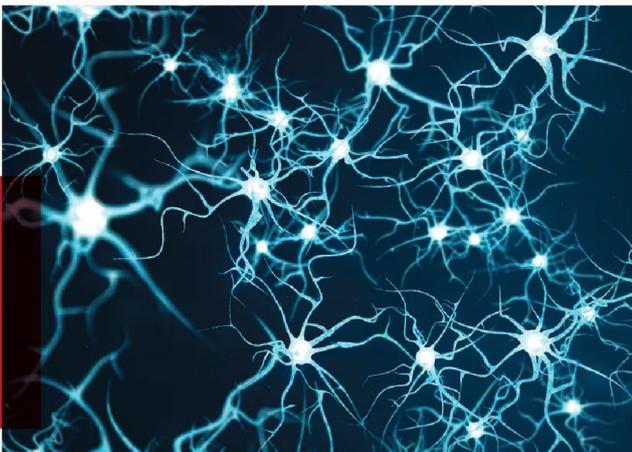




# GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

ISSN: 1870-347X

No. 164 | enero - febrero 2024



Tratamiento electroquímico  
de lodos residuales  
como fuente sustentable  
de recursos renovables

Detección, modelación  
y monitoreo del sargazo:  
perspectivas de investigación  
en la Unidad Académica Sisal

Estudio de Flujos Bifásicos  
de Alta Viscosidad:  
Un Enfoque Moderno con  
Redes Neuronales Artificiales

Comportamiento dinámico  
de jales saturados  
en muestras inalteradas

# EDITORIAL

El 9 de febrero de 2024, concluyó el proceso de designación de la persona que ocupará por cuatro años la Dirección del Instituto de Ingeniería, creando el parteaguas para la reflexión de los años anteriores y las expectativas para los próximos.

A pesar de los retos internos y externos (pandemia COVID-19, disminución de fuentes de financiamiento para proyectos), nos hemos adaptado a nuevas formas de trabajo académico y de docencia a distancia; se desarrolló infraestructura adecuada para brindar los servicios y trámites necesarios para seguir trabajando, es decir, el II nunca se detuvo; tanto la comunidad académica como la administrativa, continuaron su labor; ya fuera de manera virtual o presencial controlada.

El Plan de trabajo 2024-2028 para el IIUNAM, considera, sobre todo, las muchas oportunidades y fortalezas que debemos aprovechar, ya que retoma los ocho ejes del periodo anterior, los cuales, se alinean al Proyecto de trabajo 2023-2027 de nuestra Universidad. Así, los académicos consolidados con su gran experiencia y los jóvenes con su ímpetu, podrán conjuntar capacidades para realizar proyectos y desarrollos que beneficien a la sociedad, ofreciendo soluciones más integrales, más sólidas, incluso, únicas para los problemas nacionales. Podremos adicionar los esfuerzos de socios como la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la CIC; la CVTT de la Secretaría General, el Centro Regional de Seguridad Hídrica para Latinoamérica y el Caribe auspiciado por la UNESCO, la Red del Agua y la Alianza FIIDEM, así como del sector académico, gremios y empresas de Ingeniería que nos brindan su apoyo y confianza. Para los ocho ejes del Plan de trabajo, se propone evaluar, afinar y consolidar los programas académicos que lo componen, siempre con la participación de la comunidad para obtener mejores resultados.

Para los dos ejes transversales (instituto sustentable, ética e igualdad de género), se propone seguir apoyando las iniciativas que operan a través de la CInIG, del Comité de Ética, del Grupo RAMII y el de ESPORA de la Facultad de Psicología; adicionalmente, se propone incorporar un programa para mejorar la salud física de toda nuestra comunidad con apoyo de especialistas en la materia.

Respecto a los otros seis ejes del Plan, quiero destacar que están interconectados entre sí. Por ejemplo, las acciones que propongo para el eje vinculación están ligadas a la realización de proyectos para resolver problemas nacionales, con la obtención de recursos extraordinarios de diversas fuentes nacionales e internacionales, a su vez,

con estos recursos se tendrá una infraestructura de vanguardia, única en la UNAM, incluso en el país, para hacer proyectos de punta en ingeniería. Esto dará como resultado mayor producción que respalde la carrera académica de nuestro personal para que sea más sólida y ascendente dentro y fuera de la UNAM.

Con este enfoque, se dará continuidad al programa de Grupos Interdisciplinarios de Investigación (GII), que son una nueva forma de trabajo académico conjunto con personal del II y de siete entidades de la UNAM. Los avances de los GII, a un año de operar, serán evaluados para hacer ajustes en su segundo año de trabajo, sus resultados se protegerán, posteriormente, se promoverán en foros y reuniones organizados por el IIUNAM, dirigidos a los sectores industrial, gubernamental o en eventos de asociaciones que agrupen a las principales empresas de ingeniería.

Para el eje de Docencia y Formación Integral de Recursos humanos, reforzaré con cursos de redacción en español, clases de inglés y presentaciones de académicos del Instituto sobre el uso de herramientas de Industria 4.0; así mismo, se impartirán talleres sobre el desarrollo de habilidades blandas como liderazgo, oratoria y trabajo en equipo, incluso, capacitación para realizar investigación, innovación o emprendimiento; en este contexto, se considera realizar otras ediciones reforzadas de la Olimpiada Estudiantil sobre los retos de la Ingeniería y creación de empresas de base tecnológica. Además, por medio de un programa de pláticas de ingenieros de la práctica profesional, se pretende preparar a nuestros egresados a la vida laboral.

Agradezco a todo el personal académico y administrativo, así como a la comunidad estudiantil, que aportaron tiempo, capacidad, interés y, sobre todo, amor por nuestra entidad para salir adelante. Sin duda alguna, agradezco a mis seres queridos, tanto a los que están conmigo como a quienes ya no me acompañan, porque siempre me enseñaron a trabajar duro y animaron a tener fe en los días más difíciles. De igual forma, agradezco a las personas que me ayudaron a perseguir mis sueños. |

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

Rector  
**Dr. Leonardo Lomeli Vanegas**

Secretaría General  
**Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda**

Abogado General  
**Mtro. Hugo Concha Cantú**

Secretario Administrativo  
**Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez**

Secretaría de Desarrollo Institucional  
**Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz**

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

Coordinador de la Investigación Científica  
**Dra. María Soledad Funes Argüello**

Coordinador de Humanidades  
**Dr. Miguel Armando López Leyva**

Coordinador para la Igualdad de Género  
**Dra. Norma Blazquez Graf**

Coordinadora de Difusión Cultural  
**Dra. Rosa Beltrán Álvarez**

Director General de Comunicación Social  
**Mtro. Néstor Martínez Cristo**

Director de Información  
**Mtro. Rodolfo González Fernández**

Directora  
**Dra. Rosa María Ramírez Zamora**

Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
**Dr. Carlos Javier Mendoza Escobedo**

Subdirectora de Hidráulica y Ambiental  
**Dra. Rosa María Flores Serrano**

Subdirector de Electromecánica  
**Dr. Arturo Palacio Pérez**

Subdirectora de Unidades Académicas Foráneas  
**Dra. Idania Valdez Vazquez**

Secretaría Académica  
**Dra. Norma Patricia López Acosta**

Secretaría Administrativa  
**Mtra. Dulce María López Nava**

Secretario Técnico  
**Arq. Sebastián Israel Martínez Bucio**

Secretario de Telecomunicaciones e Informática  
**Ing. Marco Ambriz Mageuy**

Secretaría Técnica de Vinculación  
**Mtra. María del Rocío Cassaigne Hernández**

Editor responsable  
**Lic. Verónica Benítez Escudero**

Reportera  
**Lic. Verónica Benítez Escudero**

Fotografías  
**Archivo Fotográfico del IIUNAM**

Diseño  
**Lic. Oscar Daniel López Marín**

Corrección de estilo  
**Gabriel Sánchez Domínguez  
María de los Ángeles Negrete Orozco**

## GACETA DEL IIUNAM

GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM, Año 2023, Número 163, noviembre-diciembre 2023, es una publicación bimestral de acceso abierto. Domicilio Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Instituto de Ingeniería, UNAM, Edificio 1 Fernando Hirriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, teléfono 5623-3600, Dirección electrónica de la publicación <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/AlmacenDigital/Gaceta/Paginas/default.aspx> Editor responsable: Lic. María Verónica Benítez Escudero, Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2022-120913281300-109, ISSN 1870-347X, Responsable de la última actualización: Lic. María Verónica Benítez Escudero, Domicilio Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, fecha de última modificación 28 de febrero 2023.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o del Instituto de Ingeniería, UNAM.  
Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.

## TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE LODOS RESIDUALES COMO FUENTE SUSTENTABLE DE RECURSOS RENOVABLES

JOSÉ ANTONIO BARRIOS PÉREZ

El incremento en la demanda de agua para las actividades humanas ha causado mayor competencia por este recurso entre los diferentes usos y usuarios. Por ello, se ha empleado el reúso de agua tratada como una alternativa para liberar volúmenes de agua de primer uso para satisfacer su demanda. No obstante, para que el reúso del agua se lleve a cabo de manera segura, se requiere tratar el agua residual para darle la calidad necesaria de acuerdo con la normatividad vigente, lo que genera subproductos denominados lodos residuales. Estos lodos contienen alto porcentaje de agua (aproximadamente de 95 a 99%) así como materia orgánica, incluyendo biomasa, la cual, tiene un alto potencial para producir energía o diversos subproductos. Tomando en cuenta el concepto de economía circular, se ha propuesto redefinir el principio de las plantas de tratamiento de agua residual para denominarlas fábricas de recursos por la variedad de subproductos del tratamiento

que tienen potencial de reutilización, incluyendo los lodos residuales, los cuales van desde el biogás, hasta bioplásticos y aditivos de alimentos (Figura 1).

Bajo este concepto, el principal subproducto del tratamiento del agua residual lo constituyen los lodos residuales, los cuales, se denominan primarios o secundarios en función del proceso de tratamiento que los genera. Se estima que a nivel mundial se generan cada año 45 millones de toneladas de lodos residuales (Gao *et al.*, 2020); mientras que en México esta cifra es del orden de 0.9 millones de toneladas (cálculos propios). Por su origen, estos lodos concentran diversos tipos de contaminantes, microorganismos y materia orgánica, por lo que deben ser adecuadamente tratados para reducir los riesgos a la salud y al ambiente. Una vez tratados, los lodos residuales se denominan biosólidos y pueden ser empleados como fertilizantes o mejoradores de suelos debido al contenido de materia orgánica, nutrientes y elementos traza que contienen, los cuales aportan diferentes beneficios al suelo y a los cultivos. Por esta razón, en algunos países el porcentaje de reutilización es considerable debido a que representan una alternativa de manejo económica y sustentable. Por ejemplo, en Estados Unidos 53% de los lodos residuales es aprovechado en diversas aplicaciones benéficas como biosólidos (Beecher *et al.*, 2022). Esta práctica incrementa la productividad agrícola, reduce el consumo de fertilizantes químicos, por ende,

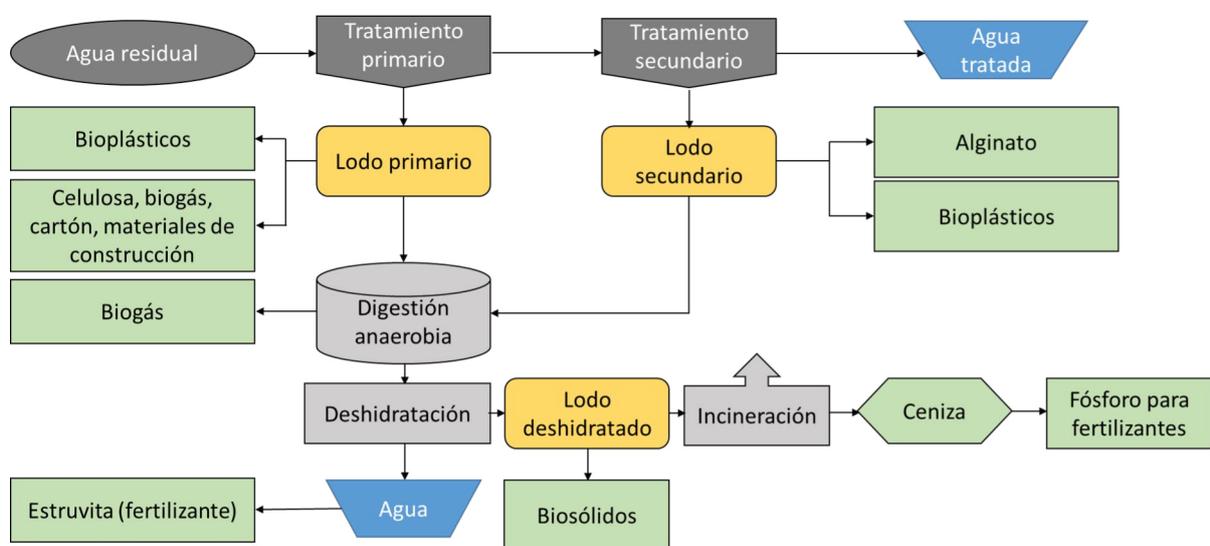


Figura 1. Planta de tratamiento de agua residual como fábrica de recursos (PHA: polihidroxiclcanoatos; basada en van Nieuwenhuijzen *et al.*, 2017)

genera mayor rentabilidad para los agricultores y silvicultores, así como un beneficio en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

Dentro de los procesos de tratamiento de lodos se tienen la digestión aerobia, la digestión anaerobia, la producción de composta y el tratamiento alcalino como las principales alternativas. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas que deben ser consideradas previo a la definición del tren de tratamiento elegido.

En este rubro, desde 1970 se han estudiado los tratamientos biológicos de lodos residuales mediante digestión anaerobia. A lo largo de este tiempo, el proceso ha adquirido gran popularidad debido a que logra la estabilización de los lodos, genera energía en forma de biogás (principalmente metano), produce un residuo semisólido que puede ser utilizado como fertilizante o acondicionador de suelos, reduce la masa de lodos residuales que tienen que ser transportados, y generalmente, el producto cumple con los límites de la normatividad vigente. De hecho, se estima que el biogás generado por este proceso puede servir para abastecer más de 50% de la energía requerida en una planta de tratamiento, lo cual, se considera una de sus mayores ventajas contra el resto de los procesos de estabilización.

Por todo lo anterior, la digestión anaerobia es uno de los procesos de tratamiento de lodos más utilizados a nivel global y

se estima que 70% de los lodos son tratados por este método (Tyagi and Lo, 2011). En este proceso, la materia orgánica es convertida por microorganismos en biogás y en digestato (residuo orgánico con posibilidad de aprovechamiento). No obstante, dicha conversión es limitada debido a que se requiere llevar a cabo la hidrólisis de moléculas grandes y microorganismos, por lo cual, sólo se degrada entre 20 y 50% de la materia orgánica (Tyagi *et al.*, 2014). Además, la mayoría de los lodos residuales poseen alto contenido de sustancias poliméricas extracelulares (SPE), las cuales, son generadas por los microorganismos y les permiten adherirse entre ellos, formando flóculos y protegiéndolos de ser lisados. Dichas sustancias están formadas por una mezcla compleja de proteínas, carbohidratos, lípidos y sustancias húmicas. Es importante mencionar que, en el lodo secundario, las SPE representan hasta 80% de la masa del lodo, lo cual, es relevante debido a que su presencia reduce la biodegradabilidad de la materia orgánica durante la digestión anaerobia. Otra desventaja de la presencia de las SPE es que evitan que el lodo sea deshidratado eficientemente, lo que incide en menor reducción de volumen y mayor costo de transporte a los sitios de aprovechamiento o disposición (Wu *et al.*, 2017)

Como resultado, se ha propuesto que los lodos sean pretratados antes de la digestión anaerobia para favorecer la conversión de materia orgánica a metano, incrementando con



Figura 2. Digestor anaerobio de la planta de tratamiento de agua residual, Acapatzingo, Morelos

ello el potencial energético de estos subproductos. Así, se han aplicado diversos pretratamientos, principalmente térmicos, mecánicos, químicos y biológicos, que tienen como finalidad favorecer la hidrólisis de las células y las SPE. El fundamento de estos procesos es que logran romper las células de la biomasa y liberan el material intracelular, así como las SPE a la fase soluble, lo que facilita su transformación durante el proceso de digestión e incrementa la producción de biogás.

Recientemente, han sido reportados métodos de pretratamiento alternativos como el uso de ultrasonido o la aplicación de oxidantes. Bajo este principio, se han venido aplicando pretratamientos electroquímicos previo a la digestión anaerobia, además de emplearlos para degradar contaminantes específicos (Barrios *et al*, 2021y Barrios *et al.*, 2016). En este sentido, los procesos electroquímicos aplicados a la ingeniería ambiental han tenido un gran desarrollo en las últimas cuatro décadas, con mayor contribución en el tratamiento de agua potable y agua residual. Este tipo de procesos presentan diversas ventajas, como la generación de los reactivos oxidantes *in situ*, la ausencia de residuos contaminantes, la operación en condiciones “normales” (temperatura ambiente y presión atmosférica) y el uso de un equipamiento relativamente sencillo. En particular, la electrooxidación se considera un proceso de oxidación avanzada que se basa en la generación electroquímica de especies oxidantes como el radical hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) o el hipoclorito de sodio.

En este tema se han reportado algunas aplicaciones de la electrooxidación de lodos como pretratamiento para la digestión anaerobia empleando diferentes configuraciones electroquímicas en términos de arreglo de electrodos (malla o placas paralelas) y materiales (titanio cubierto con óxidos de rutenio -Ti/RuO<sub>2</sub>- y diamante dopado con boro -DDB-). Se ha reportado que el pretratamiento de los lodos logra incrementar la producción de biogás hasta 65% comparado con pruebas control (Barrios *et al.*, 2021). En particular, los electrodos de DDB han sido estudiados en diferentes aplicaciones debido a su alta generación de radicales hidroxilos, alta estabilidad, resistencia a la corrosión y superficie inerte.

Por otro lado, además del incremento en la producción de biogás, el pretratamiento abre una ventana de oportunidad para que se liberen y recuperen las SPE, pudiendo así ser empleadas en diversas aplicaciones, como remoción de metales pesados, coagulación y floculación. En este tema, existen ya plantas a nivel industrial en los Países Bajos en las que se procesan sustancias poliméricas extracelulares, derivadas de los lodos residuales para obtener un producto con diversas aplicaciones que van desde un bioestimulante para plantas, hasta compuestos para materiales de construcción; además, se está en busca de nuevas aplicaciones para este tipo de productos (<https://kaamera.com/english/kaamera/>).

Bajo estos conceptos, actualmente se desarrolla en el Instituto de Ingeniería un proyecto de pretratamiento de lodo secundario mediante electrooxidación con electrodos de diamante dopado con boro para la recuperación de sustancias poliméricas extracelulares que puedan ser reutilizadas en el tratamiento de agua residual o como insumo para la producción de biocombustibles. Mediante esta tecnología es posible liberar los carbohidratos y los lípidos, así como las proteínas de los lodos residuales para proceder a su separación y concentración. De esta manera, se pretende aprovechar los lodos como una fuente sustentable de recursos renovables con gran potencial de reutilización y contribuir al desarrollo de una economía circular en México. |

## Referencias

1. Barrios, J. A.; Cano, A.; Rivera, F. F.; Cisneros, M. E. y Durán, U. (2021). Efficiency of integrated electrooxidation and anaerobic digestion of waste activated sludge. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1), 81.
2. Barrios, J. A.; Cano, A.; Becerril, J. E. y Jiménez, B. (2016). Influence of solids on the removal of emerging pollutants in electrooxidation of municipal sludge with boron-doped diamond electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 776, 148-151.
3. Beecher, N.; Beecher, J.; Burke-Wells, J.; Lono-Batura, M.; Goldstein, N.; Kester, G. y Toffey, B. (2022). National Biosolids Data Project: Biosolids management in the U.S. <https://www.biosolidsdata.org>, accessed 12/05/2023.
4. Gao, N.; Kamran, K.; Quan, C. y Williams, P. T. (2020). Thermochemical conversion of sewage sludge: A critical review. *Progress in Energy and Combustion Science* 79, 100843.
5. Tyagi, V. K. y Lo, S. L. (2011). Application of physico-chemical pretreatment methods to enhance the sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: An up to date review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 10(3), pp. 215-242.
6. Tyagi, V. K.; Lo, S.-L.; Campoy, R. A.; Álvarez-Gallego, C. J.; Romero García, L. I.; Sun, L. P.; Qiu, C. S. (2014). Sono-biostimulation of aerobic digestion: a novel approach for sludge minimization. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 89, 1060-1066.
7. Van Nieuwenhuijzen, A.; Lewis, R.; Bergsma, G. y Uiterlinde, C. (2017) Life Cycle Assessment of Resource Recovery from Primary and Waste Activated Sludge. *Proceedings from SludgeTech 2017*. London. International Water Association.
8. Wu, B. R.; Ni, B. J.; Horvat, K.; Song, L. Y.; Chai, X. L.; Dai, X. H.; Mahajan, D. (2017). Occurrence state and molecular structure analysis of extracellular proteins with implications on the dewaterability of waste-activated sludge. *Environ. Sci. Technol.* 51, 9235-9243.

## DETECCIÓN, MODELACIÓN Y MONITOREO DEL SARGAZO: PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN DEL GRUPO DE ESTUDIO DEL SARGAZO DE LA UNIDAD ACADÉMICA SISAL

CHRISTIAN M. APPENDINI

El sargazo pelágico es una macroalga marina que flota y se desplaza a través de las corrientes marinas; éste ha sido observado en grandes cantidades desde el siglo XVI en el Mar de los Sargazos. En la última década, esta alga ha cobrado notoriedad por su arribazón masiva a las playas del Caribe. Estos arribazones masivos, principalmente compuestas por las especies *S. natas* y *S. fluitans*, comenzaron su proliferación en el Atlántico tropical en 2011, conformando lo que hoy se conoce como el “gran cinturón del sargazo” (Great Sargassum Belt - Wang *et al.*, 2019). La migración del sargazo a esta zona se atribuye a cambios en la Oscilación del Atlántico Norte durante el invierno de 2009-2010. En ese período, alteraciones en los vientos alisios permitieron que el sargazo saliera del Mar de los Sargazos y llegara al Atlántico tropical, donde encontró condiciones óptimas para su desarrollo (Johns *et al.*, 2020 y Oviatt *et al.*, 2019). Aunque esta zona de proliferación del sargazo beneficia la diversidad de la fauna marina, sus efectos son adversos cuando llega a las costas donde se generan zonas anóxicas que afectan negativamente los ecosistemas costeros. Adicionalmente, la descomposición del sargazo en las playas conlleva una serie de efectos negativos en el medio ambiente, la economía y la salud humana (Devault *et al.*, 2021).

La extensa acumulación de sargazo a lo largo de la costa implica un problema socioambiental significativo, en particular, en las playas de uso turístico; es ahí donde se buscan hoy en día estrategias de manejo, como las barreras antisargazo, concebidas con un diseño similar al empleado para controlar derrames de petróleo. Estas barreras tienen, no obstante, una efectividad limitada en casos de acumulación elevada y no resuelven el problema de la formación de zonas anóxicas. De ahí que otra solución que se ha propuesto es la de recolectar el sargazo a cierta distancia de la costa, para lo cual, se requiere determinar la ubicación óptima de la macroalga. Lamentablemente, las actuales metodologías de detección remota y pronóstico de sargazo no permiten tomar decisiones rápidas

sobre la recolección de sargazo en alta mar, hasta el momento, no se ha implementado su recolección.

En respuesta a este desafío, en el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros de la Unidad Académica Sisal del Instituto de Ingeniería de la UNAM en Yucatán, hemos creado el Grupo de Estudio del Sargazo (GES). Nuestro objetivo es determinar de manera precisa el movimiento del sargazo en el océano hasta su arribo a las playas. Entre las actividades de investigación que desarrollan los integrantes del GES se encuentran: la detección y monitoreo satelital, la modelación física del transporte del sargazo, la modelación numérica del transporte del sargazo, el monitoreo de arribazones en las playas mediante cámaras fijas y el seguimiento del sargazo a través de la participación de la ciencia ciudadana. A continuación, se presenta un breve resumen de estas áreas de investigación.

Para la detección y seguimiento satelital del sargazo existen varios algoritmos que son utilizados (Cuevas *et al.*, 2018; Hu, 2009; Wang y Hu, 2016). No obstante, en el GES estamos optimizando algoritmos de detección de sargazo por medio de visión computacional y la incorporación de distintos sensores para obtener la distribución del sargazo a diferentes escalas espaciales. Este trabajo lo desarrolla la Dra. Abigail Uribe Martínez bajo el proyecto posdoctoral CONAHCYT titulado *Patrones espaciotemporales de distribución, acumulación y transporte del sargazo pelágico en el Caribe mexicano utilizando técnicas de aprendizaje computacional*.

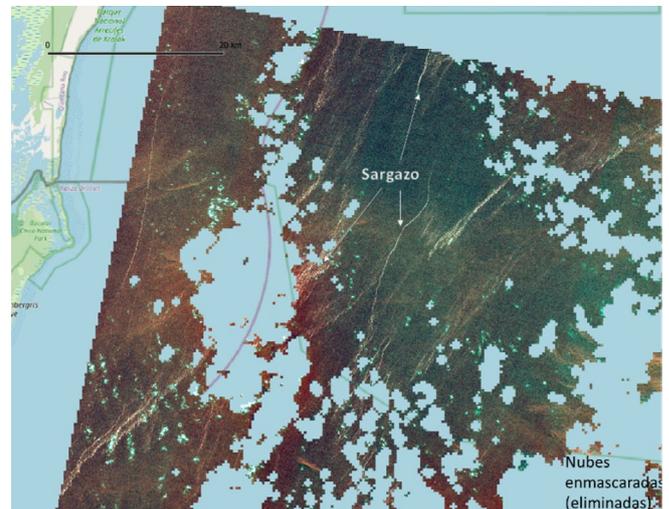


Figura 1. Índice múltiple de sargazo que suministra información cualitativa sobre la probabilidad de que cada píxel represente sargazo (Elaboró: Abigail Uribe Martínez)

Contar con información precisa sobre la ubicación del sargazo en altamar posibilita alimentar modelos numéricos que simulan su transporte impulsado por las corrientes. No obstante, el viento y la deriva de Stokes constituyen elementos importantes a considerar en estos modelos, dado que estos factores tienen la capacidad de desplazar el sargazo hacia nuevas rutas que no serían alcanzadas únicamente por la acción de las corrientes (Allende-Arandía *et al.*, 2023; Putman *et al.*, 2018). En la mayoría de los estudios, se sugiere utilizar un porcentaje entre 1 y 3% de los vientos como un factor que afecta el transporte del sargazo. Esto se debe a que una parte de esta alga se sitúa en la superficie y su desplazamiento se ve directamente influenciado por los vientos y por la deriva de Stokes del oleaje. Sin embargo, no hay trabajos publicados de modelación física que respalden estos porcentajes. De ahí que, bajo la iniciativa de colaboración de la Universidad de Illinois y la UNAM se obtuvieron los fondos para el proyecto titulado *Towards a holistic assessment of marine debris monitoring, detection and removal: the case of sargassum rafts from laboratory to field scales* liderado por los Doctores Bernardo Figueroa Espinoza (UNAM) y Rafael Tinoco (UIUC). Su objetivo principal ha sido determinar tanto el efecto del viento como la deriva de Stokes sobre el transporte de sargazo por medio de mediciones directas en una canal de olas y viento para incorporar estos resultados en los modelos numéricos.

En lo que respecta al empleo de modelos numéricos, hemos implementado modelos lagrangianos para trazar las rutas principales de transporte desde el Atlántico tropical hasta el Golfo de México, así como para identificar las barreras naturales al transporte (Allende-Arandía *et al.*, 2023). Como continuación a estos modelos lagrangianos, hemos trabajado en establecer correlaciones entre distintos índices climáticos y la predominancia de las diversas rutas de transporte. Este enfoque tiene como objetivo contribuir a la elaboración de pronósticos estacionales de sargazo. Estos pronósticos servirán para la implementación de medidas preventivas con meses de anticipación, de manera similar a los pronósticos que se realizan para las temporadas de huracanes, anticipando el número de sistemas nombrados que se pueden esperar en la próxima temporada. Asimismo, estamos en las fases iniciales de implementación de un modelo costero, con el propósito de obtener pronósticos más precisos sobre los arribazones a las playas. Este modelo se plantea como una mejora respecto a los pronósticos actuales, que se basan en modelos hidrodinámicos globales como son el HYCOM y Mercator. Estos avances han sido posibles gracias al financiamiento de la DGAPA a través de los proyectos PAPIIT TA100420 *Caracterización de patrones de transporte en el Mar Caribe* e IA101122 *Estudio de variabilidad de las corrientes desde el Atlántico Tropical hasta la Corriente de Lazo con aplicaciones a los arribazones de sargazo*.

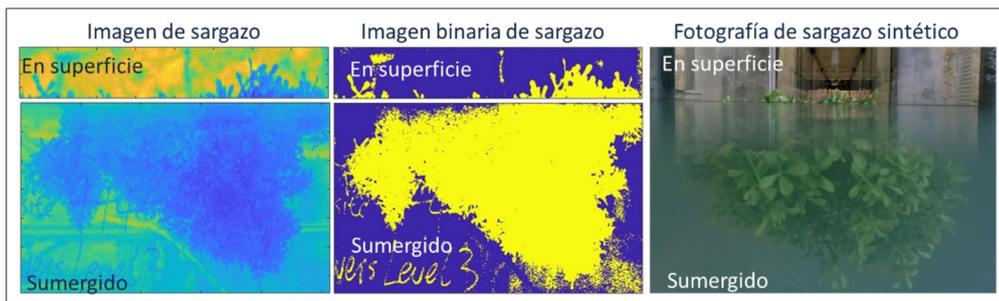


Figura 2. Representación visual del sargazo real mostrando la parte sumergida y la parte en superficie, en comparación con el sargazo sintético empleado en los ensayos físicos

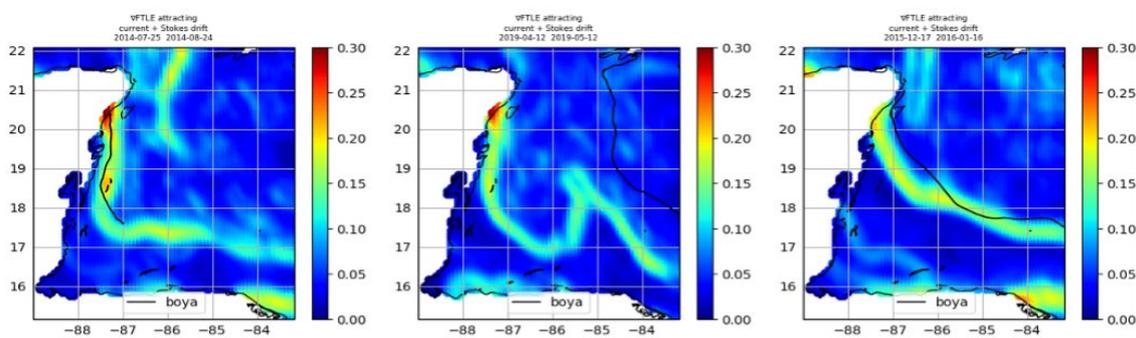


Figura 3. Gradiente del exponente de Lyapunov en tiempo finito (FTLE) atrayente considerando corrientes y deriva de Stokes. Estas estructuras indican las rutas de transporte entre el Mar Caribe y las costas de Quintana Roo (Elaboró: Ricardo Quintana Barranco)

En cuanto al monitoreo a través de cámaras fijas, hemos registrado los arribazones de sargazo en Puerto Morelos desde 2015, lo que nos permitió establecer un modelo conceptual para comprender los arribazones de sargazo y su remoción natural en la laguna arrecifal (Rutten *et al.*, 2021). Asimismo, hemos desarrollado algoritmos para rastrear las manchas de sargazo en el mar (Lopez Portillo *et al.*, 2022). Recientemente, hemos creado cámaras de bajo costo y estamos colaborando para instalarlas en distintas ubicaciones de la costa de Quintana Roo, incluyendo Xcalak, Akumal, Cozumel y Puerto Morelos. Además de establecer modelos conceptuales para las diversas áreas de instalación, la información recabada por estas cámaras no sólo servirá para validar nuestros sistemas de pronóstico de arribazones de sargazo, también, contribuirá a la calibración de los modelos de transporte durante su operación en modo pronóstico.

Es importante señalar que la instalación de cámaras fijas implica la necesidad de infraestructura. Por esta razón, hemos iniciado una propuesta para implementar estaciones de monitoreo ciudadano basadas en la aplicación CoastSnap (Harley y Kinsela, 2022). Esta aplicación posibilita que la comunidad capture fotografías de la playa, facilitando el análisis de los cambios en la línea de costa. El mismo sistema puede ser empleado para el monitoreo del sargazo, mediante el desarrollo de algoritmos similares a los de CoastSnap, pero con el propósito de corregir las imágenes y generar información objetiva sobre los arribazones de sargazo. Recientemente, hemos instalado una estación en Puerto Morelos bajo el proyecto con la Universidad de Illinois y otra

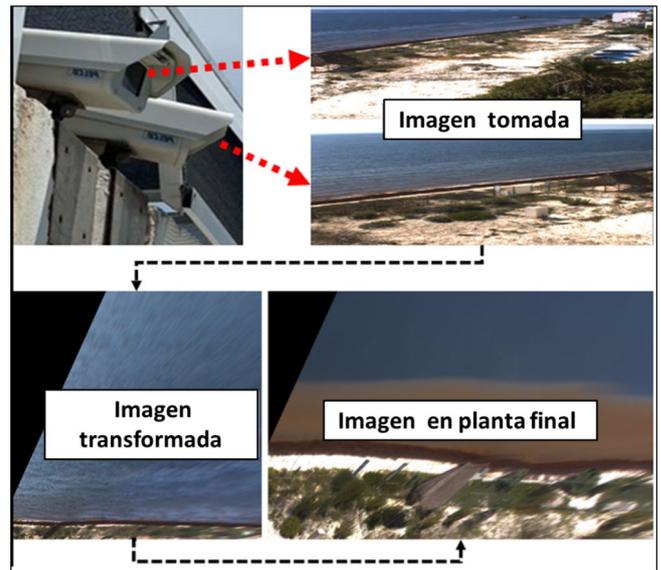


Figura 4. Diagrama del monitoreo con cámaras fijas y transformación de imágenes

en Xcalak en colaboración con la Universidad de Southampton bajo el proyecto SARTRAC, con apoyo de la Dra. Laura Carrillo del ECOSUR de Quintana Roo. Asimismo, tenemos planes de instalar otras estaciones de monitoreo ciudadano en otras localidades con el apoyo del proyecto SARTECH de la Dra. Victoria Domínguez y del proyecto PAPIIT IT101024 *Monitoreo ciudadano para el desarrollo de un sistema de alerta*



Figura 5. Estación de CoastSnap de Ciencia Ciudadana en el muelle de la UNAM en Puerto Morelos, Quintana Roo

*temprana de sargazo*. Estas estaciones permitirán generar más información para la validación de los pronósticos de arribazones de sargazo desde el océano.

A través de estos esfuerzos, el Grupo de Estudio del Sargazo (GES) busca desarrollar un sistema de alerta temprana que permita realizar una detección precisa del sargazo en el océano, modelar su transporte a las costas del Caribe Mexicano y validar estos modelos para mejorar, de manera continua, los pronósticos. El propósito fundamental de este sistema de alerta es facilitar la toma de medidas preventivas. No obstante, la información generada por estos trabajos también brinda la oportunidad de tomar medidas proactivas en la planificación en torno a los arribazones de sargazo. Esto se traduce en la capacidad de mitigar posibles efectos adversos, reforzando así, la preparación y respuesta frente a la presencia del sargazo en las costas.

## Referencias

1. Allende-Arandía, Ma. Eugenia; Duran, Rodrigo; Sanvicente-Añorve, Laura y Appendini, Christian M. (2023). Lagrangian Characterization of Surface Transport From the Equatorial Atlantic to the Caribbean Sea Using Climatological Lagrangian Coherent Structures and Self-Organizing Maps. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(7). <https://doi.org/10.1029/2023JC019894>.
2. Cuevas, Eduardo; Uribe-Martínez, Abigail y Liceaga-Correa, María de los Ángeles (2018). A satellite remote-sensing multi-index approach to discriminate pelagic Sargassum in the waters of the Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 39(11), 3608–3627. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1447162>.
3. Devault, Damien A.; Modestin, Emma; Cottureau, Victoire; Vedie, Fabien; Stiger-Pouvreau, Valérie; Pierre, Ronan; Coynel, Alexandra y Doliq, Franck (2021). The silent spring of Sargassum. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 15580–15583. <https://doi.org/10.1007/S11356-020-12216-7>.
4. Harley, Mitchell D. y Kinsela, Michael A. (2022). CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. *Continental Shelf Research*, 245, 104796. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104796>.
5. Hu, Chuanmin (2009). A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans. *Remote Sensing of Environment*, 113(10), 2118–2129. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.05.012>.
6. Johns, Elizabeth M.; Lumpkin, Rick; Putman, Nathan F.; Smith, Ryan H.; Muller-Karger, Frank E.; T. Rueda-Roa, Digna; Hu, Chuanmin; Wang, Mengqiu; Brooks, Maureen T.; Gramer, Lewis J. y Werner, Francisco E. (2020). The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, 182(September 2019), 102269. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102269>.
7. López Portillo, José Antonio; Casasola, Iván; Escalante-Ramírez, Boris; Olveres Montiel, Jimena; Arriaga, Jaime y Appendini, Christian (2022). Sargassum detection and path estimation using neural networks. In Peter Schelkens & Tomasz Kozacki (Eds.), *Optics, Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications VII* (p. 35). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2621537>.
8. Oviatt, Candace A.; Huizenga, Kristin; Rogers, Caroline S. y Miller, W. Jeff. (2019). What nutrient sources support anomalous growth and the recent sargassum mass stranding on Caribbean beaches? A review. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.049>.
9. Putman, Nathan F.; Goni, Gustavo J.; Gramer, Lewis J.; Hu, Chuanmin; Johns, Elizabeth M.; Trinanés, Joaquín y Wang, Mengqiu (2018). Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, 165(June), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.06.009>.
10. Rutten, Jantien; Arriaga, Jaime; Montoya, Leonardo D.; Mariño-Tapia, Ismael J.; Escalante-Mancera, Edgar; Mendoza, E. Tonatiuh; Van Tussenbroek, Brigitta I. y Appendini, Christian M. (2021). Beaching and Natural Removal Dynamics of Pelagic Sargassum in a Fringing-Reef Lagoon. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(11), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2021JC017636>.
11. Wang, Mengqiu y Hu, Chuanmin (2016). Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 183, 350–367. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.019>.
12. Wang, Mengqiu; Hu, Chuanmin; Barnes, Brian B.; Mitchum, Gary; Lapointe, Brian y Montoya, Joseph P. (2019). The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, 364(6448), 83–87. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAW7912>.

[www.iingen.unam.mx](http://www.iingen.unam.mx)

## ESTUDIO DE FLUJOS BIFÁSICOS DE ALTA VISCOSIDAD: UN ENFOQUE MODERNO CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES

LIZETH TORRES, WASSILA AJBAR,  
JONATHAN HERNÁNDEZ, JOSÉ ENRIQUE GUZMÁN,  
ARTURO PALACIO, ALEJANDRO RODRÍGUEZ

La investigación de flujos bifásicos de alta viscosidad es fundamental debido a su presencia en diversos procesos industriales, especialmente en los sectores de petróleo, gas, ingeniería química y procesamiento de alimentos. En este contexto, las tuberías desempeñan un papel protagonista, ya que actúan como las venas que dirigen estos flujos. No obstante, es importante resaltar que las tuberías pueden convertirse en un punto vulnerable para la seguridad en estos procesos industriales si no se diseñan, operan y mantienen de manera adecuada. El riesgo de fallas en tuberías se atribuye a varios factores identificados; destacan el diseño deficiente, prevenible con atención detallada en la fase de diseño, y la amenaza de corrosión, evitable con mantenimiento preventivo. Sin embargo, los riesgos más elevados surgen durante la fase de operación.

Durante la operación de tuberías, los aumentos repentinos de presión representan un riesgo con repercusiones drásticas, especialmente en aquellos casos donde se transportan flujos con alta viscosidad. Aún así, este riesgo puede atenuarse mediante la implementación de sistemas automatizados de supervisión conformados por sensores inteligentes y modelos predictivos basados, por ejemplo, en Redes Neuronales Artificiales (RNA). Para diseñar sistemas de supervisión es necesario investigar los fenómenos que provocan los cambios súbitos de presión. Algunos de estos fenómenos son la transición de régimen de flujo y la formación de tapones, que son ocasionados por las variaciones en la velocidad del flujo, por la relación de mezcla entre las fases, por las condiciones del sistema y por la naturaleza compleja del flujo bifásico. Esta última causada por la interacción dinámica entre fases, cada una con propiedades físicas muy diferentes. Por ello, identificar de manera temprana estos fenómenos es esencial para ajustar automáticamente las condiciones operativas y salvaguardar la operación de los sistemas de transporte.

A diferencia del flujo monofásico, que se clasifica únicamente en flujo laminar en transición y turbulento; el flujo bifásico

presenta diversos regímenes conocidos como patrones de flujo. Estos patrones son estructuras geométricas en constante evolución temporal y espacial, configuradas por la distribución de las dos fases dentro de la tubería por la que fluyen. Muchos patrones de flujo ya han sido clasificados, lo que permite su identificación cuando aparecen (ver Figura 1). Además, es posible inducir y controlar estos patrones para satisfacer de manera específica las necesidades de cada proceso, tales como los objetivos de transferencia de calor, la eficiencia de mezcla, la distribución de fases necesaria y la capacidad del sistema para gestionar fluctuaciones. En consecuencia, no hay un patrón de flujo universalmente adecuado para todos los procesos, ya que diferentes aplicaciones pueden requerir enfoques distintos. Sin embargo, algunos regímenes de flujo se consideran más propensos a desafíos y riesgos, entre ellos:

**Flujo de Tapones:** Los tapones son regiones cilíndricas voluminosas de una fase que se desplazan a través de la otra. En el caso de flujo líquido-gas, el término flujo de tapones se refiere a la presencia de cilindros de gas arrastrados por un líquido continuo, cuya presencia puede generar cambios súbitos de presión.

**Flujo Anular:** Cuando hay un flujo rápido y concentrado de una fase en el centro de la tubería, puede generar condiciones turbulentas y cambios bruscos en la distribución de fases. Esto podría afectar la estabilidad del sistema.

**Flujo Burbuja:** Si hay burbujas de gas de gran tamaño en el flujo, pueden causar interferencias significativas en la transferencia de calor y provocar fluctuaciones en la presión.

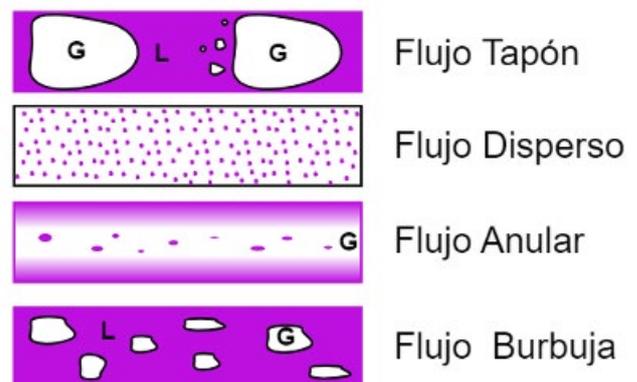


Figura 1. Patrones de Flujo Bifásico

Al conocer e identificar los patrones de flujo asociados con situaciones de riesgo, se pueden tomar medidas preventivas antes de que se intensifiquen los problemas. Por ejemplo, se pueden ajustar los parámetros de entrada, como la inyección de líquido, o sintonizar los sistemas de control para prevenir transiciones no deseadas. En resumen, la identificación de patrones de flujo no sólo permite una comprensión más profunda del comportamiento del sistema, también, brinda la capacidad de implementar estrategias proactivas. Para ello, se han utilizado diversas herramientas y técnicas. Algunas de las más comunes incluyen el uso de sensores y medidores tradicionales como sensores de presión, caudalímetros y medidores de nivel que, aunque no identifican directamente los patrones de flujo, proporcionan información clave que puede ser utilizada en conjunto con otras técnicas para inferir el régimen de flujo, tales como técnicas estadísticas y de procesamiento de señales. Otros tipos de sensores menos convencionales son los sensores de impedancia eléctrica que miden las variaciones en la conductividad del fluido, por tanto, pueden utilizarse para la identificación basándose en las propiedades eléctricas de las fases<sup>[1]</sup>.

Otra técnica común es la visualización directa a través de cámaras instaladas en la tubería o mediante ventanas transparentes en el sistema. Sin embargo, esta opción puede ser limitada en sistemas cerrados o de difícil acceso. Una mejora de la visualización directa es el uso de técnicas de procesamiento de imágenes capturadas con cámaras y posteriormente procesadas con algoritmos de visión. Por otro lado, las RNA y otros algoritmos de aprendizaje automático han demostrado ser eficaces en la identificación de patrones de flujo a partir de datos recopilados. Pueden analizar patrones complejos y adaptarse a cambios en las condiciones del sistema.

La identificación de patrones de flujo mediante RNA implica dos procesos clave: extracción de características y clasificación.<sup>[2]</sup> Diversos estudios han propuesto diferentes métodos utilizando RNA y otros algoritmos de aprendizaje automático, que ofrecen mejoras en precisión y eficiencia en comparación con métodos tradicionales. Las RNA han sido utilizadas tanto para identificar patrones de flujo como para predecir el comportamiento de caídas de presión<sup>[3]</sup> y las fracciones de vacío (*hold up*)<sup>[4]</sup> también, para corregir errores de medición de caudalímetros<sup>[5]</sup> y para caracterizar flujo de tapones, entre otras muchas aplicaciones.<sup>[6]</sup>

Siguiendo esta tendencia e innovando para crear otras, investigadores y estudiantes de la Subdirección de Electromecánica, particularmente de las Coordinaciones tanto de Eléctrica y Computación como la de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM), colaboran para desarrollar inteligencia artificial que ayude a optimizar la operación de sistemas de transporte de flujo bifásico de alta viscosidad. Además, trabajan en la creación de

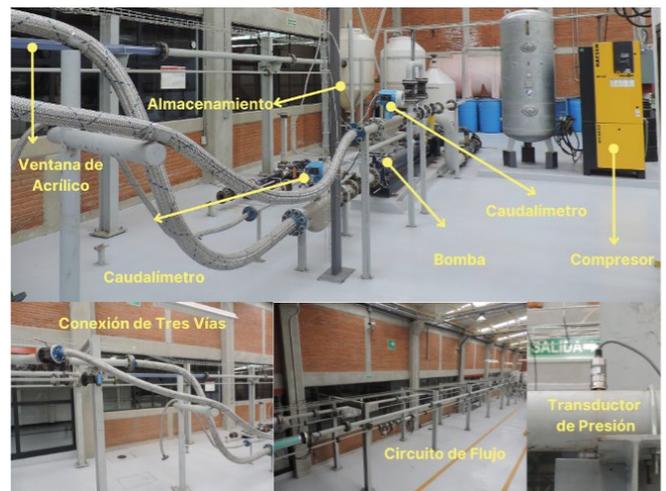


Figura 2. Circuito experimental de flujo multifásico

sistemas de supervisión y control destinados a salvaguardar la integridad de dichos sistemas. Para ello, en el Laboratorio de Flujos Multifásicos del IIUNAM, se instaló un circuito experimental. Su diseño fue concebido después de realizar una serie de visitas a laboratorios de punta que cuentan con instalaciones que representan el estado actual en circuitos multifásicos. Este avance fue posible gracias al respaldo financiero proporcionado por CONACyT. La Figura 2 muestra una serie de fotografías de este circuito donde es posible hacer fluir tres tipos de flujos: aire, agua y glicerina. Este circuito se compone de una tubería de 54 metros de longitud y 3" de diámetro, en la que se instalaron cuatro transductores de presión distribuidos a lo largo de su recorrido, así como tomógrafos y una sección de acrílico que permite visualizar el flujo y videograbarlo con cámaras de alta velocidad. También, cuenta con un circuito alterno de 1" de diámetro. Para suministrar la fase líquida se utiliza una bomba de cavidad progresiva (Seepex Mod. BN35-24). Esta bomba es capaz de proporcionar caudales máscicos constantes que varían entre 0.0 y 6.1 kg/s. Para suministrar aire seco a temperatura ambiente, se emplea un compresor (Kaeser Aircenter SK.2). La mezcla de ambas fases tiene lugar en la conexión de 3 vías, como se muestra en la Fig. 1. Para medir los caudales máscicos de entrada, se utilizan caudalímetros (Endress-Hausser Coriolis) con una precisión de  $\pm 0.1\%$ ; mientras que para medir las presiones se emplea un conjunto de transductores convencionales (MEAS U5300) con una precisión de  $\pm 1\%$ .

Con los datos que se han adquirido durante la realización de experimentos en el circuito de flujo multifásico del IIUNAM, se han desarrollado en los últimos años varias aplicaciones basadas en RNA. Algunas de estas se describen a continuación.

**Identificación de gastos máxicos:** se implementaron dos redes neuronales convolucionales (RNC) para estimar los gastos máxicos de glicerina y aire inyectados en la entrada del circuito de flujo. Para las fases de entrenamiento, validación y pruebas se utilizaron imágenes (\*.jpg) de espectrogramas construidos a partir de datos de presión adquiridos experimentalmente. Estos espectrogramas se construyeron utilizando la transformada de Fourier de tiempo corto (ver Figura 3). La correlación de la predicción de ambas redes neuronales con respecto a datos experimentales fue alrededor de 80%. Estos resultados, que parecen modestos, se obtuvieron con un número limitado de imágenes, por lo que se sigue trabajando en la realización de experimentos que complementen los ya ejecutados, así como en la mejora de la eficiencia de predicción de las redes.<sup>[7]</sup>

**Predicción de las presiones en coordenadas específicas del circuito:** Se desarrolló un conjunto de modelos basados en RNA para predecir la evolución temporal de las fluctuaciones de presión a lo largo de una tubería horizontal. Específicamente, el enfoque se centra en la predicción de estas fluctuaciones que se generan por el desplazamiento simultáneo de masas de aire y glicerina, en coordenadas espaciales predeterminadas.

Los modelos se alimentan de los gastos de flujo máxico de ambas fases medidos en la entrada de la tubería, junto con valores de presión medidos en ubicaciones previas a la ubicación de la presión a predecir. Con el fin de determinar la arquitectura óptima para la RNA, se probaron cuatro funciones de transferencia en la capa oculta y se usó el algoritmo de Levenberg-Marquardt para la etapa de entrenamiento. Posteriormente, los modelos fueron evaluados estadísticamente mostrando una capacidad para proporcionar predicciones con un  $R_2$  superior a 0.98.

**Predicción de la presión de salida:** se desarrolló una colección de RNA con diversas arquitecturas para descubrir el modelo más adecuado para predecir la presión de salida de una tubería horizontal con flujo bifásico de alta viscosidad. Las RNA se construyeron combinando tres diferentes variables de entrada (gasto máxico de aire, gasto máxico de glicerina y mediciones de presión en puntos espaciales específicos). Cada una de estas RNA fue entrenada con una cantidad variable de neuronas en la capa oculta. En especial, una RNA mostró los mejores resultados con un valor de  $R^2=0.9943$  [8]. Un esquema general de estos modelos se muestra en la Figura 4.

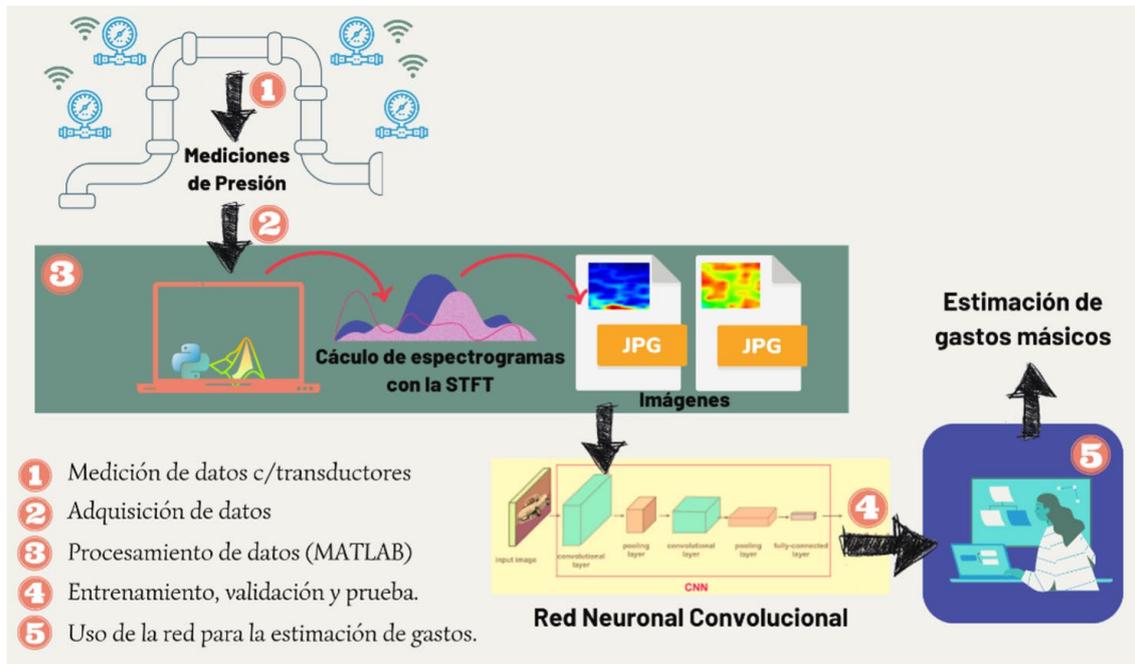


Figura 3. Procedimiento para la estimación de gastos máxicos empleando RNC

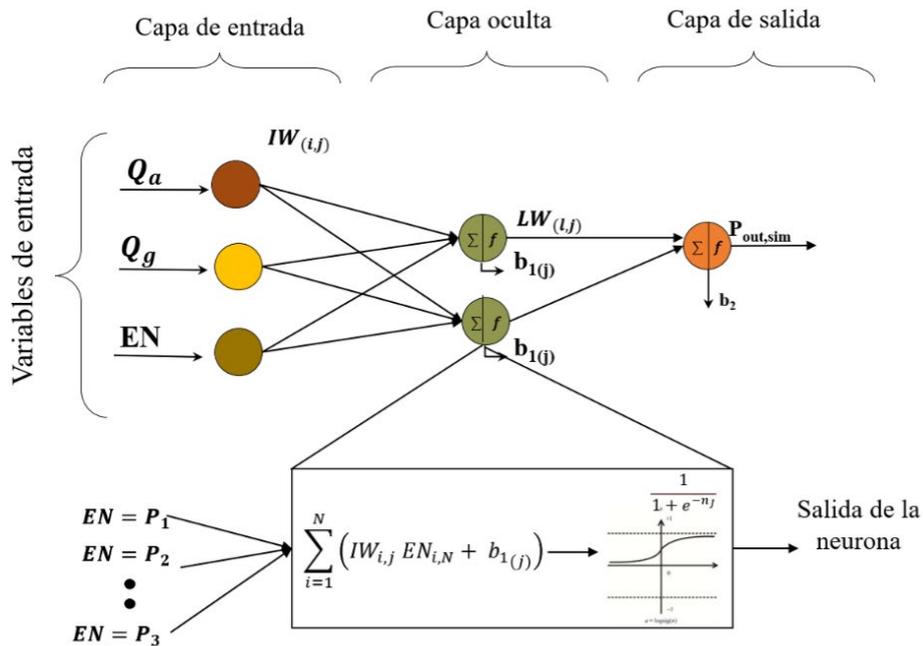


Figura 4. Esquema de RNA para la estimación de una presión cerca de la descarga

Además de estas aplicaciones de RNA, que ya fueron publicadas en revistas y congresos de gran prestigio, actualmente, se están desarrollando y aplicando nuevas RNA para predecir las fracciones de vacío mediante mediciones de presión. Además, se está explorando la regulación de presiones mediante RNA inversas y algoritmos de optimización.

Para concluir, es importante destacar que la aplicación de la inteligencia artificial para comprender la complejidad del flujo bifásico con fluidos altamente viscosos tiene bifurcaciones que conducen a áreas de investigación aún inexploradas. Explorar estas áreas es esencial para desarrollar nuevas tecnologías que resulten beneficiosas para la sociedad. |

## Referencias

- Hernández, L.; Juliá, J. E.; Chiva, S.; Paranjape, S. e Ishii, M. (2006). Fast classification of two-phase flow regimes based on conductivity signals and artificial neural networks. *Measurement Science and Technology*, 17(6), 1511.
- Li, Q. (2008). "Flow Pattern Identification of Two-Phase Flow Using Neural Network and Empirical Mode Decomposition," En: Fourth International Conference on Natural Computation, Jinan, China, pp. 375-378.
- Alizadehdakhel, A.; Rahimi, M.; Sanjari, J. y Alsairafi, A. A. (2009). CFD and artificial neural network modeling of two-phase flow pressure drop. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 850-856.
- Azizi, S.; Awad, M. M. y Ahmadloo, E. (2016). Prediction of water holdup in vertical and inclined oil-water two-phase flow using artificial neural network. *International Journal of Multiphase Flow*, 80, 181-187.
- Liu, R. P.; Fuent, M. J.; Henry, M. P. y Duta, M. D. (2001). A neural network to correct mass flow errors caused by two-phase flow in a digital coriolis mass flowmeter. *Flow Measurement and Instrumentation*, 12(1), 53-63.
- Cozin, C.; Vicencio, F. E.; de Almeida Barbuto, F. A.; Morales, R. E.; Da Silva, M. J. y Arruda, L. V. R. (2016). Two-phase slug flow characterization using artificial neural networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65(3), 494-501.
- Rocha-Mancera, M. F.; Arce-Benítez, S.; Torres, L. y Vázquez, J. E. G. (2023). Estimation of Mass Flow Rates of Two-Phase Flow Using Convolutional Neural Networks. En: Kowalczyk, Z. (eds) *Intelligent and Safe Computer Systems in Control and Diagnostics. DPS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 545. Springer, Cham.
- Ajbar, W.; Torres, L.; Guzmán, J. E. V. y Palacio-Pérez, A. (2023). "Artificial Neural Networks for Predicting Pressure in High-Viscosity Two-Phase Flow: A Comparative Analysis." En: *Memorias del Congreso Nacional de Control Automático 2023*, Acapulco, Guerrero, México.

## COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE JALES SATURADOS EN MUESTRAS INALTERADAS

OSVALDO FLORES CASTRELLÓN

Los depósitos de jales o relaves, estructuras diseñadas para contener los residuos mineros, desempeñan un papel crucial en la gestión de los desechos generados por la industria minera (Figura 1). A lo largo de la historia, hemos sido testigos de eventos desafortunados que han revelado la vulnerabilidad inherente de estas estructuras y han subrayado la necesidad crítica de una gestión eficaz y segura de los relaves. Las fallas en los depósitos de jales no sólo representan amenazas ambientales significativas, también, pueden tener consecuencias devastadoras para las comunidades cercanas, para la biodiversidad y para la calidad del agua.

A medida que la demanda mundial de minerales ha aumentado, también, lo ha hecho la cantidad de jales generados, haciendo que los depósitos de jales sean instalaciones cada vez más grandes y complejas. La gestión segura y sostenible de estas estructuras constituye un desafío crucial en la industria minera contemporánea, donde la caracterización

dinámica de estas estructuras emerge como un elemento fundamental para evaluar y garantizar su estabilidad estructural a lo largo del tiempo.

La caracterización mecánica implica la evaluación de la resistencia y comportamiento de los jales bajo diferentes condiciones de esfuerzo, compacidad relativa y cantidad de finos del material. Esta información es esencial para determinar la estabilidad estructural de las instalaciones de almacenamiento de jales y para prever posibles eventos de falla.

Un análisis de estabilidad integral requiere la combinación de datos mecánicos e hidráulicos para modelar con precisión el comportamiento de los jales en diferentes escenarios. La información resultante se utiliza para diseñar medidas de mitigación, optimizar la gestión de residuos y garantizar la seguridad a largo plazo de las instalaciones de almacenamiento de estos materiales. La caracterización mecánica e hidráulica no sólo es fundamental para cumplir con los requisitos normativos y ambientales, también, es esencial para prevenir desastres, proteger el entorno circundante y asegurar la sostenibilidad.

En particular, la caracterización dinámica implica el análisis de las respuestas de los depósitos de relaves frente a cargas dinámicas, como las generadas por eventos sísmicos. Este enfoque no sólo reconoce la variabilidad de las fuerzas aplicadas sobre el depósito de jales, también considera las posibles interacciones dinámicas entre los materiales que la componen.

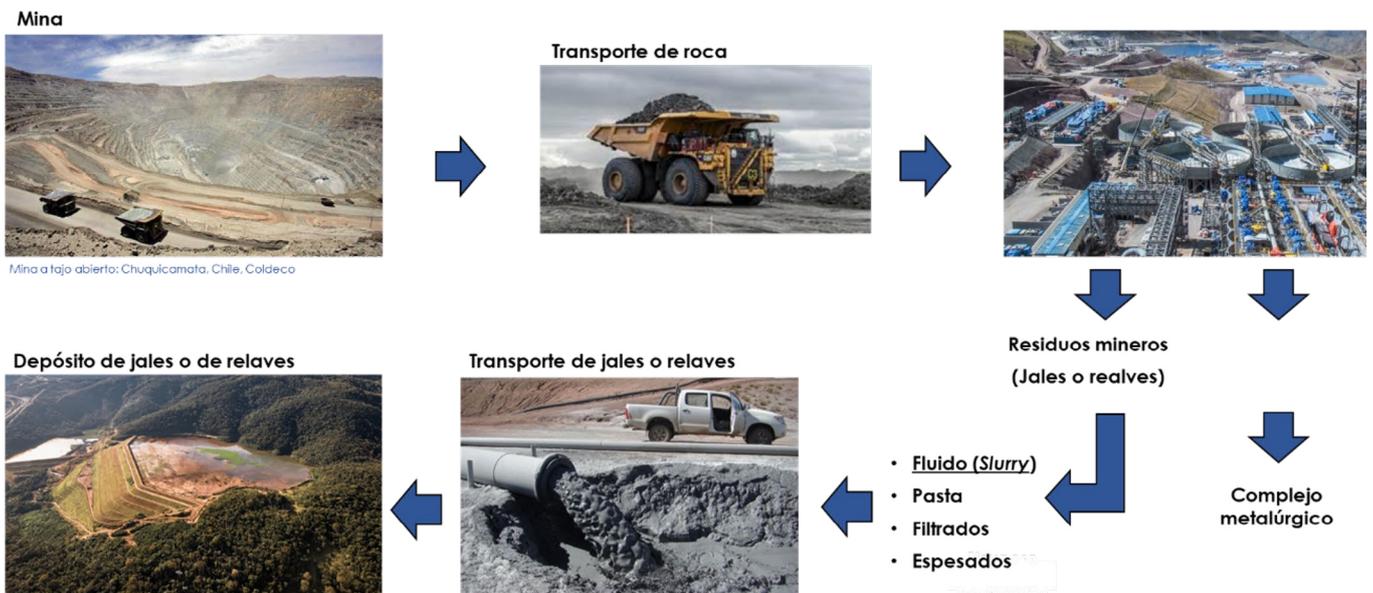


Figura 1. Proceso de extracción de roca, beneficio del mineral y almacenamiento de jales

En este trabajo se explora la importancia crítica de la caracterización dinámica de los jales y las variables que influyen en su comportamiento.

La caracterización dinámica de los jales bajo condición dinámica puede ser evaluada a partir de ensayos de laboratorio, los cuales, generalmente utilizan una señal periódica senoidal como excitación. Los equipos que comúnmente se utilizan son la columna resonante, que permite niveles de distorsión angular de 10-5 a 10-2 %, así como el equipo triaxial cíclico, con niveles de deformación de 10-2 a 10 %; este último si el suelo lo permite.

Las dos propiedades principales para el cálculo de respuesta son el módulo de rigidez al cortante dinámico  $G$ , el amortiguamiento  $\lambda$  y su variación con el incremento de la distorsión angular  $\gamma$ . Son numerosos los estudios realizados para la caracterización dinámica de suelos, desde los años sesenta cuando se dio un importante auge a este tipo de ensayos a la fecha (Hardin y Richart, 1963; Hall y Ricart, 1963; Hardin y Black, 1969; Drenevich y Richart, 1970; Hardin y Drnevich, 1972; Troncoso, 1995; Flores y Romo, 1998; entre otros).

En el caso de suelos granulares con bajo contenido de finos, se ha encontrado que las variables que gobiernan el comportamiento dinámico son la compacidad relativa y el nivel de esfuerzos efectivos. En el caso de los jales, cuyos contenidos de finos pueden estar entre 10 y 100 % con un intervalo de relación de vacíos entre 0.4 y 1.6, el porcentaje de finos toma un valor relevante en el comportamiento mecánico de estos materiales.

El objetivo de este trabajo es la caracterización dinámica de los jales inalterados de dos depósitos mineros, utilizando las dos técnicas descritas. Se buscará definir las variables que gobiernan el comportamiento dinámico de estos materiales.

## DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

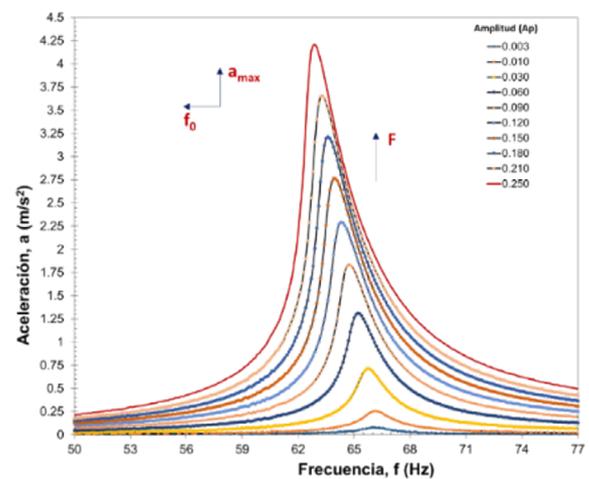
### Ensayo de columna resonante (CR)

La instrumentación del equipo está compuesta por tres sensores de presión (confinamiento, contrapresión y exceso de presión de poro) de 7.5 kg/cm<sup>2</sup>, un sensor de cambio de volumen de 30 cm<sup>3</sup> de capacidad y un acelerómetro de 2g.

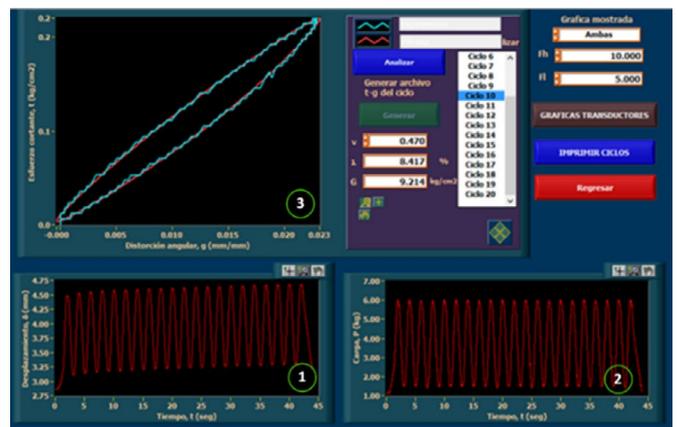
Para la ejecución del ensayo se aplica una señal de torsión periódica senoidal con fuerza constante, se incrementa la frecuencia de excitación en incrementos de 0.1 Hz y se registra la aceleración pico a pico de respuesta del suelo (barrido de frecuencias). Se grafica la aceleración de respuesta con la frecuencia de excitación y se define la curva de respuesta bajo vibración forzada, de la cual, se determina la aceleración máxima ( $a_{\text{máx}}$ ) y la frecuencia a la que ésta se presenta, definida como frecuencia de resonancia ( $f_0$ ). Se traza una línea horizontal en el valor de ( $a_{\text{máx}} / \sqrt{2}$ ), donde cruza la curva se identifican las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ . Con estos valores y los momentos polares de inercia de la probeta y del sistema que aplica la excitación, se determina el módulo de rigidez al cortante dinámico  $G$ , el amortiguamiento  $\lambda$ , y la distorsión angular  $\gamma$  (Figura 2a).

El procedimiento anterior se aplica para diferentes valores incrementales de fuerzas de excitación y para cada una de éstas se obtiene su respectiva curva de respuesta bajo vibración forzada, de tal forma que se tendrá un punto de la curva de degradación del módulo de rigidez y de incremento del amortiguamiento, a la que se suman los resultados del ensayo triaxial cíclico.

Debido a que las pruebas de CR son no destructivas, es posible consolidar la muestra por etapas, para obtener juegos de curvas de al menos tres niveles de esfuerzo de consolidación, de tal forma que se puede graficar el Módulo de rigidez máximo con el incremento del esfuerzo efectivo.



a) Resultados de columna resonante



b) Resultados de triaxial cíclico

Figura 2. Resultados experimentales de ensayos dinámicos

### Ensaye triaxial cíclico (TxC)

El ensaye triaxial cíclico se puede hacer en condiciones UU o CU, según se requiera. Para realizar este ensaye se ocupa un equipo triaxial cíclico compuesto por una cámara donde se aloja una celda de carga hidrostáticamente compensada (sumergible) de 250 kg de capacidad junto con la muestra de suelo que se ensayará. El vástago que aplica el esfuerzo desviador a la parte superior de la probeta de suelo, se conecta a través con un pistón neumático de doble vía que está a su vez conectado a un sensor de desplazamiento axial (LVDT) de 12 mm de carrera total para la medición y a una servo-válvula neumática con la que se hace el control del sistema para que opere a carga o desplazamiento controlado, por medio de un sistema de control y adquisición de datos automático.

El sistema cuenta, además, con un sensor de cambio de volumen de presión diferencial de 30 cm<sup>3</sup> de capacidad y tres sensores de presión de 7.5 kg/cm<sup>2</sup> de presión nominal de trabajo para medir el confinamiento, la contrapresión y el exceso de presión de poro.

Operando a carga controlada se aplica un esfuerzo desviador cíclico con 20 ciclos y una frecuencia de 1 Hz. Del total de ciclos se suele tomar intermedio (ciclo 10) y se grafica la curva carga axial vs desplazamiento. Se hacen algunos cálculos proponiendo un valor de relación de Poisson  $\nu$ , y se llega al ciclo de esfuerzo cortantes  $\tau$  vs distorsión angular  $\gamma$ . De aquí se obtiene el módulo de rigidez secante  $G$ , el amortiguamiento  $\lambda$  y la distorsión angular  $\gamma$  (Figura 2b). Se aplican esfuerzos desviadores mayores hasta llegar a la falla de la probeta.

Con los resultados del ensaye triaxial cíclico, sumado a los obtenidos con la columna resonante, es posible tener la curva completa de la degradación del módulo de rigidez y del incremento del amortiguamiento, con el aumento de la distorsión angular (Figura 3).

### PROGRAMA EXPERIMENTAL

Se ensayaron 12 probetas inalteradas de dos sitios, 6 del denominado S1 y 6 del S2, ambos de depósitos de jales del estado de Colima, con tres niveles de esfuerzo efectivo de consolidación para el ensaye de CR y el esfuerzo intermedio para la TxC. El porcentaje de finos osciló entre 7.69 y 98.29; la relación de vacíos entre 0.436 y 1.261; la densidad relativa de la fase sólida entre 2.56 y 3.52; el grado de saturación inicial entre 58 y 100 %; el peso específico entre valores de 1.55 a 2.3 t/m<sup>3</sup>; y el peso específico seco  $\gamma_d$ , entre 1.2 y 2.18 t/m<sup>3</sup>. Las muestras ensayadas se extrajeron en tubo Shelby de 4" y las probetas se labraron del mismo horizonte, para considerar la misma conformación estratigráfica.

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el caso de los ensayos de CR, se aplicaron tres niveles de esfuerzo de consolidación de 0.80, 1.3 y 2 kg/cm<sup>2</sup> y se obtuvieron las curvas de degradación del módulo  $G$ . De estas curvas se identificó el valor mayor de  $G$ , definido como  $G_{m\acute{a}x}$ , el cual se graficó con respecto al esfuerzo efectivo de consolidación. En la Figura 4 se muestra la variación del módulo de rigidez máxima con el esfuerzo efectivo de consolidación, donde se puede apreciar que para este tipo de materiales los valores de  $G_{m\acute{a}x}$  oscilan entre 365 y 1035 kg/cm<sup>2</sup>, para este intervalo de esfuerzos. Es claro el incremento de rigidez que sufre la probeta de suelo al aumentar el esfuerzo efectivo, sólo que con una tasa de cambio diferente.

Al graficar el valor de  $G_{m\acute{a}x}$  correspondiente a un esfuerzo efectivo de 0.80 kg/cm<sup>2</sup>, se aprecia que en general presentan una tendencia de incremento con el aumento del peso específico seco del material  $\gamma_d$ , tal como se aprecia en la Figura 5. Se puede ver que, aunque presentan dispersión los resultados, la variación es casi lineal en el intervalo de estudio.

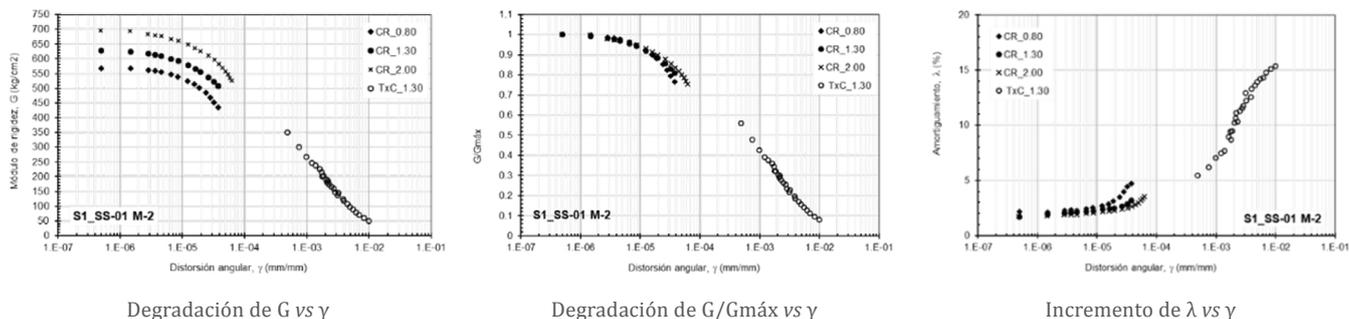


Figura 3. Ensaye triaxial para un nivel de esfuerzo desviador cíclico

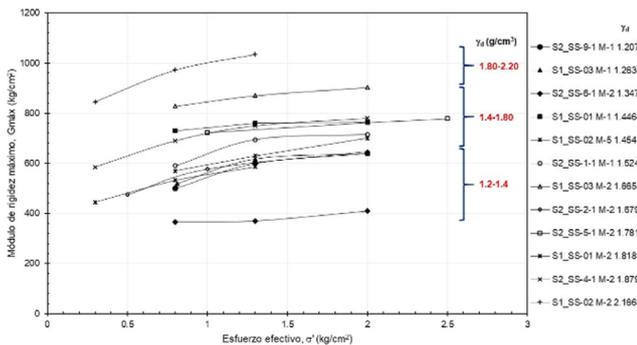


Figura 4. Variación de  $G_{\max}$  con el esfuerzo efectivo de consolidación  $\sigma'_c$

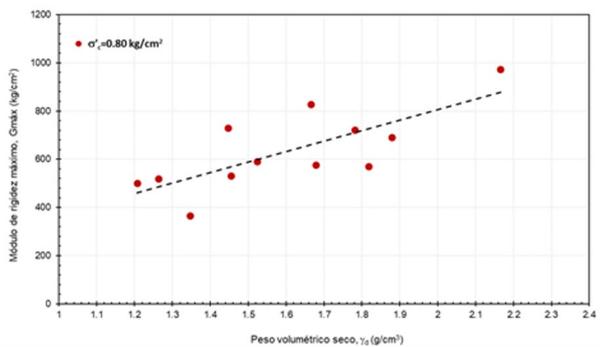


Figura 5. Variación de  $G_{\max}$  con el peso específico seco  $\gamma_d$

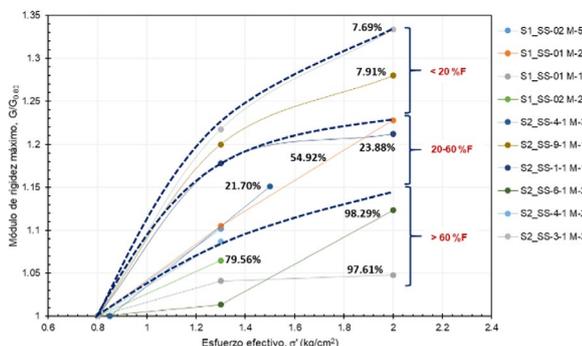


Figura 6. Variación de normalizada ( $G_{\max}/G_{\max(0.80)}$ ) con el esfuerzo efectivo de consolidación  $\sigma'_c$

Si se toma como referencia el módulo de rigidez máxima normalizado con respecto al obtenido para un esfuerzo efectivo de  $0.80 \text{ kg/cm}^2$ , la tasa de incremento depende en buena medida del porcentaje de finos del material, siendo menor la tasa con el incremento del porcentaje de finos: para jales con porcentaje de finos menores a 20%, el incremento puede estar entre 22 y 33%; para un intervalo de 20 a 60% de finos, entre 15 y 22% de incremento; y para materiales con más de 60% de finos, incrementos entre 4 y 15%, como se muestra en la Figura 6.

Lo anterior permite definir el peso específico seco y el porcentaje de finos como dos de las variables importantes en el comportamiento dinámico de los jales saturados en condiciones inalteradas.

## CONCLUSIONES

En el estudio realizado con 12 muestras inalteradas de jales de dos unidades mineras, se ejecutaron ensayos dinámicos de columna resonante y triaxial cíclica. Se pudo observar que el módulo de rigidez al cortante dinámico máximo se ve influenciado de forma directa por el peso específico seco del material.

Si se normalizan los módulos al obtenido con un esfuerzo efectivo de consolidación de  $0.80 \text{ kg/cm}^2$ ; se puede apreciar que la tasa de cambio disminuye conforme aumenta el porcentaje de finos, iniciando con una tasa de cambio de 34% cuando los finos son del orden de 7%, pero cambia a una tasa de cambio de 10% cuando el porcentaje de finos es cercano a 100%. Conforme se incrementa el porcentaje de finos de la muestra, menor es la rigidez del suelo.

## Referencias

- Drenevich, V. P. y Richart, F. E. Jr. (1970). Dynamic prestraining of dry sand. Journal of SMF Div, ASCE, Vol 96, No. SM2, Mar., pp. 453-469.
- Flores, O. (1997). Comportamiento dinámico de jales, Tesis de Maestría, DEPMI, UNAM.
- Flores, O. (2017). Determinación experimental de parámetros dinámicos en campo y laboratorio. SMIG, Villahermosa, Tab.
- Flores, O. y Romo, M. P. (1999). Comportamiento dinámico de residuos mineros. Revista del CICM, diciembre.
- Hardin, B. O. y Richart, F. E. (1963). Elastic wave velocities in granular soils, ASCE, Vol. 89, pp. 33-65.
- Hardin, B. O. y Black, W. L. (1969). Closure to vibration of normally consolidated clay, Proc. Of ASCE, Vol. 95, SM6, pp. 1531-1537.
- Hardin, B. O. y Drenevich, V. P. (1972). shear Modulus and damping in soils: design equations and curves, Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 98, No. SM7, July, pp. 667-692.
- Hall, J. R. y Richart, F. E. (1963). Dissipation of elastic waves energy in granular soils, Proc. of ASCE, Vol 89, SM6, pp 27-56.
- ICOLD (1995). Tailings dams and seismicity, Bulletin 98.



## ROSA MARÍA RAMÍREZ ZAMORA DIRECTORA 2024-2028

Quiero felicitar a la Dra. Ramírez Zamora por su designación como directora del Instituto de Ingeniería para el periodo 2024-2028. Desde su creación, este Instituto se ha caracterizado por la misión de contribuir con el desarrollo del país y el bienestar de la sociedad a través de la investigación en ingeniería, la educación de profesionales, la formación de especialistas y la vinculación con la sociedad. Durante casi siete décadas ha participado en los retos de la gran infraestructura de México, además de aportar soluciones de calidad, originales, útiles y competitivas en diversas disciplinas de la ingeniería, afirmó la Dra. María Soledad Funes, Coordinadora de la Investigación Científica.

El trabajo arduo de una sola persona -continuó la Dra. Funes Arguello-, no es suficiente para alcanzar las metas trazadas, por lo que es importante que la comunidad se comprometa con los objetivos que se planteen para este segundo periodo, para que de manera conjunta se tomen las decisiones que permitan que el Instituto y su comunidad avancen de manera colegiada.

Tengo plena confianza de que uniendo esfuerzos con su trabajo, voluntad y compromiso, van a lograr superar lo que se presente y que lo harán muy bien. Deben estar orgullosos, más no complacientes de lo logrado y los felicito.

Por su parte, la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, al tomar la palabra comentó: en primer lugar, quiero agradecer la confianza que me han brindado los miembros de la Junta de Gobierno para representar por segunda ocasión a este gran instituto; también, agradezco a quienes me han apoyado a lo largo de los pasados 4 años y a las personas que lo han hecho en el proceso de designación por un segundo periodo.

El primer periodo de la dirección estuvo lleno de retos y muchos desafíos tanto internos como externos, sobre todo, de grandes aprendizajes, esto debido a los dos años que tuvimos por

la pandemia a causa del COVID-19 y a la disminución de fuentes de financiamiento para el desarrollo de proyectos durante los cuales tuvimos que adaptarnos a nuevas formas de trabajo académico y de docencia a distancia.

Es cierto que tuvimos que adaptarnos a las circunstancias, pero nunca bajamos la guardia, y con el apoyo de la administración, así como de muchos miembros de nuestra comunidad seguimos siempre adelante.

Considerando lo anterior, quiero mencionar que el plan de trabajo 2024-2028 lo elaboré considerando los elementos que acabo de listar, pero también tomando en cuenta que existen muchas oportunidades y fortalezas que tenemos, una de ellas, es el gran prestigio que con mucha tenacidad y calidad forjaron nuestras generaciones pasadas; actualmente, tenemos grandes capacidades con la gente que contamos en el Instituto de Ingeniería. Sin duda, la persona titular de la dirección debe favorecer las condiciones y proponer nuevos mecanismos para facilitar el trabajo.

De los ocho ejes de mi Plan de trabajo, seis de ellos están interconectados entre sí para resolver problemas nacionales, tener una infraestructura de vanguardia, tener mayor producción que respalde una carrera académica y para ascender tanto dentro como fuera de nuestra universidad.

Además, por medio de un programa de pláticas de ingenieros de la práctica profesional, se pretende preparar a nuestros egresados a la vida profesional para que, nuestros estudiantes o egresados, tengan una preparación integral y sólida que les permitirá encontrar más fácilmente un trabajo, o bien, crear una empresa, incluso ambas cosas.

Ahora, le pido por favor a toda mi comunidad que unamos esfuerzos para el Instituto de Ingeniería y el país.

Por mi raza ha hablado y hablará el espíritu. |

### 4º INFORME DE LA DRA. ROSA MARÍA RAMÍREZ ZAMORA INSTITUTO DE INGENIERÍA

Quince días antes de la toma de posesión, la Dra. Rosa María Ramírez Zamora rindió su 4º Informe como directora para el periodo 2024 - 2028 ante el Dr. Leonardo Lomelí, rector de la UNAM, donde dijo que, con una población de 111 investigadores, cien técnicos académicos y 905 estudiantes, el Instituto de Ingeniería es una comunidad con valores éticos y de igualdad de género. Subrayó que 80% de los investigadores y 8% de los técnicos académicos pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores.

En cuatro años, el personal académico del IIUNAM se ha hecho acreedor a 63 premios como reconocimiento a sus aportaciones; destacó el nombramiento de la Dra. Cristina Verde Rodarte, primera mujer nombrada Miembro de Honor de la Academia de Ingeniería de México.

El Instituto de Ingeniería es una dependencia sustentable; prueba de ello, es la certificación del Laboratorio de Ingeniería Ambiental, el Distintivo Ambiental UNAM nivel Oro, así como el Primer lugar del Reto UNAM por el Agua que obtuvo recientemente.

Mencionó los numerosos programas de apoyo a la comunidad como el Programa Espora de soporte psicológico y el Programa COVID durante la pandemia.

Presentó los proyectos más relevantes con los que el personal académico contribuye a la solución de problemas nacionales a través de la firma de convenios, principalmente con dependencias del gobierno de la Ciudad de México como el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) y la de Obras y Servicios, así como con la Comisión Nacional de Agua y la Secretaría de la Defensa Nacional, sólo por mencionar algunas.

También, se trabajó en la formación de Grupos Interdisciplinarios de Investigación para apoyar la colaboración conjunta. De esta iniciativa resultaron cuatro proyectos evaluados y autorizados por el Consejo Interno: uno sobre el tema de Ciudades inteligentes, los otros sobre el Nexo-agua-energía-medio ambiente y seguridad alimentaria.

En cuanto a la eficiencia terminal de maestría y doctorado es un punto que hay que atender. Para apoyar la formación de los estudiantes se organizó la Olimpiada Estudiantil de Proyectos Interdisciplinarios de Ingeniería, así como los cursos de inglés y de redacción.

Por su parte, la Dra. María Soledad Funes Argüello, coordinadora de la Investigación Científica, -dijo- que con una población de más de 1600 personas el IIUNAM es una de las entidades más grandes del subsistema de la Investigación Científica, “quisiera felicitarlos por mantener, como una prioridad, el sistema de Becas financiado a través de sus labores de vinculación. El informe presentado por la Dra. Ramírez es un reflejo del trabajo cotidiano realizado por toda la comunidad, por lo que felicito a todo el Instituto y les invito a que continúen con el esfuerzo de construir el futuro que quieren para esta comunidad”.

Al tomar la palabra el Dr. Leonardo Lomelí Vanegas, rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, reconoció el trabajo de excelencia del Instituto y la importante participación que tuvieron durante la pandemia aportando soluciones ante la emergencia sanitaria como son: el medidor de concentración de CO<sub>2</sub>, la cámara termográfica dual con uso de inteligencia artificial, así como los termómetros portátil y fijo; todos ellos son proyectos innovadores con los que colaboró de manera destacada esta dependencia universitaria. Además, reconoció que la labor de docencia del personal del Instituto de Ingeniería es muy amplia, pues atienden a más de 900 estudiantes inscritos en los programas de posgrado.

Por último, felicitó a la Dra. Ramírez por su gestión. |



## PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS



### INVESTIGADORES EMÉRITOS

Felicitamos al Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria y a la Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros, investigadores titulares C del Instituto de Ingeniería, quienes fueron distinguidos como investigadores eméritos vitalicios. Distinción que otorga el Sistema Nacional de Investigadores a quienes se han destacado por haber contribuido al desarrollo nacional ya sea en actividades de investigación científica en universidades, instituciones de educación superior o centros de investigación del sector público en México. |



### PREMIOS TESIS IUNAM

En esta ocasión, el maestro Erik Saul Huidobro Medina obtuvo esta distinción con la tesis de maestría: *Evaluación de una técnica para identificar plásticos biodegradables, compostables o tóxicos con Zophobas sp*, trabajo que desarrolló bajo la supervisión de la Dra. María Neftalí Rojas Valencia.

Igualmente, Karol Adam Dudek, se hizo acreedor a este reconocimiento con la tesis de doctorado: *Development and localization of the innovative biorefinery scheme for biobutanol production from lignocellulosic biomass in Mexico*, bajo la dirección de la Dra. Idania Valdez Vázquez. |



### PREMIO NACIONAL “ANDRÉS MANUEL DEL RÍO”

La Dra. Rosa María Ramírez Zamora, recibió el Premio Nacional “Andrés Manuel del Río” que otorga la Sociedad Química de México, en la categoría Desarrollo Tecnológico. Este premio tradicionalmente se les ha otorgado a tecnólogos de industria, por lo que es relevante que se haya reconocido el desarrollo de la Dra. Ramírez, que además, forma parte de un Instituto diferente al de Química.

La ceremonia tuvo lugar el 30 de enero en el Salón del Real Tribunal de Minería y la Dra. Ramírez recibió diploma y medalla de manos del Dr. David Quintanar, nuevo presidente Nacional de la Sociedad Química de México A. C. |



### PREMIO AL MÉRITO EMPRESARIAL

Francisco Javier Cervantes Carrillo investigador de la Unidad Académica Juriquilla recibió el premio al mérito empresarial Querétaro 2023 en la categoría ciencia y tecnología. |

**¡Enhorabuena a todos los premiados!**

## 5ª EDICIÓN PREMIO FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL A LAS MEJORES TESIS EN RECURSOS HÍDRICOS

Felicitemos a la maestra en ingeniería Ruth Ángela Adame Villamil, por haber obtenido el premio Fernando González Villarreal a la mejor tesis nivel maestría en Recursos Hídricos con el trabajo: Estrategia para la selección del escenario conceptual más viable para el mejoramiento y aprovechamiento del agua de la laguna La Piedad en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Del mismo modo, a Susana Rodríguez Padilla, licenciada en Ciencias de la Tierra por haberse hecho acreedora al Premio Fernando González Villarreal a la mejor tesis nivel licenciatura en

Recursos Hídricos con el tema: Establecimiento de la línea base hidroquímica inorgánica del agua subterránea en la subcuenca de Chalco, Estado de México.

Finalmente, a la ingeniera civil Brenda Escobar Arriaga, quien recibió mención honorífica en el Premio Fernando González Villarreal a la mejor tesis nivel licenciatura en Recursos Hídricos con la tesis: Determinación de las constantes de decaimiento del cloro en un sector de la red de distribución de agua potable en la CDMX.



### NUEVOS NOMBRAMIENTOS

La Dra. Idania Valdez Vázquez será la responsable de la Subdirección de Unidades Académicas Foráneas, en sustitución del Dr. Germán Buitrón Méndez. Agradecemos al Dr. Buitrón su trabajo, compromiso y dedicación durante su gestión y le deseamos éxito en su año sabático. Estamos seguros que la Dra. Valdez tendrá un excelente desempeño, pues cuenta con las competencias necesarias para lograr los objetivos de la Subdirección.



### SOCIEDAD PANAMERICANA DE INVESTIGACIÓN EN TRANSPORTE Y LOGÍSTICA

Nos da mucho gusto que la Dra. Angélica del Rocío Lozano Cuevas fue electa como vicepresidenta de la Sociedad Panamericana de Investigación en Transporte y Logística PANAMSTR 2023-2025. Le deseamos a la Dra. Lozano mucho éxito en esta nueva encomienda.



La Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería, inauguró la Reunión Informativa Anual (RIA) 2024 el pasado 22 de enero. Manifestó que ésta es una oportunidad para que el personal académico comparta el avance de sus investigaciones, se estrechen lazos de amistad y establezcan relaciones de colaboración, ya que actualmente, es indispensable que los proyectos de investigación se desarrollen de manera multidisciplinaria.



A lo largo de tres días se presentaron treinta ponencias de algunas de las investigaciones más importantes que se están llevando a cabo en el IIUNAM.

Las coordinaciones participantes fueron Ingeniería Ambiental, Eléctrica y Computación, Estructuras, Geotecnia, Hidráulica, Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales, Ingeniería Sismológica y Sistemas, Mecánicos, Energéticos y de Transporte.

La RIA fue una Reunión exitosa pues se presentaron proyectos que abordan problemas relevantes.

¡A todos los participantes Enhorabuena! |



# PREMIACIÓN PRIMERA OLIMPIADA ESTUDIANTIL DE PROYECTOS INTERDISCIPLINARIOS DE INGENIERÍA (OE-PII) IIUNAM 2023

Tras el éxito alcanzado en la Primera Olimpiada Estudiantil de Proyectos Interdisciplinarios de Ingeniería (OE-PII) IIUNAM 2023, con el lema "Visión y propuestas de solución de los jóvenes frente a los retos de la Ingeniería en el Siglo XXI", se llevó a cabo el pasado miércoles 7 de febrero, la ceremonia de premiación de los equipos ganadores, los cuales desarrollaron diversos proyectos enfocados en la búsqueda de soluciones integrales, abordando desafíos del mundo real y reduciendo el impacto ambiental en industrias como la construcción y de gestión de energía, entre otras.

La creación de los Grupos Interdisciplinarios incluyó a estudiantes y miembros de la comunidad académica del Instituto de Ingeniería, así como de las Facultades de Química e Ingeniería de la UNAM, del IPN y de la UAM, que se reunieron para proponer ideas de proyectos y desarrollos o prototipos preliminares, que abordaran desafíos de ingeniería, con el objetivo de contribuir al progreso del país en función de dos ejes: el primero sobre Ciudades Inteligentes y Sustentables, el segundo sobre el Nexa Agua-Energía-Ambiente-Seguridad Alimentaria.

El plan de desarrollo de estos proyectos incluyó un programa de capacitación, el cual, se diseñó como apoyo para que los miembros de los equipos participantes en la Olimpiada Estudiantil lograsen el objetivo final de crear una Empresa de Base Tecnológica (EBT). Este plan estuvo dividido en cuatro unidades: 1) Proyectos de innovación tecnológica para desarrollar productos, procesos y servicios; 2) Modelos de negocio de empresas y empresas de base tecnológica (EBT); 3) Propiedad intelectual y Vinculación Universidad-Industria y 4) Transferencia tecnológica. Con esto se logró crear una estructura más robusta a cada uno de los proyectos participantes.

Así fue como, el pasado 7 de febrero se realizó la ceremonia de premiación de los equipos ganadores, siendo ECOCONCRETE ganador del primer lugar, el equipo NUST segundo lugar y los equipos LORA y 5G UNAM empatados en tercer lugar.

El equipo ganador ECOCONCRETE, integrado por María Gabriela Carmona Acosta, Ana Cristina Flores Martínez, Ana María García Granobles y Luis Iván Velasco Enríquez, asesorado por la Dra. Tania Ariadna García Mejía, presentó su proyecto de cementos activados alcalinamente para la industria de la construcción tomando subproductos de otras industrias para reintroducirlos en una cadena de valor; tales como el uso de vidrio, escombros de la construcción y ceniza



de bagazo de caña de azúcar (constituyendo al menos 10 % de cada componente) para su aplicación en elementos en la industria de la construcción. En este proyecto se logró obtener un nuevo material similar al concreto con una resistencia a la compresión preliminar de 10 MPa y una huella de carbono 62 % menor que el cemento Portland convencional, adecuado para la elaboración de relleno no estructural, aislamiento térmico, aplicaciones arquitectónicas y elementos prefabricados no estructurales, lo que podría reducir significativamente las emisiones de carbono en la industria de la construcción.

Por su parte, los integrantes del equipo NUST, Emmanuel Álvarez, Damaris Arias, Wenceslao Bonilla, Mario Flores, Christian Villanueva, Cyprien Lubin e Ilianny Castellón Pérez bajo la dirección del Dr. Marcos Mauricio Chávez Cano, propusieron combatir el problema de la contaminación extrema por sargazo y vidrio de consumo en la costa caribeña mexicana, con el desarrollo de una síntesis cerámica porosa, creada a media temperatura a partir de especies de arcillas, vidrio reciclado y sargazo, con el objetivo de atender al sector de la construcción y los segmentos asociados, contribuyendo así a una economía circular considerando factores sociales, económicos y ambientales.

Los equipos LORA y 5G UNAM empatados en el tercer lugar, siendo asesorados por los doctores Daniel Ceballos Herrera y Ramón Gutiérrez Castrejón, respectivamente.

El equipo LORA, estuvo integrado por Emmanuel Conde, Mariana Coronado, Iván Coss, Emmanuel Estrada, Alejandro Huerta, Arturo Garibaldi, Fernanda Maldonado, y Francisco Dueñas; este equipo desarrolló una innovadora plataforma de comunicación inalámbrica basada en la tecnología LoRa (Long Range), caracterizada por su bajo costo y eficiencia energética.

Por su parte, el equipo 5G UNAM integrado por Raúl Arcos, Ángel Barrios, Lilibeth Contreras, Héctor Gallardo, Antonio Romero, Sthefanielzamar Sandoval, Alberto Soto y Osmar Naim Corona, diseñó y desarrolló una plataforma de comunicación inalámbrica basada en una red celular 5G que podrá ser programada con códigos de acceso abierto denominado open-RAN, la cual, puede ser usada para interconectar diferentes sensores empleados en Hidráulica y en Ingeniería Sismológica. |



Citas ESPORA Psicológica

# Programa de atención profesional, especializada y gratuita para la comunidad del IIUNAM



## OBJETIVOS:

- Proporcionar ayuda para encontrar nuevas formas de organizar los pensamientos, emociones y conductas.
- Detectar y prevenir problemáticas más severas
- Disminuir el malestar psíquico

## LA ATENCIÓN CONSISTE EN UN PROCESO PSICOTERAPÉUTICO BREVE:

- 14 sesiones
- 45 minutos
- Servicio de lunes a viernes
- Atención en formato híbrido (en línea y presencial)

## PSICOTERAPEUTAS IIUNAM



Mtro. Alain Kelvin  
Briseño Trejo



Mtra. Angélica  
Sánchez Campuzano



Mtra. Ydalia  
Delgado Villegas

## CITAS para el semestre 2024-2

Tiene vigencia durante el periodo  
del 29 de enero al 31 de mayo de 2024

Horarios de atención:

**De lunes a viernes de 9:00 a.m. a 8:00 p.m.**

Consultas en formato híbrido  
Solicitudes de cita: [espورا@ingen.unam.mx](mailto:espورا@ingen.unam.mx)