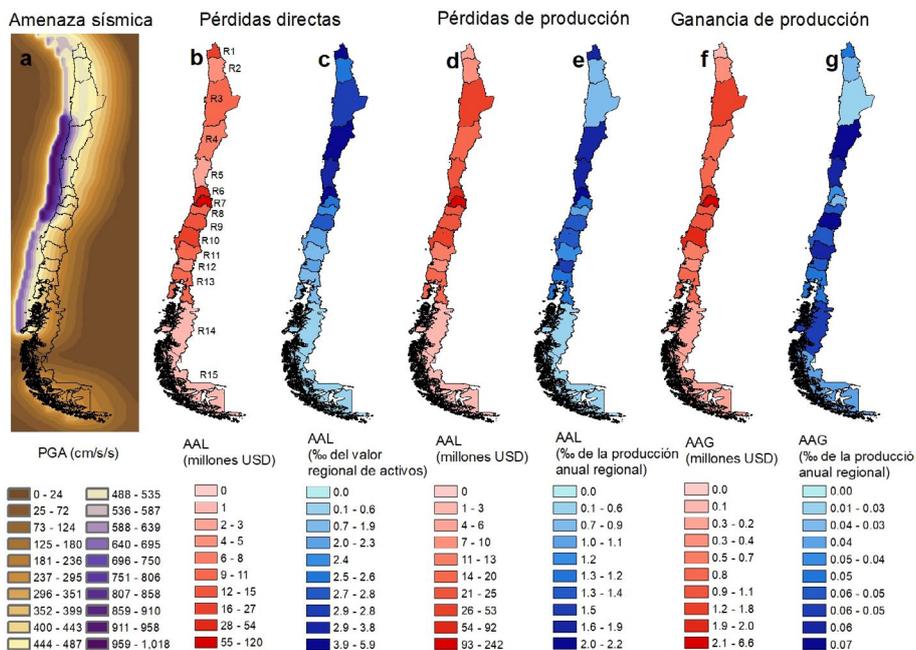


Figura 2. Distribución de la AAL de pérdidas de producción y pérdidas directas por región de Chile

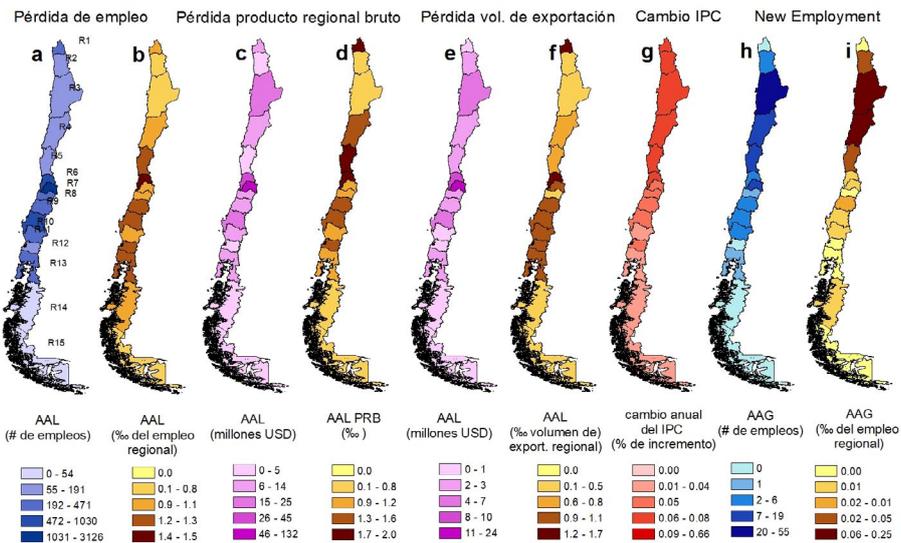


Figura 3. Nuevos indicadores de Riesgo para Chile

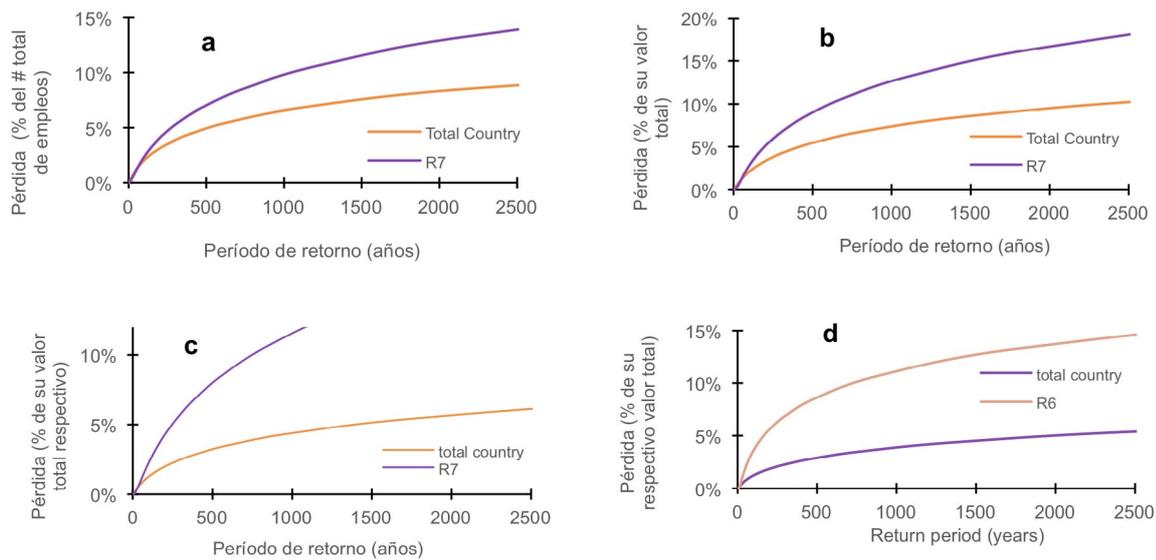


Figura 4. Tasas de excedencias de pérdidas respecto a: a) empleo, b)-curva naranja PIB, b)-curva morada PRB, c) volumen de exportación y d) ingresos arancelarios de Chile

Referencias

- 1.GFDRR (2012). DaLA database.
- 2.Rose, A. y Huyck, C. K. (2016). Improving Catastrophe Modeling for Business Interruption Insurance Needs. Risk Analysis, 36(1), 1896-1915.
- 3.Okuyama, Y. y Rose, A. (2019). Advances in Spatial and Economic Modelling of Disaster Impacts. Switzerland: Springer.

## BIOTECNOLOGÍA MICROALGAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMETANO Y LA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> DE GASES DE COMBUSTIÓN, A NIVEL PILOTO E INDUSTRIAL

ARMANDO GONZÁLEZ SÁNCHEZ

El desarrollo de nuevas fuentes de energía en la sociedad moderna puede representar una fuente de crecimiento económico y de desarrollo humano en la vida cotidiana. Sin embargo, la creciente demanda de energía trae consigo un gran impacto ambiental, debido, entre otras cosas, al uso de grandes recursos naturales no renovables y a las emisiones de contaminantes como son los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Esta problemática ambiental, nos ha llevado a replantear la forma de producir energía, mediante el uso de nuevas materias primas (biocombustibles), cambios tecnológicos (celdas solares) y mitigación de contaminantes (tecnologías de captura de dióxido de carbono, principal componente de los GEI).

En la actualidad, la integración de equipos interdisciplinarios de trabajo es requerida, para buscar producir energía de manera sostenible, eficiente y renovable. En este contexto, la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han impulsado líneas de investigación y desarrollo tecnológico en materia de bioenergía, bajo el proyecto base 247006 CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética 2014-05, denominado “Clúster Biocombustibles Gaseosos”, en el cual, participan centros e institutos de investigación públicos, empresas del sector privado e instituciones de educación superior, incluyendo a la UNAM a través del Instituto de Ingeniería campus CU y Juriquilla, siendo el responsable técnico institucional el Dr. Germán Buitrón Méndez.

En el proyecto base mencionado anteriormente, se incluye el desarrollo de la línea de investigación “Acondicionamiento del Biogás”, de la cual, el Dr. Armando González Sánchez es el responsable académico, además de desempeñarse como líder del grupo “Tratamiento de Emisiones Gaseosas” del Instituto de Ingeniería UNAM, campus CU. Las actividades de investigación y desarrollo tecnológico del grupo se han enfocado en incrementar el valor energético y comercial del biogás (composición típica

promedio: CH<sub>4</sub> 65 – 70% vol, CO<sub>2</sub> 30% vol, H<sub>2</sub>S < 0.3% vol) generado en digestores anaerobios de residuos orgánicos urbanos, por medio de la captura fotosintética del CO<sub>2</sub> presente en el biogás, y la oxidación del H<sub>2</sub>S a sulfato mediante el uso de un consorcio de microalgas y bacterias alcalófilas sulfooxidantes, con el propósito de obtener biometano (biogás con contenido de metano, CH<sub>4</sub> superior a 84% vol. Diario Oficial de la Federación), el cual, puede ser utilizado con los mismos fines energéticos que el gas natural. Entre los principales logros que ha alcanzado el grupo de Tratamiento de Emisiones Gaseosas, a través de esta línea de investigación, destacan el diseño, construcción y operación de un sistema de escala piloto de enriquecimiento (captura de CO<sub>2</sub>) y desulfuración de biogás, con una base biotecnológica microalgal. Los productos tangibles fueron biometano y biomasa microalgal, siendo la comercialización de ésta última la que conferiría factibilidad técnica-económica al proceso de purificación de biogás evaluado.

### Desarrollo tecnológico

La figura 1 muestra el sistema biotecnológico conformado por un fotobiorreactor tipo High Rate Algal Pond (HRAP) interconectado a una columna de absorción (ABC), en ésta se lleva a cabo la remoción de compuestos no energéticos presentes en el biogás como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). En el sistema crecen consorcios alcalófilos de microalgas por la asimilación de CO<sub>2</sub> previamente absorbido en la ABC. Este proceso simultáneamente desulfura el biogás con ayuda de bacterias sulfooxidantes con eficiencias de remoción cercanas a 100% (Franco-Morgado *et al.* 2017; Toro-Huertas *et al.* 2019).

Cuando el biogás es purificado a biometano, este último puede ser empleado como un sustituto del gas natural (Franco-Morgado *et al.* 2020). En el grupo “Tratamiento de Emisiones Gaseosas”, se ha implementado, además, el uso de efluentes residuales acuosos como el digestato (rico en nitrógeno y fósforo) como fuente de nutrientes para soportar el crecimiento microalgal, con la finalidad de bajar costos de operación del proceso de purificación del biogás. La obtención de biometano y su uso como biocombustible es atractivo desde el punto de vista energético, ambiental y de aprovechamiento de residuos orgánicos, con claras ventajas con respecto al uso de gas natural, al ser un combustible renovable producido por la digestión anaeróbica de desechos orgánicos.

Otro proyecto, en esta ocasión patrocinado por la iniciativa privada y que versa en la maduración de la biotecnología microalgal descrita anteriormente, se ha implementado y operado

con éxito a nivel industrial en Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN), que son empresas preocupadas por el medio ambiente que han apostado por la investigación que se realiza en el Instituto de Ingeniería UNAM, específicamente en el grupo de “Tratamiento

de Emisiones Gaseosas” liderado por el Dr. Armando González Sánchez. La figura 2 muestra una foto actual del sistema de escala industrial, empleado para el enriquecimiento (captura de CO<sub>2</sub>) y desulfuración de biogás producido *in situ*. Este sistema se encuentra en operación y evaluación vigentes.

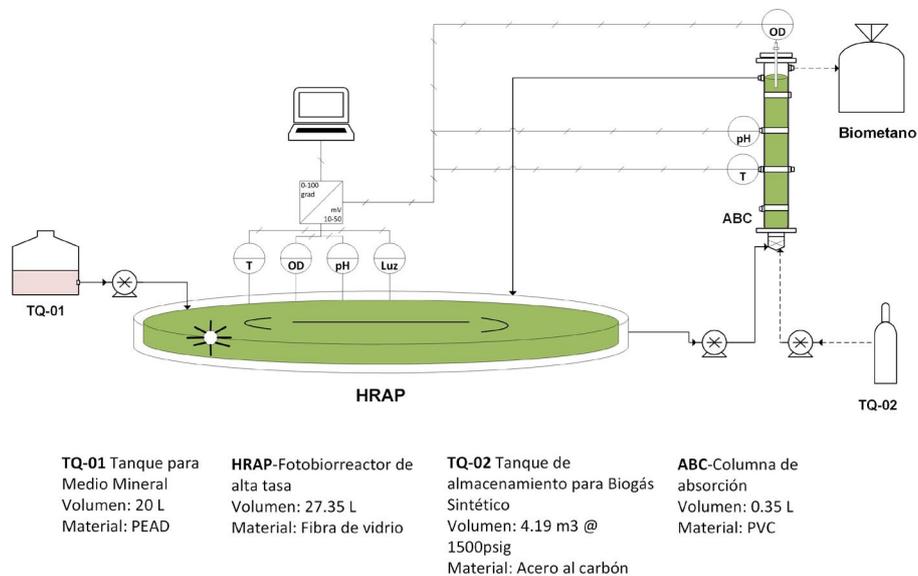


Figura 1. Sistema biotecnológico para el enriquecimiento (captura de CO<sub>2</sub>) y desulfuración de biogás, con una base microalgal. Conformado por un fotobiorreactor tipo High Rate Algal Pond (HRAP) interconectado a una columna de absorción (ABC)



Figura 2. Sistema biotecnológico de escala industrial para el enriquecimiento (captura de CO<sub>2</sub>) y desulfuración de biogás. Con permiso de Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN)

## Escenario actual

En los últimos años, la producción de biometano se ha incrementado a nivel mundial, principalmente, en países como Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Suecia, quienes han establecido desde hace algunos años parte de su desarrollo económico en el uso de energías renovables. No obstante, estos países utilizan mayormente sistemas convencionales basados en procesos fisicoquímicos para obtener biometano a partir de biogás, que tiene altos costos de inversión y mantenimiento. En este sentido, el enriquecimiento de biogás mediante biotecnología microalgal, surgen como una

alternativa sustentable al uso de tecnologías convencionales, por ser procesos que se llevan a cabo en condiciones ambientales, con bajos consumos energéticos para su operación y con menores costos de mantenimiento (Toledo-Cervantes *et al* 2017). Además de que la producción de biomasa microalgal representa una fuente de materia prima importante para la obtención de productos de valor agregado como biocombustible, alimento animal y fertilizante, entre otros; cuya comercialización incrementa la factibilidad económica del proceso.



Figura 3. Prototipo para el tratamiento de gases de combustión (eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ ) de embarcaciones oceánicas de la Secretaría de Marina Armada de México. Con permiso de la SEMAR

## Desarrollo tecnológico para la captura de $\text{CO}_2$ a partir de gas de combustión

Por otra parte, la biotecnología microalgal puede utilizarse también para eliminar contaminantes en aguas residuales y/o gases de combustión (con un contenido de  $\text{CO}_2$  de hasta 15% vol), lo que hace a este tipo de sistemas muy versátiles. En este sentido, el grupo de Investigación de “Tratamiento de Emisiones Gaseosas” en el Instituto de Ingeniería UNAM campus CU, concluyó en 2017 el desarrollo de una tecnología de tratamiento de gases de combustión (eliminación de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$ ) de embarcaciones oceánicas de la Secretaría de

Marina Armada de México, mediante el lavado con agua de mar y la subsecuente fijación del  $\text{CO}_2$  disuelto con asimilación de nutrientes contenidos en el agua residual del barco en microalgas marinas (ver figura 3). El patrocinador del proyecto fue el fondo SEMAR-CONACYT 207151. El desarrollo de esta tecnología pretende contribuir a la mitigación del efecto de cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ), además de precursores de ozono ( $\text{NO}_x$ ) y lluvia ácida ( $\text{SO}_x$ ). El sistema de tratamiento busca la auto-sustentabilidad, evitando contribuir al aumento de la acidez del océano, mediante la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_x$  en biomasa microalgal potencialmente reutilizable.

## Agradecimientos

En el grupo de investigación de tratamiento de emisiones gaseosas, han participado estudiantes de licenciatura y posgrado, así como académicos, entre los que se encuentra los doctores Mariana Franco Morgado, Antonio Velasco Trejo, Daniel de los Cobos Vasconcelos, Juan Manuel Morgan Sagastume; los maestros Arnold Ramírez Rueda, Claudia Granada Moreno, Eliana Toro Huertas y José Abdiel Olmedo Wooder; las biólogas Elisa García Cruz e Ilse Huitrón Rodríguez; los ingenieros Misael Ramírez Lozano, Tania Tabaco Angoa, Miguel

Ángel Ramírez García y Víctor Gabriel Ángeles Flores; así como los pasantes en ingeniería química Mercedes Álvarez Olivares, Beatriz Ángelica Vega Torres, Julio Iván Zamora Pérez, Ángel de Jesús Velázquez Pedroza y Edgar Ortiz Lobato.

Asimismo, se agradece el patrocinio de la Secretaría de Marina Armada de México, Secretaría de Energía, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a las empresas Granos y Servicios Integrales S.A. de C.V. (GSI) y Proteína Animal S.A. de C.V. (PROAN).

## Referencias

- Diario Oficial de la Federación, 2010. NOM-001-SECRE-2010, Especificaciones del gas natural. Última reforma publicada DOF 19-03-2010 18-35.
- Franco-Morgado, M.; Alcántara, C.; Noyola, A.; Muñoz, R. y González-Sánchez, A. (2017) "A study of photosynthetic biogas upgrading based on a high rate algal pond under alkaline conditions: Influence of the illumination regime", Science of The Total Environment. Elsevier B.V., 592, pp. 419-425. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.077.
- Toro-Huertas, E. I.; Franco-Morgado, M.; de los Cobos Vasconcelos, D. y González-Sánchez, A. (2019). Photorespiration in an outdoor alkaline open-photobioreactor used for biogas upgrading. Sci. Total Environ. 667, 613-621. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.374
- Franco-Morgado Mariana; Tabaco-Angoa Tania; Ramírez-García Miguel Ángel y González-Sánchez Armando (2020). Strategies for decreasing the O<sub>2</sub> content in the upgraded biogas purified via microalgae-based technology. J. Environ. Manag. Vol 279, 111813. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111813.
- Toledo-Cervantes, A.; Estrada, J. M.; Lebrero, R. y Muñoz, R. (2017). A comparative analysis of biogas upgrading technologies: Photosynthetic vs physical/chemical processes. Algal Research. Elsevier, 25(May), pp. 237-243. doi: 10.1016/j.algal.2017.05.006.

# NOTIINGEN

## ¿Conoces NOTIINGEN?

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

**Encuétralo cada viernes en nuestras redes sociales**



InstitutoIngenieriaUNAM



IIUNAM



IIUNAM



IIUNAM



IINGENUNAM

## ESTUDIO EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE MEZCLADORES A DIFERENTES RÉGIMENES

MARTÍN SALINAS VÁZQUEZ

Con el fin de estudiar el comportamiento del flujo en mezcladores para mejorar el diseño en una gran gama de aplicaciones, se inició una colaboración entre los Institutos de Ingeniería, Ciencias Aplicadas y Tecnología, Investigaciones Biomédicas, Investigación de Materiales y Facultad de Ingeniería, todas dependencias de la UNAM.

Por parte del Instituto de Ingeniería participan la Coordinación de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales, el equipo de Supercómputo y personal del Laboratorio de Costas y Puertos.

Este tema es de especial interés, pues beneficiará a procesos industriales y al conocimiento científico en diferentes campos de la industria petroquímica, alimenticia, farmacéutica y minera, entre otras.

Desde los inicios de la humanidad, el hombre tuvo necesidad de mezclar en un contenedor, un líquido con algún otro ingrediente (usando un palo para mezclar varias sustancias, para la preparación de alimentos y medicinas). A pesar de que esta actividad se remonta a mucho tiempo atrás, no existen estudios detallados sobre el tema. Sin embargo, hoy día surge la necesidad de comprender mejor el comportamiento del flujo en mezcladores, además de diseñar equipos que permitan optimizar los procesos disminuyendo la energía requerida para su funcionamiento.

Los mezcladores son dispositivos, principalmente, usados para unir dos o más fluidos en una sola sustancia homogénea. Es un equipo esencial en la industria, principalmente química, donde se le llama reactor, éste consiste en un contenedor de metal, vidrio o cerámica; un rotor motorizado con un eje al cual se le han integrado aspas con diferentes configuraciones y geometrías. Dependiendo del proceso industrial, se necesitarán diversos sistemas de medición (temperatura y ph), sistemas de alimentación de las sustancias a mezclar, así como de gases o nutrientes.

Antes de iniciar con el estudio, tuvimos que resolver los siguientes puntos:

- Desarrollo de herramientas numéricas para el estudio numérico de mezcladores multifásicos con superficie libre, en flujos laminar/turbulento y fluidos Newtonianos/no-Newtonianos.

- Diseño de nuevas geometrías de aspas que mejoren el mezclado.
- Estudio reológico de fluidos.
- Diseño y construcción de reactores con geometrías adecuadas para el óptimo mezclado en un proceso industrial dado.
- Diseño de sistemas de enfriamiento que eviten el funcionamiento del equipo en temperaturas que dañen el producto final y de la inyección de gases que algunas veces necesitan algunos procesos industriales.

En este artículo hablaremos de los mezcladores en régimen turbulento con superficie libre, del mezclado multifásico en presencia de un cultivo de microorganismos, así como del estudio numérico experimental del flujo en un mezclador planetario.

### Estudio de mezcladores en régimen turbulento con superficie libre

Estos mezcladores son aquellos que están abiertos a la atmósfera, generalmente, se usan cuando se necesita que el aire circundante ingrese a la mezcla. Este trabajo es parte del doctorado del M. en I. Jorge Ramírez Cruz, quien se enfocó en el estudio numérico de un mezclador con superficie libre [2020, Chemical Engineering Science, Vol. 222]. Para tal motivo, desarrollamos un *software* que permite realizar este estudio. La configuración se muestra en la figura 1, donde se observa que a medida que se incrementa la velocidad del rotor, la superficie libre disminuye su altura alrededor del eje. Este comportamiento, a pesar de ser muy común en la cotidianidad (licuadoras o lavadoras), es un reto por la complejidad de su modelación en cualquier tipo de *software*, ya sea comercial o hecho en casa. Los resultados obtenidos numéricamente son muy similares a los medidos experimentalmente con lo que se comprueba la calidad de las simulaciones realizadas.

Este tipo de mezcladores (de superficie libre), generalmente trabajan en regímenes turbulentos, por lo que el estudio de la formación de estructuras turbulentas y su funcionamiento, es crucial para conocer el comportamiento de este mezclador, ya que de ellas depende la homogeneidad de la sustancia resultante. En la figura 2, se muestran los vórtices generados detrás de las aspas (*trailing vortex*) tras su movimiento, permitiendo conocer sus características generales.

Este trabajo nos ha permitido comprobar la capacidad del *software* desarrollado en la coordinación, para modelar de forma correcta el fenómeno, a partir de validar los resultados obtenidos con datos experimentales.

## Estudio del mezclado multifásico en presencia de un cultivo de microorganismos

Este trabajo es parte del doctorado del M. en I. David Posadas Navarro, desarrollado de manera conjunta con el ICAT, el IIB-UNAM y en el Laboratorio de Costas y Puertos de la Coordinación de Hidráulica del IUNAM, donde se realizaron las mediciones experimentales de un cultivo de levaduras en un reactor con mezclado. El fenómeno se complica enormemente debido a que, las levaduras, son seres vivos, por tanto, necesitan oxígeno para respirar y glucosa para alimentarse.

En el mezclador debemos incrementar la temperatura y cambiar las características reológicas del fluido para que las levaduras se reproduzcan. A partir de lo anterior, se observa que ahora se trata de un estudio multifásico de un fluido no-Newtoniano.

El primer paso fue realizar el estudio experimental de fluidos ideales con diferentes características reológicas (viscosidad principalmente), similares a las que se encuentran en la realidad, con y sin inyección de aire [2020, Industrial & Engineering Chemistry Research, enviado]. Estos fluidos ideales se crearon con la mezcla de alginato de sodio y agua (1g por litro de agua). En la figura 3, se muestra el reactor construido en el ICAT, obsérvese que ahora se tienen tres turbinas en el eje. Igualmente, se probaron tres tipos de aspas, una de ellas diseñada en el ICAT.

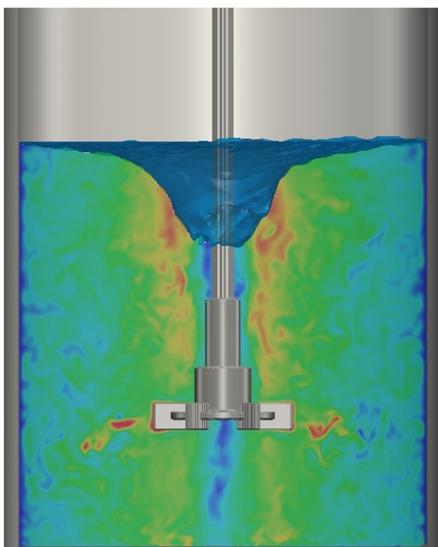


Figura 1. Superficie libre (azul) y contorno de velocidad

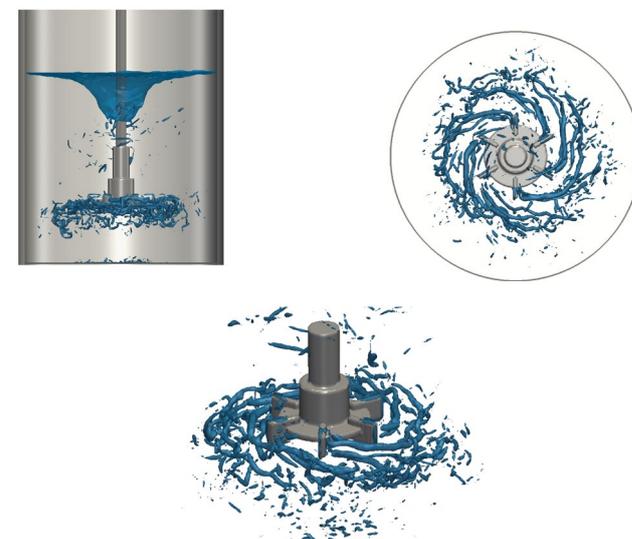


Figura 2. Estructuras Turbulentas generadas por el impulsor del mezclador

En la figura 4 se muestran algunos resultados, donde se observan las zonas de recirculación, de alta intensidad turbulenta y deformaciones para estas nuevas aspas con lo que podemos obtener un diseño óptimo para los cultivos de las levaduras estudiadas.

Actualmente, se está haciendo el estudio numérico bifásico, líquido/gas, con el *software* desarrollado en la coordinación con un modelo multifásico, como un punto intermedio antes de incluir también a los cultivos de levaduras. Cabe mencionar que este tipo de cultivos se utiliza en la generación de antibióticos.

## Estudio numérico experimental del flujo en un mezclador planetario

Finalmente, se desarrolló el estudio numérico experimental [2020, Chemical Engineering Science, enviado] de un fluido laminar en un mezclador planetario. Para este caso, el reactor fue desarrollado y construido en el ICAT, las mediciones fueron realizadas en el IIM-UNAM y la Facultad de Ingeniería. Las simulaciones numéricas se realizaron con el *software* desarrollado en la coordinación.

Los mezcladores planetarios se utilizan para fluidos muy viscosos, en este caso, mieles con una viscosidad que puede ser hasta 2 o 3 mil veces la del agua, cuyos números de Reynolds son muy pequeños (alrededor de la unidad).



Figura 3. Reactor real y su contraparte numérica

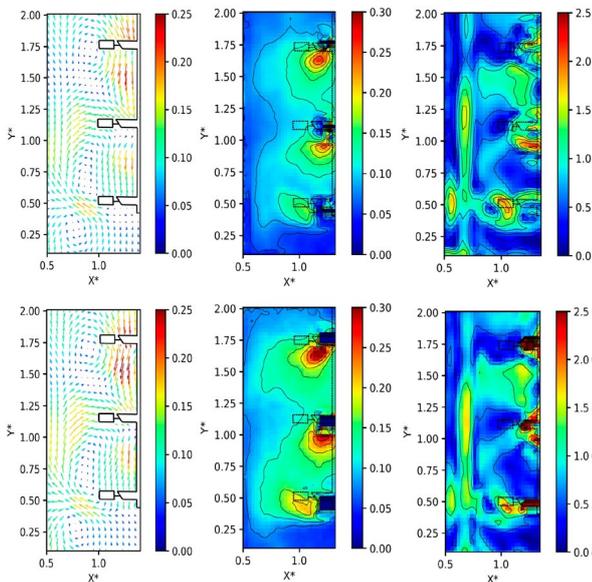


Figura 4. Campos de velocidad, intensidad turbulenta y magnitud de la deformación. Sin (arriba) y con (abajo) inyección de aire

La característica principal de este tipo de mezclado es la generación de un “amasado” muy similar al que se podría crear a mano. El reto de este mezclado recae principalmente en que no se forme ninguna zona muerta donde el fluido no se mueva, por tanto, que no se mezcle, así como disminuir el consumo de energía en el proceso, ya que el movimiento de las aspadas dentro de este fluido viscoso se traducirá en el aumento de la temperatura del fluido debido a la fricción. En la figura 5 se muestra el reactor, tanto físico para las mediciones experimentales, como el modelo digital usado para las simulaciones numéricas.

A partir de este estudio, se puede comprender mejor el comportamiento del flujo, las zonas de bombeo (movimiento vertical que propicia el mezclado), así como estudiar las zonas de alta disipación viscosa que ocasionan zonas de alta temperatura. Todo con el fin de obtener el diseño de un equipo óptimo que será de gran utilidad en la industria química o alimenticia, por ejemplo.

Estos trabajos han sido presentados en congresos internacionales, publicados en revistas, tesis de maestría y doctorado, así como proyectos patrocinados. En resumen, el tema del comportamiento de los flujos en los mezcladores es de mucho interés, pues presenta grandes beneficios para la industria. |

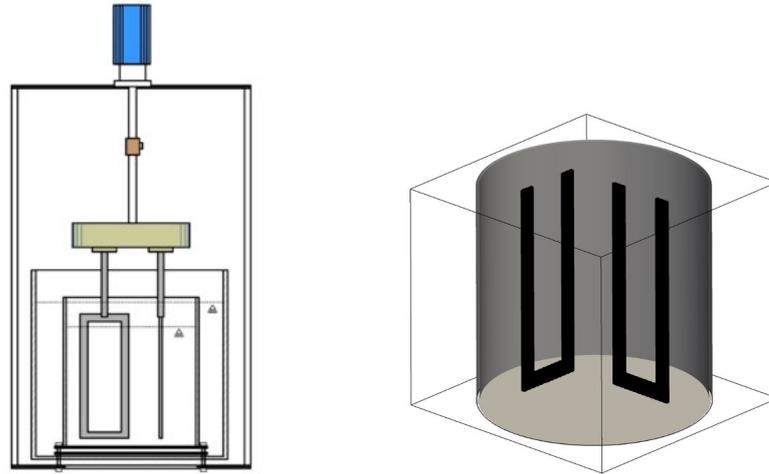


Figura 5. Configuración mezclador planetario. Configuración experimental (izquierda) y dibujo digital usado en las simulaciones numéricas (derecha)

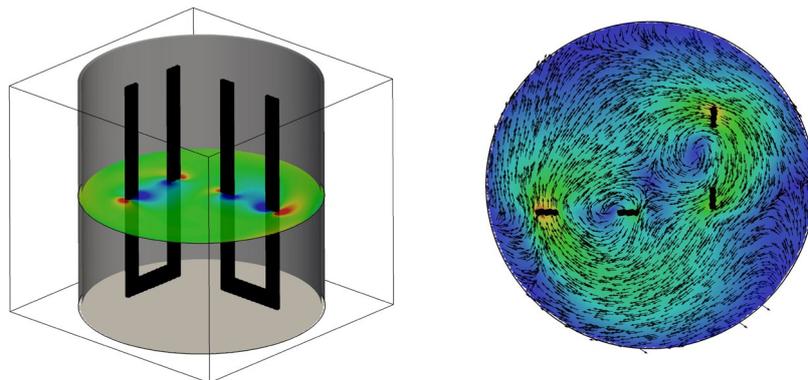


Figura 6. Resultados numéricos del movimiento de las paletas

## Referencias

- [1] J. Ramírez-Cruz; M. Salinas-Vázquez; G. Ascanio; W. Vicente-Rodríguez y C. Lagarza-Cortes (2020). Mixing dynamics in an uncovered unbaffled stirred tank ana passive scalar transport equation. *Chemical Engineering Science*. 222. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115658>.
- [2] Posadas Navarro, David Israel; Palacios, Carlos; Zenit, Roberto; Blancas, Abel; Salinas-Vazquez Martin y Ascanio, Gabriel A. (2020). Hydrodynamic and mass transfer assessment of a bioreactor by means local and global parameters. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Enviado y bajo revisión.
- [3] J. Ramírez-Cruz; G. Ascanio; M. Salinas-Vázquez; C. Palacios y J. P. Aguayo. Experimental and numerical analysis of the power consumption and the dispersive mixing in a double planetary mixer. *Chemical Engineering Science*, Enviado.

## BIOSENSORES ELECTRÓNICOS CON DISPOSITIVOS DE EFECTO DE CAMPO:

### FUNDAMENTOS Y APLICACIONES

ROBERTO GIOVANNI RAMÍREZ CHAVARRÍA Y BRYAN EMMANUEL ALVAREZ SERNA

Los sensores electroquímicos han cobrado gran importancia en diferentes campos científicos, tecnológicos e industriales. Particularmente, los sensores con base en transistores de efecto de campo (*Field-Effect Transistor*, FET), han sido aceptados de forma relevante, debido a su gran potencial para la detección de procesos biológicos y fisicoquímicos. Desde la creación del primer biosensor construido alrededor de un dispositivo FET, en 1970, conocido como FET sensible a iones (*Ion Sensitive FET*, ISFET), se han desarrollado decenas de variantes de estos biosensores; hasta la fecha, su desarrollo es considerado como un área con gran campo de estudio y aplicaciones [1]. Las principales aplicaciones de estos biosensores electrónicos son las mediciones de pH y urea, la concentración de iones, glucosa, gases, células, la detección de ADN y bio-macromoléculas, por mencionar sólo algunas [2-4]. El esquema general de un biosensor FET se muestra en la Figura 1. El analito es objeto de estudio, y está formado por un electrolito y alguna especie o biomolécula específica. El elemento sensible, electrodo o membrana selectiva, es con quien el analito lleva a cabo una reacción electroquímica. Los electrodos son dispositivos fabricados de un material conductor, y en muchos casos, orgánico y biocompatible, mientras que, las membranas selectivas son fabricadas de materiales porosos orgánicos o estructuras poliméricas [1-3]. Posteriormente, como elemento transductor, se emplea un dispositivo electrónico de efecto de campo, quien convierte la energía del proceso electroquímico en una señal eléctrica. Ésta es cuantificada con un sistema de instrumentación, en el cual, se acondiciona electrónicamente la señal, se digitaliza, finalmente, es procesada, almacenada y analizada en un dispositivo digital [2]. El desarrollo de biosensores FET, sin embargo, representa un reto multidisciplinario que conjunta áreas como electroquímica, electrónica, instrumentación, ingeniería de materiales y bioquímica, haciendo de este tipo de dispositivos, una herramienta robusta, confiable y escalable para contribuir en la solución de diversos problemas.

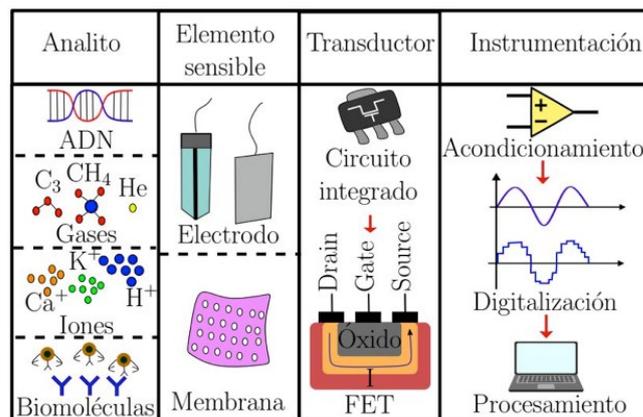


Figura 1: Principio de operación de un biosensor FET

Recientemente, en la Coordinación de Mecánica y Energía del Instituto de Ingeniería, UNAM, se ha comenzado una línea de trabajo referente al diseño y desarrollo de biosensores y dispositivos bioelectrónicos. En este artículo, presentamos algunos de los avances de investigación, particularmente enfocados en biosensores FET, sus áreas de oportunidad, y el futuro de éstos en el corto y mediano plazo.

### Principio de funcionamiento

El funcionamiento de los biosensores FET es similar al de los transistores de efecto de campo de metal óxido semiconductor (Metal-Oxide-Semiconductor FET, MOSFET), ampliamente usados en la ingeniería electrónica. Sin embargo, la principal diferencia radica en que los biosensores consideran en su funcionamiento a los efectos electroquímicos dados por la interacción analito-electrodo.

En la Figura 2 se muestra el montaje experimental de un sensor FET. El dispositivo consta de un electrodo de referencia RE, donde se aplica un voltaje de referencia  $V_{REF}$ , y un electrodo de trabajo WE, quien detecta la reacción electroquímica del analito. El electrodo WE se conecta al dispositivo FET usado como transductor. El dispositivo FET se polariza en la terminal D con un voltaje *drain-source*  $V_{DS}$ , mientras que la corriente *drain-source*  $I_{DS}$  que se establece en el dispositivo, es proporcional al potencial del electrodo WE dado por el comportamiento electroquímico del analito. El sentido de la corriente, así como los voltajes suministrados, dependen del tipo de las características del dispositivo FET que se emplee.

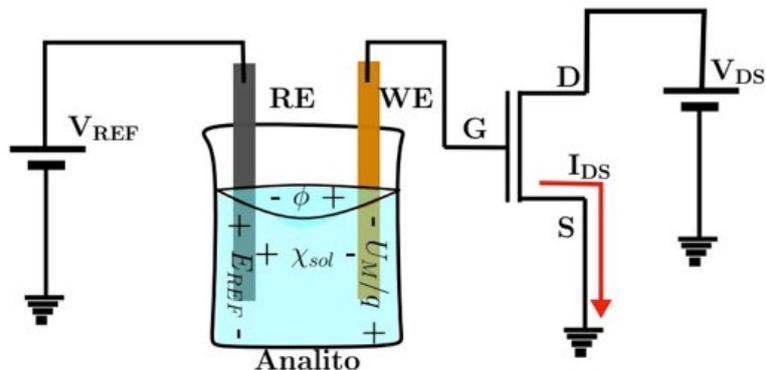


Figura 2. Montaje experimental de un biosensor FET

### Mecanismo de transducción

La corriente *drain-source*  $I_{DS}$  depende, además, de los parámetros geométricos y físicos de fabricación del FET. Asimismo, la corriente depende del voltaje  $V_{DS}$  y de un voltaje de umbral conocido como  $V_{th}$ , encargado de delimitar las regiones de operación lineal y saturación, como se muestra en la Figura 3.

Para biosensores FET, el  $V_{th}$  es un parámetro eléctrico definido, tanto por la estructura del dispositivo, como por la contribución electroquímica, resultado de la interacción electrodo-analito. Este comportamiento se describe analíticamente por la ecuación 1 mostrada en la Figura 3, donde, la contribución eléctrica del FET es  $V_{th}^*$ , mientras que la parte electroquímica contempla el potencial del electrodo de referencia  $E_{REF}$ , el potencial del dipolo superficial del analito  $\chi_{sol}$ , la función de trabajo del electrodo de trabajo  $U_M$ , la carga

del electrón  $q$  y el potencial de la superficie del analito  $\phi$ . Es importante mencionar que, los parámetros  $\chi_{sol}$  y  $\phi$  son parámetros que dependen de la concentración iónica del analito y de sus propiedades químicas [4,5]. Respecto a la contribución electroquímica, el potencial del electrodo de referencia  $E_{REF}$  corresponde a la ecuación de Nernst, mostrada en la ecuación 2 de la Figura 3. Dicha expresión, involucra al potencial como una función del cociente de la reacción química  $Q$  que es la relación entre productos y reactivos de una reacción química, donde  $E_0$  es el potencial estándar del electrodo RE, y depende del material con que se haya fabricado,  $R$  y  $F$  son las constantes de Ranking para los gases ideales y de Faraday, respectivamente,  $T$  la temperatura y  $n$  el número de electrones involucrados en la reacción.

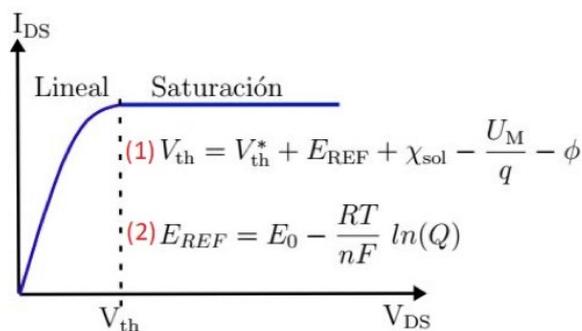


Figura 3. Curva característica de un transistor de efecto de campo

## Medición de pH: La prueba de concepto

Dentro de la extensa revisión al estado del arte de los biosensores FET, la aplicación más común, es la medición de pH [4]. Este parámetro hace referencia a la concentración de iones hidrógeno en una disolución acuosa, e indica la alcalinidad o basicidad de la disolución. Dicho fenómeno se asocia a gran cantidad de aplicaciones en fenómenos bioquímicos [2-5]. Por ello, una primera prueba de concepto para un biosensor FET es la medición de pH. Dicha medición se hace preparando diferentes electrolitos llamados *buffer*, formados por un ácido débil y su base conjugada, o por una base y su ácido conjugado. La preparación del *buffer* se hace mediante la llamada ecuación de Henderson-Hasselbach, para calcular la concentración del ácido [A] y sal [S], buscando que el ácido tenga una constante de acidez  $pK_a$  cercana al valor de pH deseado.

El montaje experimental para la medición de pH se muestra en la Figura 2, donde, el analito es el buffer con distintos valores  $pH = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$ . En la Figura 4(a) se muestran las

curvas de salida para cada *buffer*, donde, se mide la corriente  $I_{DS}$  en función de  $V_{DS}$ , con un voltaje  $V_{REF}$  fijo. Asimismo, la Figura 4(b) muestra la curva de transferencia para cada *buffer*, donde, la corriente  $I_{DS}$  está en función del voltaje  $V_{REF}$ , para un  $V_{DS}$  fijo. En ambos casos, el valor de los voltajes fijos es obtenido experimentalmente, y debe de mantenerse constante en el rango de operación. En la Figura 5, se muestran las dos curvas de calibración obtenidas para el sensor FET de pH. De estas curvas es posible obtener la sensibilidad en función de corriente o voltaje, lo cual provee dos mecanismos para determinar el punto de operación del sensor. Adicionalmente, en la Figura 5 se observa que el biosensor presenta una alta linealidad en el rango de operación, con un coeficiente de determinación cercano a la unidad. En resumen, esta prueba de concepto muestra una forma de medir pH empleando un método eficiente y de bajo costo, comparado con otro tipo de transductores y técnicas [2], las cuales suelen ser tecnológicamente más complejas.

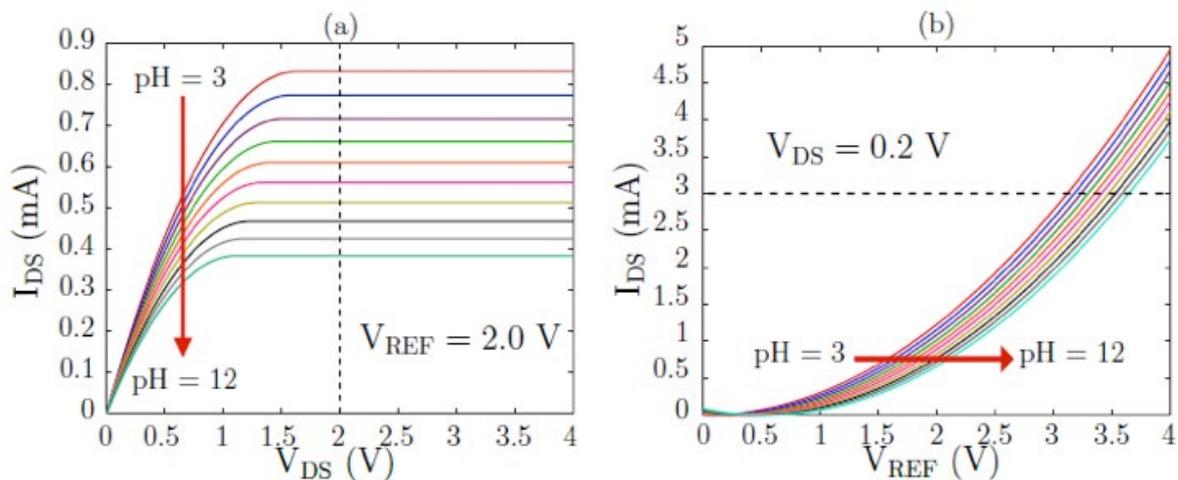


Figura 4. Curvas de caracterización de un sensor FET como sensor de pH

## Futuro y perspectivas de los biosensores FET

Por su operación y múltiples ventajas, los biosensores FET son una potencial herramienta para coadyuvar en la solución de un gran espectro de problemas, especialmente en los campos de la biología y fisicoquímica. Sin embargo, el estudio y desarrollo de este tipo de dispositivos es un problema que continúa abierto, y requiere de soluciones tecnológicas que permitan mejorar y potenciar aún más su aplicación. Entre los retos actuales se encuentran, los procesos de fabricación y caracterización de sistemas de electrodos altamente sensibles, el diseño y modelado de dispositivos FET de alto desempeño, y la propuesta de novedosas aplicaciones. Con ello, actualmente continuamos en la búsqueda de respuestas científicas y tecnológicas para ofrecer dispositivos de bajo costo, con características de portabilidad, escalabilidad y confiabilidad para realizar mediciones *in-situ*, sin la necesidad de equipos robustos o técnicas especializadas. Finalmente, es necesario hacer mención que, la aplicación de este tipo de dispositivos es un trabajo en curso, logrando obtener sensores para medición de glucosa, ácido ascórbico y biotina, por mencionar solo algunos.

## Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT TA100221. |

### Referencias

1. Kaisti, M. (2017). *Detection principles of biological and chemical FET sensors*. *Biosensors and Bioelectronics*, 98, 437-448.
2. Alvarez-Serna, B. E. y Ramírez-Chavarría, R. G. (2020). *EGFET-based pH Sensor integrated with a Low-cost Screen-printed Electrode System*. *Journal of Physics: Conference Series*, In press.
3. Vu, C. A. y Chen, W. Y. (2019). *Field-effect transistor biosensors for biomedical applications: recent advances and future prospects*. *Sensors*, 19(19), 4214.
4. Pullano, S. A.; Critello, C. D.; Mahbub, I.; Tasneem, N. T.; Shamsir, S.; Islam, S. K. y Fiorillo, A. S. (2018). *EGFET-based sensors for bioanalytical applications: A review*. *Sensors*, 18(11), 4042.
5. Carrara, S. (2012). *Bio/CMOS interfaces and co-design*. Springer Science & Business Media.

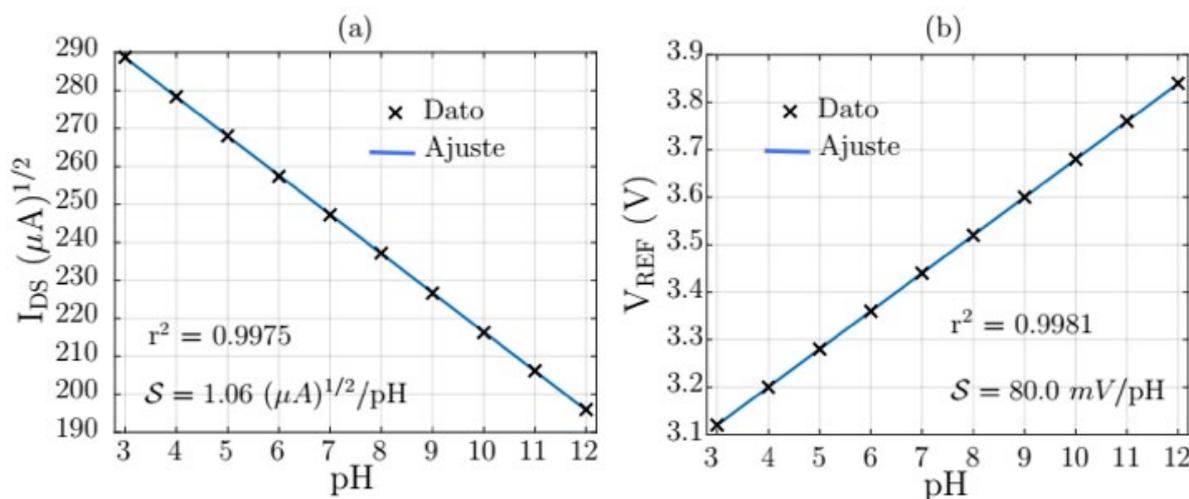


Figura 5. Curvas de calibración de un sensor FET como sensor de pH



# MATERIAL INFORMATIVO COVID-19

Material compilado por Rosa María Flores Serrano



Consulta el material digital escaneando este código Qr



## TALLER DE PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL ÁREA ESTRATÉGICA AE11

Este Taller presentó los resultados obtenidos por el AE11 Clúster de Biocombustibles Gaseosos, CEMIE-Bio durante los últimos cuatro años alrededor de los biocombustibles gaseosos, entre los que destacan: la Plataforma para evaluar impactos ambientales a través de la metodología Análisis de Ciclo de Vida; la Herramienta para evaluar impactos ambientales a través de la metodología Huella de Carbono; así como el modelo económico.

Las ponencias estuvieron a cargo de los doctores Leonor Patricia Güereca Hernández (IINGEN-UNAM), Héctor Núñez (CIDE), Omar Masera y Carlos García del (IIES-UNAM).

Asistieron al Taller tanto miembros del Clúster de Biocombustibles Gaseosos del CEMIE BIO, como público interesado en estos temas.

Este Taller estuvo organizado por el Área Estratégica AE11 del Clúster de Biocombustibles Gaseosos, CEMIE-Bio, conformado por el grupo de Ciclo de Vida, Cambio Climático y Sostenibilidad (CIVICCS) del Instituto de Ingeniería; por el Grupo de Innovación Ecotecnológica y Bioenergía del Instituto de Investigación en Ecosistemas y Sustentabilidad (IESS) de la UNAM (Morelia) y por el Proyecto de Sustentabilidad Energética del Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).

El taller tuvo lugar el 15 de febrero vía zoom. |

---

## DINÁMICAS ECOHIDROLÓGICAS EN LA SELVA TROPICAL SECA DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Es el título de la conferencia que impartió el Dr. Jorge Uuh Sonda el pasado 11 de enero a través de video conferencia como parte del ciclo de seminarios del Laboratorio de Ingeniería de Procesos Costeros (LIPC).

El objetivo del seminario es difundir tanto el trabajo científico que desarrollan investigadores del LIPC, como trabajos de relevancia para los temas que se investigan en este laboratorio. La idea es fomentar el intercambio de conocimiento a fin de que los alumnos y el propio personal académico de esta dependencia aprendan cosas nuevas. El Seminario, que se lleva a cabo cada lunes, es obligatorio para los estudiantes del LIPC, pero, está abierto a cualquier persona interesada en estos temas.

Jorge Uuh afirmó que la selva tropical ubicada al noroeste de la Península de Yucatán es un ecosistema altamente amenazado, además, su ecohidrología y su respuesta a la variedad climática se conocen muy poco. Estudios realizados indican que este ecosistema funciona como una reserva de CO<sub>2</sub> donde se capturan de 1 a 6 toneladas de Carbono anuales por hectáreas. Así mismo, los flujos de agua y CO<sub>2</sub> están fuertemente controlados por la estacionalidad y magnitud de los pulsos de precipitación, conduciendo a una estación seca cuya dependencia al agua subterránea es muy importante, características que la convierten en un tema interesante. |

### MUJERES EN LA INGENIERÍA

Del 23 al 27 de noviembre de 2020, se llevó a cabo la Semana de Mujeres en la Ingeniería, evento organizado por la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Ciudad de México en conjunto con académicas de diversas instituciones de investigación. La inauguración estuvo a cargo de la Dra. Rosaura Ruíz Gutiérrez, titular de la SECTEI y fue clausurado por el Dr. José Bernardo Rosas Fernández, Director General de Desarrollo e Innovación Tecnológica de esa dependencia.

El evento consistió en cinco mesas de exposición de diferentes temas en los que la participación de la mujer ha establecido hitos destacados y continúa ejerciendo un papel muy importante. La primera mesa versó sobre Tendencias de la innovación tecnológica y estuvo a cargo de académicas de nuestro IIUNAM: las doctoras Rosa María Ramírez Zamora, Norma Patricia López Acosta, Angélica del Rocío Lozano Cuevas y Susana Saval Bohórquez, que contaron con la moderación de Sonia Rosa Briceño Viloría.

Del IIUNAM también participaron las doctoras Maritza Arganis Juárez y Rosa María Flores Serrano en la mesa de Riesgos, ponente la primera y moderadora la segunda. De otras entidades de la UNAM fueron ponentes Magdalena Trujillo Barragán, María del Pilar Corona Lira, Elizabeth Vega Rangel, Yosune Miquelajáuregui Graf y Xyoli Pérez Campos.

Otras expositoras fueron Blanca Carbajal Gámez, Norma Beatriz Lozada Castillo y Violeta Mena Cervantes del Instituto Politécnico Nacional (IPN); Margarita González Brambila y Violeta Mugica Álvarez de la Universidad Autónoma Metropolitana; Lucía Guadalupe Matías Ramírez del Centro Nacional para la Prevención de Desastres e Ivette Quiñones Urióstegui del Instituto Nacional de Rehabilitación. Como moderadoras Sara Guadalupe Cruz Cruz del IPN y Olivia Rivera Hernández de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.

Los Robots y la Inteligencia Artificial; Ciudad Inteligente e Ideas verdes o renovables, fueron los otros temas abordados.





# LACP<sup>3</sup>

## 2·0·2·1

### 7<sup>th</sup> Latin-American Congress of Photocatalysis, Photochemistry and Photobiology

We are pleased to invite you to the 7th Latin-American Congress of Photocatalysis, Photochemistry and Photobiology - LACP3 2021. The 7th LACP3 edition will gather the academic and scientific community interested in the recent advances of photo-activated and light-induced processes with a fundamental and applied approach.

This LACP3-2021 meeting, like the previous editions, brought together researchers from Latin American and worldwide to share knowledge and experiences as well as strengthening ties to form research networks.

## October 26<sup>th</sup> - 28<sup>th</sup> 2021

### Conference Themes/Topics

- Environmental Photobiology
- Nanotechnology in Photobiology
- Physical and Chemical Photobiology
- Artificial Photosynthesis
- Industrial Organic Photochemistry
- Organic Photochemistry
- Inorganic and Organometallic Photochemistry
- Acid-Base Photocatalysis
- Photoelectrocatalytic Treatment of Environmental Pollutants
- Photoelectrocatalytic Production of Solar Fuels
- Simulation of Photo-processes
- Hybrid Photo-processes
- Industrial Applications

Info: [7thLACP3@iingen.unam.mx](mailto:7thLACP3@iingen.unam.mx)

<http://eventos.iingen.unam.mx/7thLACP3>



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
**UNAM**

# Reunión Informativa Anual **2021**

vía streaming

**2, 3 y 4 de febrero**

con 10 minutos para cada ponencia

de 17:00 a 19:00 h

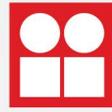
Todas las subdirecciones | Martes 02 de febrero de 2021

Todas las subdirecciones | Miércoles 03 de febrero de 2021

Todas las subdirecciones | Jueves 04 de febrero de 2021

El evento será transmitido a través de

**<http://webcast.ingen.unam.mx/RIA2021>**



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
**UNAM**

# 1<sup>er</sup> INFORME de actividades

Dra. Rosa María Ramírez Zamora

**Viernes 5 de febrero, 2021**  
**12:00 horas**

El evento se transmitirá a través de la siguiente dirección electrónica

**<http://webcast.iingen.unam.mx/InformeDir>**