

GACETA

**DEL INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

UNIDAD ACADÉMICA SISAL

Ingeniería y procesos
costeros en el LIPC

El uso de eventos
sintéticos en la ingeniería
civil del futuro

Experimentación
y desarrollo de dispositivos
para el aprovechamiento
de la energía del océano

El Laboratorio Nacional
de Resiliencia Costera
(LANRESC)

IIUNAM, Unidad Académica Sisal



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM®**

NÚMERO 131, MAYO-JUNIO, 2018

ISSN 1870-347X

EDITORIAL

La Gaceta del Instituto de Ingeniería de este número está dedicada a la Unidad Académica Sisal (UAS). La UAS está ubicada en la sede Sisal de la Unidad Académica de Ciencias y Tecnología de la UNAM en Yucatán (UAY). El objetivo de la UAS es crear un polo de investigación en la Península de Yucatán que contribuya a la generación de conocimiento, la formación de recursos humanos de alto nivel, y la solución de problemas relacionados con el estudio de procesos físicos que interactúan en la costa. En este número se presentan contribuciones en las que se ilustra parte del trabajo del personal académico de la UAS. En el primer artículo se presentan las capacidades del laboratorio para realizar estudios de la dinámica costera y para evaluar la respuesta de la playa en el contexto de la ingeniería costera. En la segunda contribución se discute cómo el uso de eventos sintéticos permite reducir la incertidumbre en la predicción de algunos de los principales peligros (huracanes y tsunamis) que afectan la zona costera y cómo permiten evaluar los efectos del cambio climático en la ingeniería de costas. En la tercera contribución se aborda el aprovechamiento de energías oceánicas, el cual es uno de los grandes retos de la ingeniería oceánica en el país. Específicamente, se muestran algunos de los dispositivos que se han evaluado en la UAS utilizando modelado físico y numérico. Finalmente, se presenta de manera general el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC) con sede principal en la UAS. El LANRESC es una plataforma que permite ampliar las capacidades técnicas para abordar temas relacionados con la resiliencia costera a nivel nacional de manera interdisciplinaria. Está conformado actualmente por siete instituciones de diferentes regiones del país.

Esperamos que en este número se aprecie claramente el trabajo desarrollado en la UAS a casi nueve años de su creación.

Alec Torres Freyermuth

Jefe de la Unidad Académica Sisal

UNAM

Rector
Dr. Enrique L. Graue Wiechers
Secretario General
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario Administrativo
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario de Desarrollo Institucional
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa
Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria
Dr. César Iván Astudillo Reyes
Abogada General
Dra. Mónica González Contró
Coordinador de la Investigación Científica
Dr. William H. Lee Alardín
Director General de Comunicación Social
Mtro. Néstor Martínez Cristo

IIUNAM

Director
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria
Secretaría Académica
Dra. Rosa María Ramírez Zamora
Subdirector de Estructuras y Geotecnia
Dr. Efraín Ovando Shelley
Subdirector de Hidráulica y Ambiental
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco
Subdirector de Electromecánica
Dr. Arturo Palacio Pérez
Subdirector de Unidades Académicas Foráneas
Dr. Germán Buitrón Méndez
Secretario Administrativo
Lic. Salvador Barba Echavarría
Secretario Técnico
Arq. Aurelio López Espíndola
Secretario de Telecomunicaciones e Informática
Ing. Marco Ambriz Maguey
Secretario Técnico de Vinculación
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez
Jefe de la Unidad de Promoción y Comunicación
Lic. Israel Chávez Reséndiz

GACETA DEL IIUNAM

Editor responsable
Lic. Israel Chávez Reséndiz
Reportera
Lic. Verónica Benítez Escudero
Fotografías
Archivo Fotográfico del IIUNAM
Sandra Lozano Bolaños
Fotografía de portada
Unidad Académica Sisal, Ygnacio Rivero
Diseño
Sandra Lozano Bolaños
Corrección de estilo
Gabriel Sánchez Domínguez
Impresión
Grupo Espinosa
Distribución
Guadalupe De Gante Ramírez

GACETA DEL IIUNAM

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



UNIDAD ACADÉMICA SISAL DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

La Unidad Académica Sisal (UAS) del IIUNAM se creó en septiembre de 2009 en el marco de un proyecto de descentralización del Instituto de Ingeniería. Este proyecto fue posible gracias al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Gobierno del Estado de Yucatán. El objetivo de establecer esta Unidad Académica Foránea del II, a través del Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC), fue crear un polo de investigación en la Península de Yucatán que contribuyera a la generación de conocimiento, la formación de recursos humanos de alto nivel, y la solución de problemas relacionados con la dinámica de la costa en el ámbito regional y nacional.

La UAS pertenece a la Subdirección de Unidades Académicas Foráneas y cuenta con un edificio de 1200 m² equipado con laboratorios de cómputo científico y modelado físico. Asimismo, cuenta con infraestructura y equipamiento para el monitoreo de diferentes variables físicas en la costa incluyendo tres embarcaciones, una estación de la RUOA (www.ruoa.unam.mx), una estación del Observatorio Hidrológico del IIUNAM (<https://www.oh-iiunam.mx/>), una torre de flujo, dos torres de video-monitoreización fijas y una portátil, así como diversos equipos de monitoreo playero y oceanográfico. Su ubicación privilegiada, a un costado del Puerto de Sisal (Yucatán), hacen de la playa de

Sisal un laboratorio natural para el estudio de procesos físicos en la costa.

En la actualidad el personal académico está compuesto por cinco Investigadores, tres Técnicos Académicos, y cuatro Investigadores Cátedras CONACYT. Todos sus investigadores y un técnico pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (dos nivel 2, cinco nivel 1, y tres candidatos). Los académicos de esta Unidad cuentan con una edad promedio de 42 años, siendo 33% mujeres. Han contribuido a la formación de recursos humanos en los programas de la UNAM y de otras instituciones nacionales y extranjeras. A partir de 2012 la UAS del Instituto de Ingeniería se torna subsección del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (PMYDI) de la UNAM, con la orientación de Ingeniería de Costas y Ríos, contribuyendo de esta forma a incrementar la oferta educativa en la región. Asimismo, participará formalmente en la Licenciatura de Ciencias de la Tierra de la ENES-Mérida, a cargo de la impartición de varias materias de los semestres terminales.

La generación de conocimiento, formación de recursos humanos, vinculación y construcción de capacidades han sido puestas de manifiesto a través de: i) la cantidad y calidad de artículos en revistas indexadas internacionales, ii) la formación de recursos humanos en los programas de la UNAM y de otras instituciones nacionales y extranjeras, y iii)

la realización de proyectos de investigación y de servicios.

Las líneas de investigación principales son:

- Hidrodinámica y morfodinámica de playas y lagunas costeras.
- Interacción océano-atmósfera.
- Dinámica atmosférica.
- Energías renovables.
- Ingeniería costera y oceánica.
- Oceanografía física.
- Hidrología.
- Cambio climático y resiliencia.

La UAS ha captado recursos a través de proyectos CONACYT, patrocinio duro, y de la UNAM. En 2015 se crea el Laboratorio Nacional de RESiliencia Costera (LANRESC) ante la necesidad de potenciar las capacidades para abordar y estudiar problemáticas costeras desde una perspectiva integral, interdisciplinaria y orientada para los tomadores de decisiones y la sociedad en general. En él participan Instituciones de diferentes regiones del país, fortaleciendo las capacidades técnicas y tecnológicas existentes para la resolución de problemas en la costa.

Para mayor información sobre la Unidad Académica Sisal visita el sitio web:

<http://www.iingen.unam.mx/es-mx/SitiosWeb/Laboratorios/LIPC/Paginas/default.aspx>

Alec Torres Freyermuth
Jefe de la Unidad Académica Sisal

INGENIERÍA Y PROCESOS COSTEROS EN EL LIPC

ALEC TORRES FREYERMUTH, TONATIUH MENDOZA,
GABRIELA MEDELLÍN, ELENA OJEDA, RUTH CEREZO,
MARÍA EUGENIA ALLENDE, PAULO SALLES

La Ingeniería costera es una rama de la ingeniería encargada del estudio de los procesos físicos que ocurren cerca de la línea de costa y que interactúan con ecosistemas naturales y construcciones en esta zona. Su estudio involucra aspectos de interacción océano-atmósfera, oceanografía física, geología marina e ingeniería civil.

El oleaje es generado por el viento y sus características (altura de ola y período) están en función de la intensidad del viento, la duración de los eventos, y la extensión de la zona de generación. Ante la falta de mediciones históricas, los modelos

numéricos se han convertido en una herramienta ampliamente utilizada para determinar el clima de oleaje (pasado) a partir de información meteorológica y climatológica (fig. 1). En este sentido, los modelos climáticos, tanto globales como regionales, permiten estimar las condiciones históricas o incluso escenarios asociados al cambio climático. De estos datos se pueden derivar series de tiempo de oleaje a nivel global, regional y local. Con la información que se obtiene, es posible determinar el clima medio (condiciones predominantes) y extremo (frecuencia e intensidad de tormentas) del oleaje en determinada zona de interés (Ojeda *et al.*, 2017).

El oleaje generado costa afuera es el encargado de propagar la energía, transferida del viento al océano, hacia la costa donde sufre transformaciones debido a la reducción de la profundidad. Entre los procesos más relevantes se encuentra el cambio en la dirección debido a la batimetría o su interacción con corrientes (refracción), la cesión lateral de energía al interactuar con islas o estructuras (difracción), la reflexión de la energía, la interacción con el lecho en aguas someras con la reducción de su longitud y el aumento de su

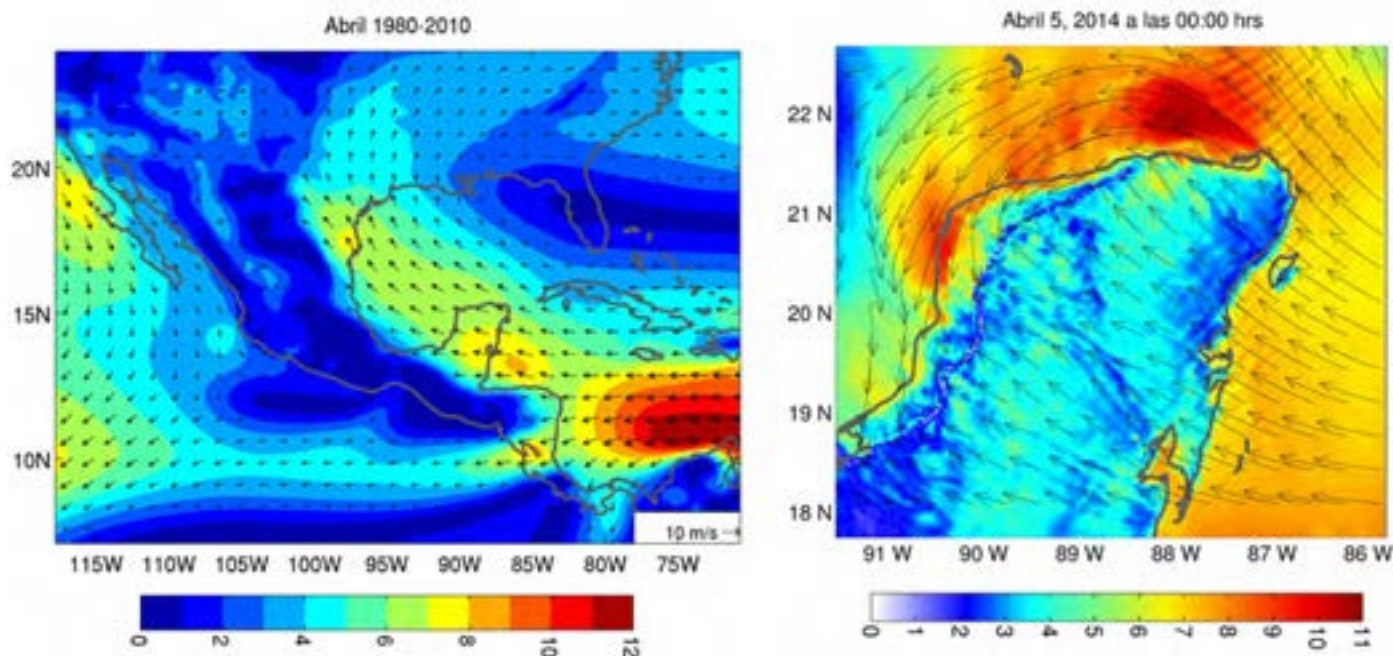


Figura 1. Campos de viento de los modelos regionales atmosféricos. a) Climatología de 30 años de viento simulado con PRECIS para el mes de Abril (resolución de 50 km). b) Viento instantáneo simulado con WRF en la región de la Península de Yucatán (resolución espacial de 3 km). La barra de color indica la intensidad del viento en ms^{-1}

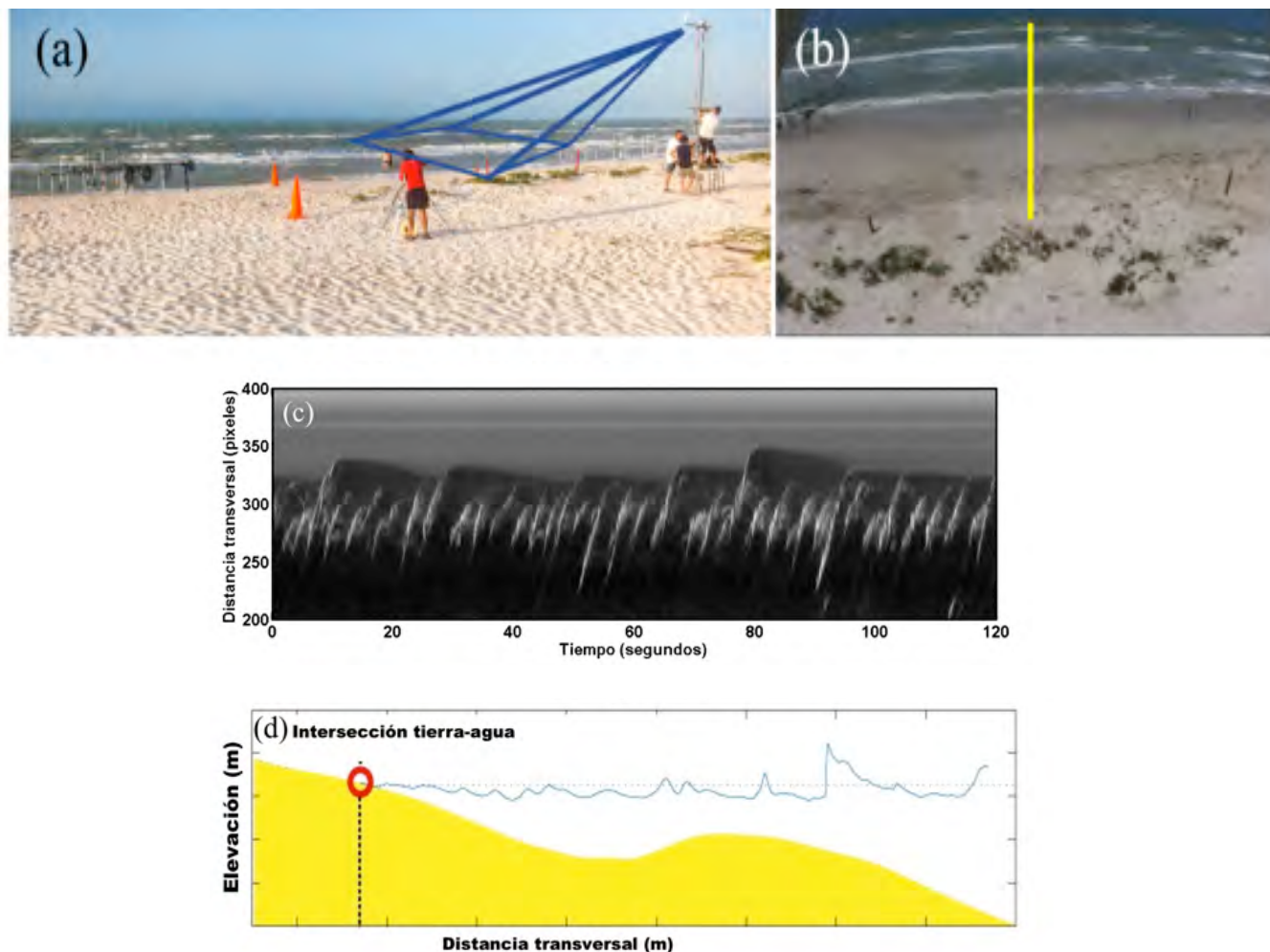


Figura 2. a) Ubicación y b) campo de visión de una cámara para obtener c) la serie temporal del remonte de oleaje a partir de píxeles (línea amarilla en b) y d) estimación de la cota de inundación a partir de la interface tierra-agua en un modelo numérico

altura (asomeramiento), y la disipación (rotura) al llegar a la costa. De todos estos procesos la rotura del oleaje es el proceso más llamativo y más difícil de estudiar. La zona de rompientes en playas se caracteriza por la transformación del movimiento oscilatorio del oleaje en flujos turbulentos y flujos medios (corrientes) que determinan la hidrodinámica cerca de la línea de costa. La complejidad del flujo en esta zona hace que ninguna teoría del oleaje sea válida para describir la rotura. Por tanto, para su estudio se recurre al uso de modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes que describen el movimiento de un fluido y/o a mediciones en campo o laboratorio. Durante eventos extremos,

el nivel medio del mar puede incrementarse debido a la acción combinada del viento, presión atmosférica y oleaje; los cuales determinan la cota de inundación. Esta información es fundamental para establecer las zonas de desarrollo de infraestructura costera. Su determinación debe estar basada en registros históricos e información topo-batimétrica que permita correlacionar los niveles de agua con respecto a la elevación del terreno. Para estos estudios se recurre al uso de técnicas de percepción remota o modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes (Medellín *et al.*, 2016) debido a la dificultad que conlleva realizar mediciones directas en esta zona (figura 2).

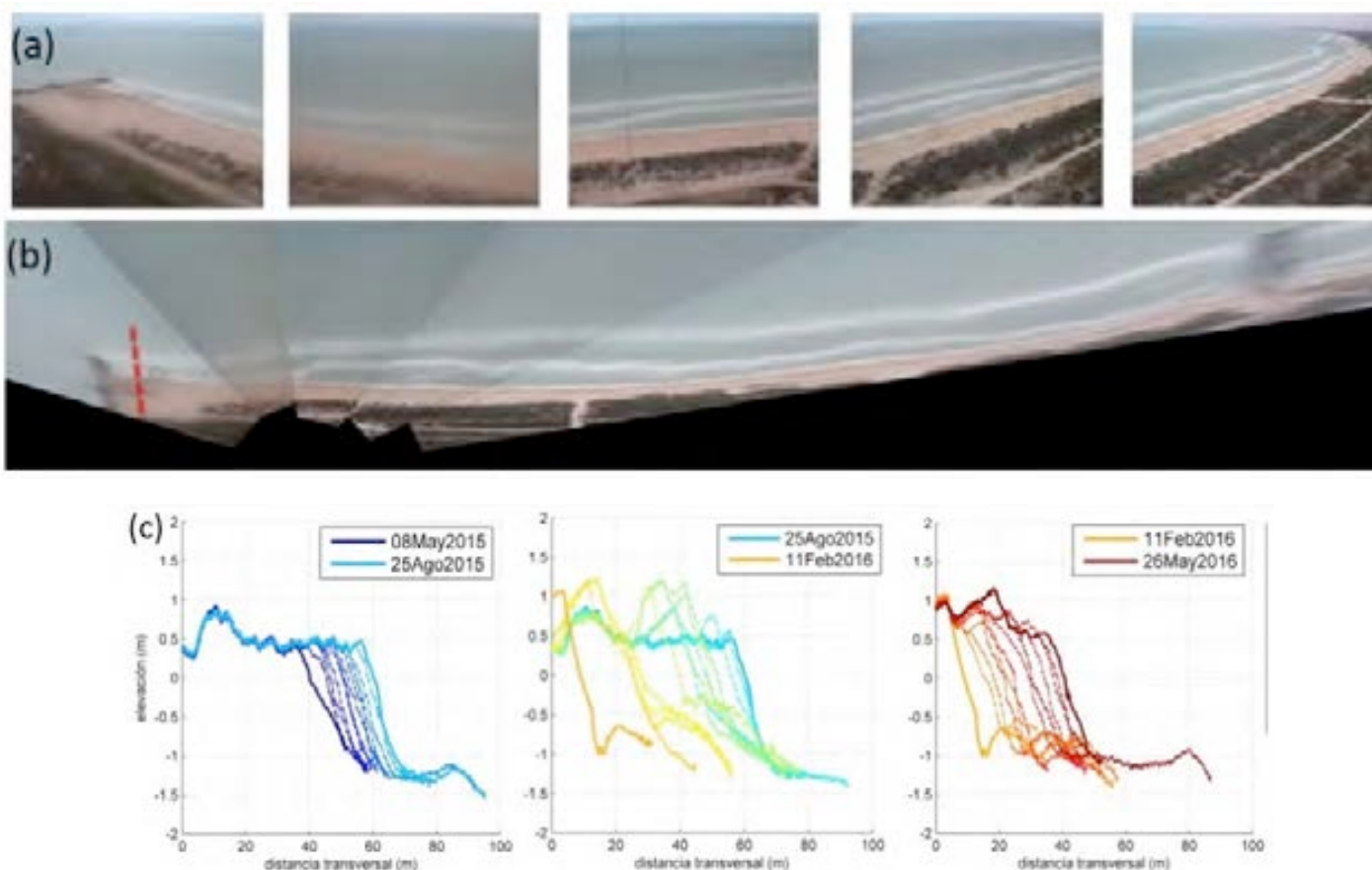


Figura 3. a) Imágenes oblicuas promediadas del sistema de cámaras en Sisal, b) ortomosaico mostrando la ubicación de barras sumergidas (líneas blancas), y c) perfiles de playa correspondientes al transecto indicado con línea roja en b)

La hidrodinámica juega un papel fundamental en el transporte de sedimento en playas (Torres-Freyermuth *et al.*, 2017) y bocas lagunares (Salles *et al.*, 2015). Sin embargo, la predicción de los cambios en la forma (morfología) de la playa debidos al transporte de sedimentos sigue siendo uno de los grandes retos para la ingeniería costera. Las zonas de erosión y acreción están determinadas por los gradientes en el transporte de sedimentos. La variabilidad en la forma de la playa en planta y perfil a lo largo del tiempo en respuesta a su acoplamiento con la hidrodinámica se conoce como morfo-dinámica. Su entendimiento es fundamental para comprender el equilibrio dinámico en la zona costera. Para su estudio, se recurre a las mediciones en el campo por medio de técnicas directas e indirectas. Una de las técnicas directas para estimar los cambios de la playa es a través de mediciones con sistemas de posicionamiento global diferencial, más conocido por sus siglas en inglés, DGPS (Differential Global Positioning System), que permiten cuantificar la morfología de la playa emergida y

sumergida con precisión milimétrica (figura 3c). Estas mediciones pueden ser complementadas con el uso de técnicas de percepción remota como son los sistemas de videomonitorio utilizados para la obtención de línea de costa y ubicación de las barras de arena sumergidas (figuras 3a y b). Más recientemente, el uso de vehículos aéreos no tripulados para la obtención de imágenes aéreas han permitido la generación de modelos digitales de terreno con bajo costo a través de técnicas de fotogrametría (figura 4a).

Uno de los objetivos de los ingenieros costeros es la identificación de soluciones para reducir el riesgo a erosión y/o inundación de la costa. Las estructuras de protección costera han sido concebidas con este propósito desde hace siglos. Sin embargo, el uso de este tipo de soluciones “duras” únicamente traslada el problema a playas aledañas. Por tanto, la implementación debe ir acompañada de programas de monitoreo de alta resolución que permitan evaluar su funcionamiento para recomendar su rediseño o remoción (figura 4). Las dunas y arrecifes juegan un

papel muy importante en la protección de la costa ante tormentas (Franklin *et al.*, 2018). Es por esta razón que a lo largo de los últimos años se ha impulsado la conservación e implementación de los ecosistemas costeros (dunas, arrecifes, pastos marinos) para la protección natural de la costa.

Referencias

1. Franklin, G.; Torres-Freyermuth, A.; Medellín, G.; Allende-Arandía, M. E. y Appendini, C. M. (2018). The role of the reef-dune system in coastal protection in Puerto Morelos (Mexico), Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Aceptado.
2. Medellín, G.; Brinkkemper, J. A.; Torres-Freyermuth, A.; Appendini, C. M.; Mendoza, E. T. y Salles, P. (2016). Run-up parameterization and beach vulnerability assessment on a barrier island: a downscaling approach, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 167-180.
3. Ojeda, E.; Appendini, C. M. y Mendoza, E. T. (2017). Storm-wave trend in Mexican waters of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Natural Hazards and Earth System Sciences, 17(8), 1305:1317 (<https://doi.org/10.5194/nhess-17-1305-2017>).
4. Torres-Freyermuth, A.; Puleo, J. A.; DiCosmo, N.; Allende-Arandía, M. E.; Chardón-Maldonado, P.; López, J.; Figueroa-Espinoza, B.; Ruiz de Alegría-Arzaburu, A.; Figlus, J.; Roberts Briggs, T. M.; de la Rosa, J. y Candela, J. (2017). Nearshore circulation on a sea breeze dominated beach during intense wind events, Cont. Shelf Res., 151, 40-52.
5. Salles, P.; Valle-Levinson, A.; Sottolichio, A.; Senechal, N. (2015). Wind-driven modifications to the residual circulation in an ebb-tidal delta: Arcachon Lagoon, Southwestern France, J. of Geophys. Res., 120, 728-740

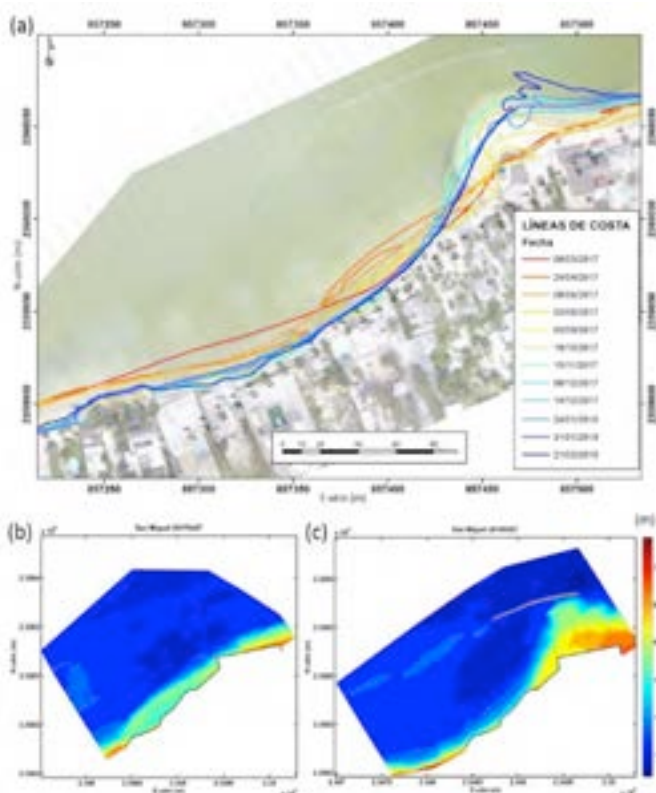


Figura 4. a) Fotografía aérea de Punta San Miguel mostrando la evolución de la línea de costa; b) topobatimetría de la zona previa y c) 9 meses después de la colocación de un rompeolas (geotubo)



REDES SOCIALES DEL IIUNAM



<https://www.facebook.com/InstitutoIngenieriaUNAM>



<https://twitter.com/IIUNAM>



<https://www.youtube.com/user/IINGENUNAM>



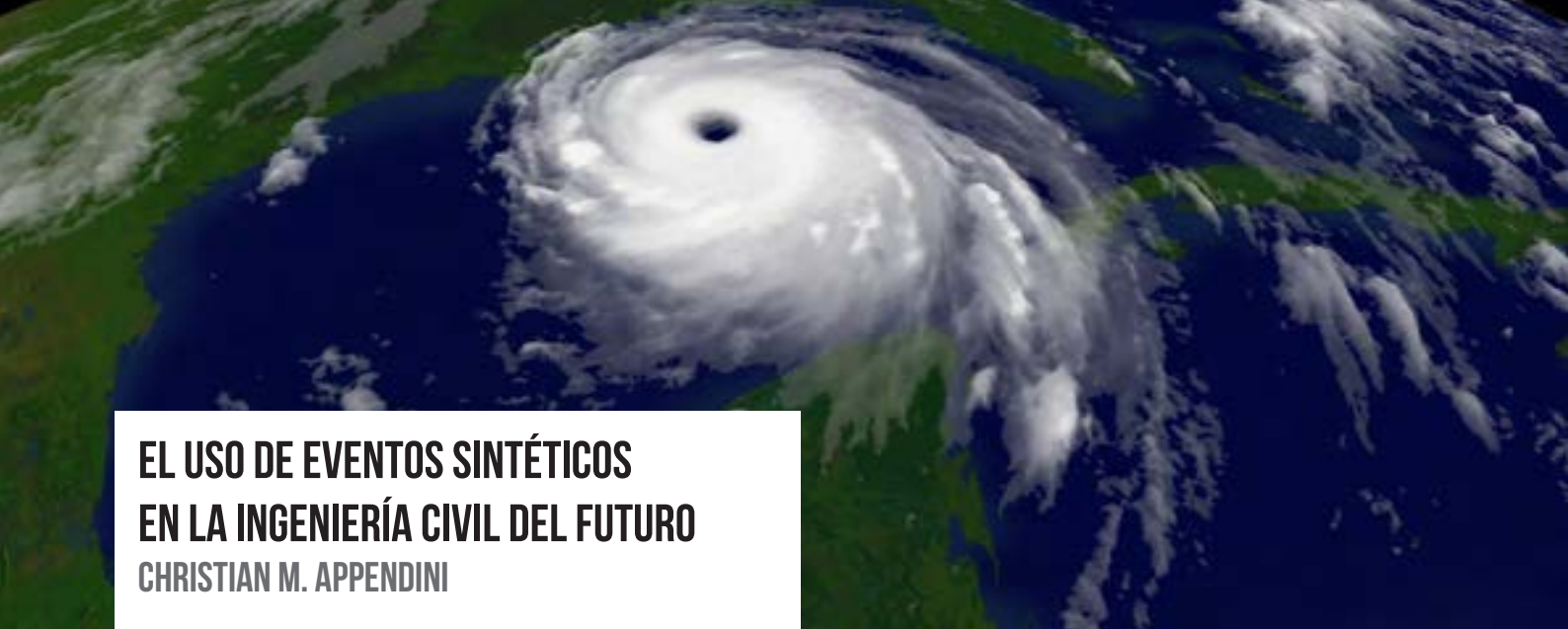
<https://www.linkedin.com/company/instituto-de-ingenier-a-de-la-unam>



<https://www.instagram.com/iiumam>



<https://plus.google.com/102848256908461141106>



EL USO DE EVENTOS SINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA CIVIL DEL FUTURO

CHRISTIAN M. APPENDINI

Para que una obra de ingeniería civil sea exitosa hay que determinar los parámetros de diseño, para ello, es necesario contar con una importante recopilación de información. En México, es muy difícil disponer de datos que permitan sustentar una estructura marítima, ya que, por un lado, no siempre existen programas nacionales de registro y, por otro, los eventos que se deben considerar son de muy baja ocurrencia. Este es el caso de los huracanes y los tsunamis, que actualmente estudiamos en el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC).

En México los huracanes afectan desde dos zonas de generación, el Atlántico y el Pacífico Nororiental. Si bien existe información de huracanes en dichas zonas desde 1850 y 1949 respectivamente, la información de los huracanes es solamente precisa a partir de la era satelital (1970). Así, entre 1970 y 2016 tenemos solamente 102 eventos afectando territorio mexicano, de los cuales se cuenta con información más precisa sobre la trayectoria y la intensidad del viento. Esta cantidad de eventos no es suficiente para su caracterización estadística en una localidad. Para tener una idea de la frecuencia de estos eventos, en un radio de 100 km de Cancún (Quintana Roo) han ocurrido cuatro huracanes desde 1970, mientras que en Salina Cruz (Oaxaca) se ha presentado solamente un evento para el mismo periodo.

Con el fin de estimar los parámetros de diseño de una manera más garantizada y segura, el LIPC utiliza los eventos sintéticos de huracanes. Estos eventos son generados en base a la física de los ciclones tropicales utilizando la metodología de Emanuel *et al.* (2006, 2008). Esta metodología nos permite contar con un número alto de huracanes para una zona determinada y así realizar estadísticas robustas. En el LIPC, utilizamos los eventos sintéticos de huracán para determinar la climatología de oleaje y de marea de tormenta para los mares mexicanos (Meza-Padilla *et al.* 2015). Los eventos sintéticos de huracanes también se pueden utilizar para la generación de

mapas de riesgo por inundación, así como para determinar la intensidad de vientos, para el diseño de puentes, edificios, etc.; en el LIPC incluso los hemos utilizado para implementar sistemas de pronóstico de peligro por oleaje y marea de tormenta derivados de huracanes (Appendini *et al.* 2017b). Además, estos eventos nos permiten hacer proyecciones a futuro, ya que al basarse en la física de los ciclones tropicales, basta con utilizar las condiciones atmosféricas de los modelos de circulación global bajo escenarios de cambio climático para generar los eventos.

En el artículo de Appendini *et al.* (2017) presentamos la estimación de la altura de ola para el Golfo de México en el clima actual y para el clima futuro, encontrando que en aproximadamente 50 años el clima de oleaje podrá ser más intenso en varias zonas del Golfo de México. Esto es de gran relevancia cuando consideramos que actualmente se están explorando yacimientos de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México, como es la zona del Cinturón Plegado Perdido. Si pensamos que se encontrará petróleo en estas zonas en los próximos cinco años, posiblemente se estarán construyendo las plataformas para su explotación entre 10 a 15 años, y éstas estarán operando para 2035, con una vida útil hasta 2070. A partir de 2070 podemos esperar que a consecuencia del cambio climático se presenten alturas de ola para un periodo de diseño de hasta 5 m mayor a las esperadas actualmente. Con el uso de eventos sintéticos podemos hacer un mejor diseño y reducir considerablemente las probabilidades de fallo de las plataformas.

Otro ejemplo de eventos sintéticos, analizado en el LIPC son los tsunamis. A pesar de que México se encuentra en una zona muy expuesta a estos fenómenos, debido a los sismos que se generan en las zonas de subducción, realmente se han experimentado muy pocos tsunamis. En el periodo de 1995 a la fecha únicamente se han registrado valores del nivel del mar

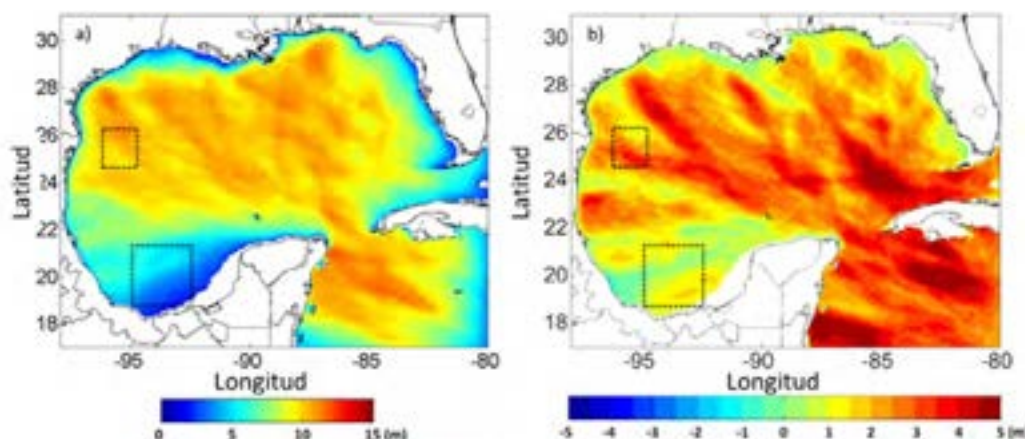


Figura 1. a) Altura de ola de diseño para un periodo de retorno de 100 años con base en el clima actual (1980-2010) y b) incremento en la altura de ola de diseño en el clima futuro (2070-2100). Los recuadros muestran las zonas de exploración en aguas profundas, el Cinturón Plegado Periodo en la parte noreste del Golfo de México y la Cuenca Salina en la parte sur.

para dos tsunamis: uno el 9 de octubre de 1995 y otro el que generó el temblor del 19 de septiembre de 2017, este último con una amplitud muy baja. Esta información es insuficiente para establecer mapas de riesgos o para determinar parámetros de diseño por tsunami en costas Mexicanas.

Sin embargo, a pesar de que la ocurrencia de los tsunamis no es frecuente debemos estudiarlos, incluso simulando escenarios extremos que pudieran presentarse por muy insólito que parezca. Un ejemplo es el caso de un tsunami al momento de entrada de un ciclón tropical simulado por Appendini *et al.* (2015). Apparentemente esta simulación parecía ser sólo un capricho de modelación, pero un caso así sucedió en 1932 en Cuyutlán (Manzanillo), que de acuerdo a diarios locales se presentó a la llegada de un ciclón tropical. ¿Es entonces relevante esta modelación? La respuesta a esta pregunta se debe ponderar considerando las necesidades de un proyecto específico, pero es fundamental contar con la capacidad técnica para estudiarlo, en caso de estimarlo conveniente. Gracias a los eventos sintéticos de sismos, podemos modelar los tsunamis y establecer cómo éstos llegarán a la zona costera. En este tema queda mucho trabajo por desarrollar en colaboración entre ingenieros, geofísicos y oceanógrafos, que permita generar los eventos sintéticos que cumplan los objetivos de los proyectos, ya sea diseño estructural, diseño funcional, mapas de riesgo, etc.

En efecto, el uso de eventos sintéticos en la ingeniería nos permite evaluar escenarios hipotéticos en base a la física de los procesos, para así poder determinar parámetros de diseño u otras necesidades en proyectos. Las aplicaciones que aquí describimos son sólo algunas de las que hemos implementado en el LIPC, sin embargo, existe un gran abanico

de oportunidades para generar información sólida que permita un mejor desarrollo para aquellos proyectos en los que los fenómenos naturales de baja ocurrencia son un factor determinante.

Referencias

- Appendini C. M.; Meza-Padilla R.; Avendaño F.; Patricio A. Catalán (2015). Interaction of tsunamis and tropical cyclones. Proc Coast Sediments 2015. doi: 10.1142/9789814689977_0186.
- Appendini C. M.; Pedrozo-Acuña A.; Meza-Padilla R.; *et al.* (2017a). On the Role of Climate Change on Wind Waves Generated by Tropical Cyclones in the Gulf of Mexico. Coast Eng J. doi: 10.1142/S0578563417400010.
- Appendini C. M.; Rosengaus M.; Meza-Padilla R.; Camacho-Magaña V. (2017b). Operational hazard assessment of waves and storm surges from tropical cyclones in Mexico. Bull Am Meteorol Soc. doi: 10.1175/BAMS-D-15-00170.1.
- Emanuel K.; Ravela S.; Vivant E.; Risi C. (2006). A statistical deterministic approach to hurricane risk assessment. Bull Am Meteorol Soc 87:299-314. doi: 10.1175/BAMS-87-3-299.
- Emanuel K.; Sundararajan R.; Williams J. (2008). Hurricanes and Global Warming: Results from Downscaling IPCC AR4 Simulations. Bull Am Meteorol Soc 89:347-367. doi: 10.1175/BAMS-89-3-347.
- Meza-Padilla R.; Appendini C. M.; Pedrozo-Acuña A. (2015). Hurricane-induced waves and storm surge modeling for the Mexican coast. Ocean Dyn. doi: 10.1007/s10236-015-0861-7.

EXPERIMENTACIÓN Y DESARROLLO DE DISPOSITIVOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DEL OCÉANO

JOSÉ LÓPEZ GONZÁLEZ, MIGUEL F. DOMÍNGUEZ
SANDOVAL, ANDRÉS O. CUEN ULLOA, BERNARDO
FIGUEROA ESPINOZA, DAVID F. BALAM TAMAYO

Como consecuencia del crecimiento poblacional y económico, la demanda de energía eléctrica para satisfacer las necesidades de la población ha incrementado en los últimos años. Históricamente se ha recurrido a la quema de combustibles fósiles para la producción de energía y esto ha generado diversos problemas al medio ambiente, como el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero que contribuye al cambio climático (IPCC, 2014). Por tal razón, las fuentes de energía renovable surgen como alternativa para satisfacer la demanda de energía. Entre las fuentes de energía renovable se pueden mencionar aquellas denominadas fuentes de energía renovable convencional, entre las cuales se encuentran la energía eólica, solar y biomasa, entre otras, las cuales han probado su eficiencia y viabilidad. Estos dispositivos o sistemas

son capaces de aprovechar de manera rentable la energía que produce la naturaleza. Por otro lado, existen fuentes de energía renovable no convencional, que se encuentran en etapa de desarrollo como las fuentes de energía del océano, que a pesar del alto potencial de energía que posee, todavía no se establecen para producción a gran escala debido a múltiples razones, como son aquellas asociadas a condiciones marinas (alta corrosión, altos costos de operación y mantenimiento). En el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC) se llevan a cabo estudios encaminados al desarrollo de dispositivos de conversión de la energía del oleaje, las corrientes marinas y energía eólica, así como a la caracterización y cuantificación de los recursos utilizando para esto el modelado físico, numérico y mediciones *in situ*.

Actualmente en el LIPC se investigan varios tipos de dispositivos: uno de estos es el denominado OWC-MDS (por sus siglas en inglés Oscillating Water Column) basado en la teoría elaborada por Seung Kwan Song y Jin Bae Park (Song y Park 2015). El método de extracción por oscilación de columna de agua consiste principalmente de dos cámaras de aire invertidas y conectadas en la parte superior por medio de un conducto (figura 1). Las cámaras de aire poseen diferente sección transversal, hecho fundamental para el funcionamiento del sistema, ya que al paso del oleaje sobre ellas se produce una diferencia de fuerzas en el interior de las cámaras, la cual es compensada con una diferencia en los niveles de agua dentro de las mismas. Esta diferencia de presión (fuerza por unidad de área) genera un flujo de aire en el conducto (que conecta

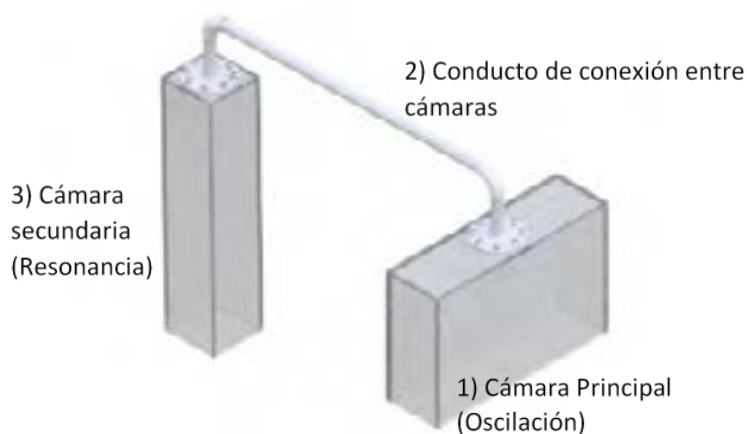


Figura 1. Dispositivo OWC-MDS

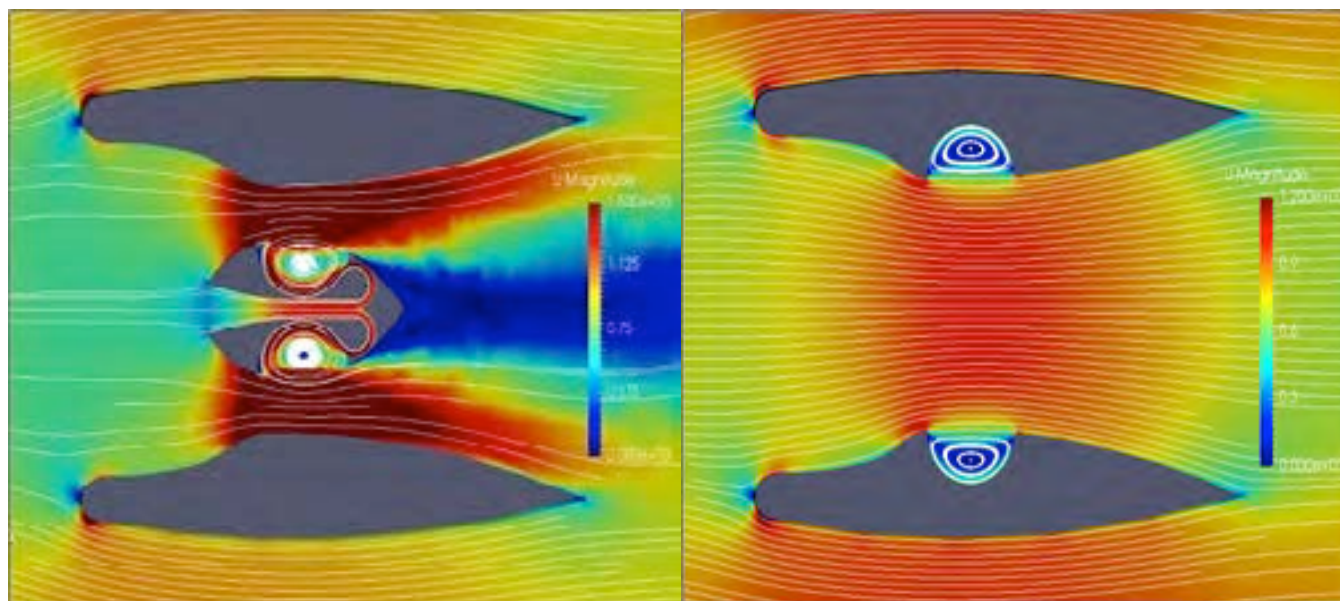


Figura 2. Campo de velocidades de hidrogenerador HyPa e hidrogenerador IMPULSA en 2D y líneas de corriente asociadas (Geometría del hidrogenerador IMPULSA obtenida de López et al., 2011)

las cámaras), que se puede aprovechar por medio de turbinas bidireccionales conectadas a un generador eléctrico. Con base en este principio, se planteó realizar un modelo físico de un dispositivo completamente sumergido el cual no tiene partes móviles, lo que lo hace económicamente interesante por los bajos costos de mantenimiento y se puede colocar prácticamente en cualquier sitio.

Otro de los proyectos que se desarrollan en el LIPC es el Hidrogenerador denominado HyPa (dentro del proyecto CEMIE Océano, ver también Gaceta II, No. 128) que aprovecha la energía de las corrientes marinas. El objetivo en esta etapa del proyecto es aumentar la eficiencia del dispositivo utilizando modelación numérica y pruebas experimentales. La idea original surgió en el Instituto de Ingeniería en el marco del proyecto IMPULSA (López-González *et al*, 2011). El dispositivo consistía en un pequeño catamarán de doble casco anclado en la corriente. Un par de concentradores colocados entre los cascos direccionan y focalizan la energía del fluido sobre dos rotores de eje vertical conectados a un generador (ver figura 2). Desafortunadamente al colocar una carcasa entre los dos cascos (estando el fluido en un medio abierto), la mayor parte de fluido se desviaba hacia los costados, por lo cual se eliminó la carcasa central

y se le adicionaron dos rotores de eje horizontal de tipo paletas. La incorporación de los rotores laterales surge de observar el comportamiento del fluido tanto en experimentos físicos como en modelación numérica. La figura 2 muestra la comparación de una simulación numérica con el esquema original (generador IMPULSA, López-González *et al*, 2012), así como el caso sin carcasa, donde se aprecia una mayor cantidad de líneas de corriente pasando entre los cascos del dispositivo (en el segundo caso).

De esta manera se incorporaron rotores de paleta de 4 álabes y se simuló el funcionamiento con modelo numérico DualSPHysics (figura 3), con el cual se obtuvieron distintas variables como velocidad y presión del fluido, dentro y fuera del hidrogenerador; con las cuales se podrá calcular la fuerza que ejerce el fluido sobre los rotores y con ello estimar la energía y eficiencia del dispositivo.

Por último, se presenta otro dispositivo de energía de corrientes que se investiga en el LIPC: es un dispositivo de álabes o perfil hidrodinámico oscilante (similar al ala de un avión) que se mueve en sentido vertical, del mismo modo que una aleta de ballena o delfín, impulsado por una corriente marina (o fluvial). La idea es aprovechar este movimiento oscilatorio para generar energía eléctrica renovable.

El álabe será impulsado por la fuerza de sustentación debida al movimiento del fluido, que depende del ángulo de ataque (con el que enfrenta la corriente). Este ángulo se puede modificar por medio de un actuador aplicando un torque que haga rotar el álabe hacia un ángulo óptimo, que permita la máxima extracción de energía (ver figura 4). Para estudiar este sistema, se implementó una simulación de la interacción entre el fluido y el álabe usando un código numérico abierto (openFOAM®), usando un mallado deformable. Se incorporó un bloque controlador que calcula la diferencia entre el ángulo de ataque instantáneo y el óptimo, y un actuador que aplica el torque necesario para llevar al sistema al ángulo deseado para maximizar la energía extraída del sistema (lazo cerrado de control). Actualmente, se trabaja en un modelo físico a escala para validar las simulaciones numéricas y entender mejor este tipo de sistemas complejos. |

Referencias

- Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM, No 128, Noviembre-Diciembre 2017. ISSN 1870-347X.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- López-Gonzalez J.; Silva-Casarrín R.; Mendoza-Baldwin E. 2011. Aprovechamiento de de energía con las corrientes con el hidrogenerador Impulsa. Universidad Nacional Autónoma de México. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 4, octubre-diciembre de 2011, pp. 97-110.
- Song, S. K. y Park, J. B., 2015. Apparatus and Theory of a Submerged Point Absorber using Oscillating Water Column. Proceedings of the Oceans 2013, pp.1-5.

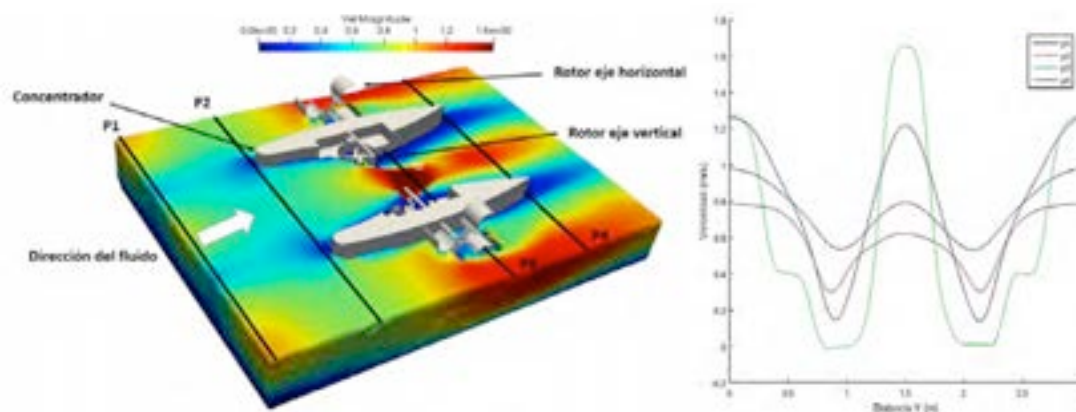


Figura 3. Simulación numérica con Dualsphysc hidrogenerador HyPa en 3D y perfiles de velocidad en diferentes secciones del dominio

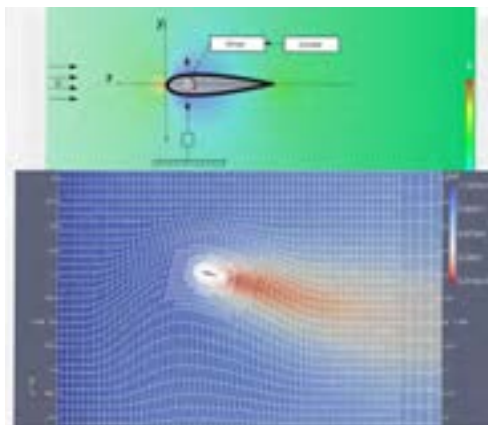


Figura 4. Parte superior: esquema de control del sistema fluido-álabe-controlador. Abajo: simulación numérica con OpenFOAM®. Se aprecia el mallado deformable que permite el acoplamiento fluido-estructura

EL LABORATORIO NACIONAL DE RESILIENCIA COSTERA

PAULO SALLES AFONSO DE ALMEIDA,
ALEC TORRES FREYERMUTH, MARÍA EUGENIA
ALLENDE ARANDIA, GABRIELA MEDELLÍN MAYORAL,
TONATIUH MENDOZA PONCE, ELENA OJEDA
CASILLAS, IRINA IZE LEMA, BERNARDO FIGUEROA
ESPINOSA, JOSÉ LÓPEZ GONZÁLEZ, GONZALO U.
MARTÍN RUIZ, JUAN A. GÓMEZ LIERA



La zona costera es una zona estratégica para el desarrollo de México dada su importancia ambiental, ecológica y socioeconómica. Esta zona, interface entre el mar y la tierra, así como frontera de las cuencas continentales, es particularmente sensible a perturbaciones naturales y antropogénicas. Por tanto, las problemáticas que se presentan en esta zona son complejas y multifacéticas, por lo que se requieren estudios interdisciplinarios enfocados a generar conocimiento y mejorar las herramientas para la toma de decisiones en la prevención, mitigación y adaptación de los sistemas costeros ante dichas perturbaciones.

El Laboratorio Nacional de RESiliencia Costera (LANRESC), es un laboratorio creado en el marco de la Convocatoria de Apoyos Complementarios para el Establecimiento y Consolidación de Laboratorios Nacionales CONACYT.

El LANRESC está conformado actualmente por siete instituciones de diferentes regiones del país (Yucatán, Sonora, Tabasco y Ciudad de México) y tiene el propósito de ampliar las capacidades técnicas para abordar temas relacionados con la resiliencia costera a nivel nacional. Su equipo multidisciplinario participa en

la investigación fundamental y aplicada, en la formación de recursos humanos, así como en la resolución de problemas de la zona costera en el contexto de la sustentabilidad y del cambio climático global.

El objetivo del Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera es proporcionar una plataforma para realizar estudios que contribuyan a incrementar la resiliencia costera a través de la generación de conocimiento, el monitoreo de variables en la costa (físicas, biológicas y socio-ambientales), la vinculación y difusión de información para comunidades de la costa, y la propuesta de soluciones integrales sustentables que contribuyan a la conservación y resiliencia de los sistemas costeros. En el contexto del Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera la resiliencia se define como la capacidad de cualquier sistema socio-ambiental para absorber y recuperar su funcionalidad y servicio o adquirir un nuevo equilibrio ante una perturbación externa (ver figura 1). Las perturbaciones pueden ocurrir a diferentes tasas y escalas espacio-temporales, como respuesta al impacto de forzamientos externos (socio-económicos o ambientales).

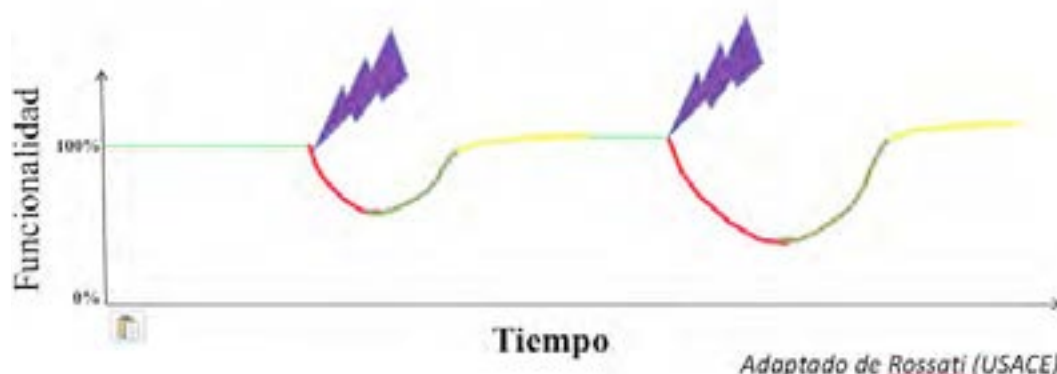


Figura 1. Diagrama conceptual sobre la resiliencia de un sistema la cual consiste en su capacidad para absorber, recuperarse y adaptarse ante perturbaciones

El LANRESC realiza investigación uni e interdisciplinaria, cuyas líneas de investigación principales son:

- 1) el estudio de los ecosistemas costeros;
- 2) la evaluación del riesgo y capacidad de adaptación en las zonas costeras;
- 3) la gestión integral de las zonas costeras;
- 4) el aprovechamiento de recursos en las zonas costeras; y
- 5) el estudio de los efectos e impactos del cambio climático en la costa.

La resiliencia es un término que ha sido ampliamente utilizado en varios campos del conocimiento. Sin embargo, existen pocos esfuerzos enfocados a la zona costera. En este contexto se han desarrollado estudios en playas naturales para el estudio de la resiliencia desde un punto de vista físico ante perturbaciones antropogénicas. La perturbación de la costa con estructuras temporales ha permitido evaluar la resistencia y resiliencia en playas naturales (figura 2).

Una componente importante del estudio de la resiliencia costera es la generación y publicación de datos del estado de los ambientes costeros y su evolución a lo largo del tiempo. De allí que el LANRESC busque el fortalecimiento de observatorios costeros como el Observatorio Costero del Sureste (<http://ocse.mx>) y las estaciones costeras del Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la UNAM (<http://oh-iiunam.mx/agradecimientos.html>). El objetivo en el corto plazo es ampliar esta red con la creación de observatorios costeros en otros estados del país (Sonora y Tabasco en 2018) y la consolidación del Observatorio Costero del Sureste. Se han instalado sistemas de monitoreo que permiten obtener

información de la morfología de la playa, mareas, vientos y del oleaje en tiempo real (ver figura 3).

El LANRESC participa de manera activa en la organización de talleres, producción de reportes y generación de materiales para la difusión y vinculación del laboratorio, así como elementos para crear conciencia y participación ciudadana en el cuidado y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas costeros. La vinculación con la sociedad se realizó inicialmente en localidades del estado de Yucatán, con proyectos piloto a través de talleres de ciencia para niños, elaboración de monografías sociales de localidades costeras, y planeación de proyectos de monitoreo ambiental y ciencia ciudadana con asociaciones civiles locales.

El LANRESC también ha colaborado estrechamente con organizaciones no gubernamentales nacionales y regionales y con instancias gubernamentales en la realización de la primera Tarjeta de Reporte para la Costa Yucateca (ver figura 4). Este documento busca ser una herramienta de concientización y seguimiento ciudadano de las políticas públicas que afectan el estado de salud de los ecosistemas de la costa de Yucatán. Se tiene previsto publicar versiones actualizadas cada dos años, además de crear nuevas Tarjetas de Reporte de otras regiones costeras del país.

Uno de los mayores retos de los Laboratorios Nacionales CONACYT es que logren ser autofinanciables y para ello es fundamental la promoción de los servicios que ofrecen a los diferentes sectores de la sociedad. Dentro de este contexto, actualmente, se realiza el Estudio Integral de Restauración y Estabilización costera del Estado de Yucatán para el gobierno

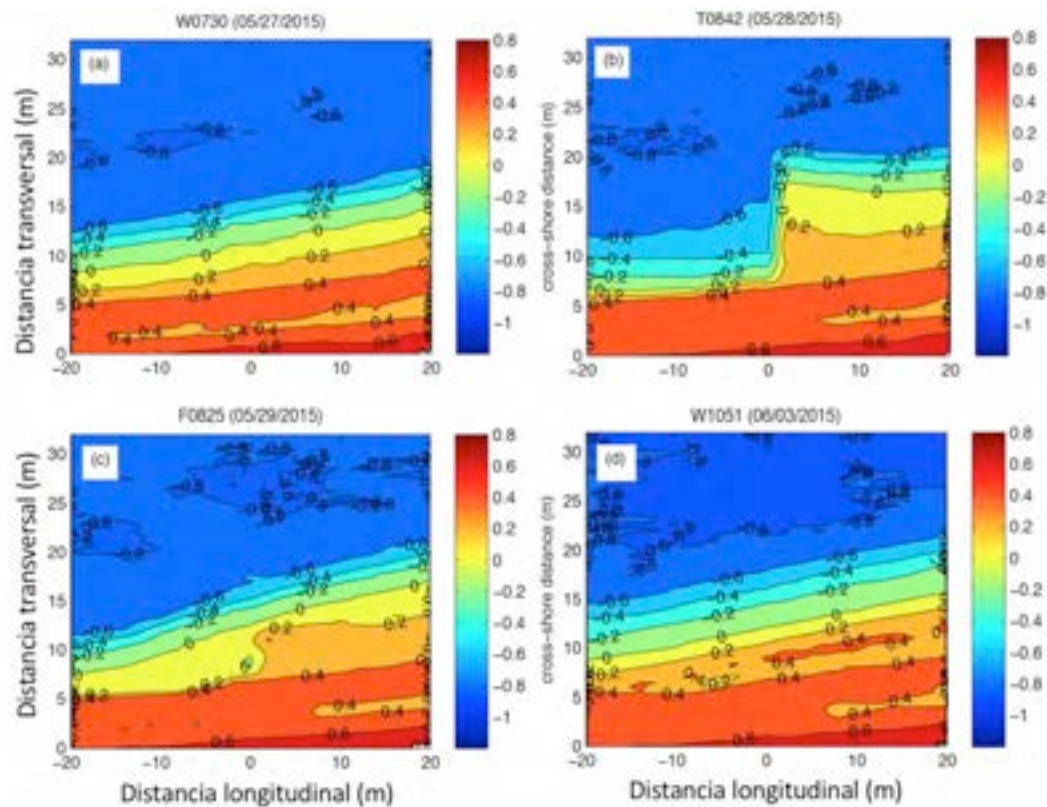


Figura 2. Estudio de resiliencia física en una playa de arena.
a-b) Respuesta topobatimétrica de una playa ante la colocación y
c-d) retiro de un espigón temporal



Figura 3. Monitoreo de variables físicas de la costa norte de Yucatán.
a) Sistema de videmontoreo costero y b) sistema de monitoreo de oleaje en tiempo real



Figura 4. a) Tarjeta de Reporte sobre el estado de salud de los ecosistemas de la costa del estado de Yucatán. b) Acciones que contribuyen a incrementar la resiliencia de la playa

del Estado. La erosión de playas es un problema crítico que se ha agravado en los últimos años en la zona costera de Yucatán lo que genera problemas ambientales, sociales y económicos. La erosión no sólo causa pérdida de playa y destrucción de infraestructura, sino también causa destrucción del hábitat natural de distintas especies y disminución de los servicios ecosistémicos que ofrecen y su atractivo turístico, lo cual impacta la economía de las comunidades costeras (figura 4). El objetivo principal de este proyecto es diseñar una solución integral para resolver el problema de la erosión de la playa de Progreso a Telchac en Yucatán.

La visión a largo plazo del LANRESC es que se convierta en un referente nacional en la formación de recursos

humanos con una clara incidencia tanto en la generación de conocimiento como en la formulación de políticas públicas para la conservación y el aprovechamiento sustentable de las zonas costeras del país. Los académicos participantes en el LANRESC realizan continuamente labores de docencia y formación de recursos humanos a nivel licenciatura y dirigen tesis de posgrado (maestría y doctorado) en temas relacionados con la resiliencia costera. Actualmente, alrededor de 45 estudiantes pertenecen a los once programas del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT que conforman la oferta de posgrados de las instituciones asociadas que integran el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera.





**OBSERVATORIO
HIDROLÓGICO**
EN TIEMPO REAL
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

ALERTA DE LLUVIA

El Observatorio Hidrológico de la UNAM tiene un capítulo dentro del documental Alerta de lluvia que forma parte de la serie Descubriendo ideas, los caminos de la ciencia producido por el Sistema Público de Radiodifusión del Estado de México a través de la casa productora Produciendo Ideas bajo la dirección de Martín Pérez Islas.

Durante la presentación de este capítulo el productor Martín Pérez comentó lo complicado que fue encontrar historias que mostraran un proyecto innovador con beneficio social. Este proyecto del Dr. Adrián Pedrozo –afirmó– además de tener los atributos antes mencionados ha sido desarrollado por un grupo de mexicanos entusiastas, felices de hacer su trabajo en equipo.

La selección del material fue un proceso difícil ya que se grabaron alrededor de diez horas, y el capítulo tiene una duración de 26 minutos. Mi equipo en Produciendo Ideas armó este rompecabezas para presentar de la mejor manera esta historia –concluyó–.

Por su parte el Lic. Francisco Sañudo, Secretario de Vinculación en el IIUNAM, dijo que el Observatorio Hidrológico del IIUNAM surge en respuesta a la necesidad que tienen muchas ciudades en el mundo de atender emergencias y adaptar el drenaje a eventos de precipitación de alta intensidad en un periodo muy corto. Dentro del Instituto, su nacimiento se da en 2015 como resultado de una evaluación interna instrumental para medir lluvia, en ese momento con una visión innovadora y de búsqueda de nuevas avenidas decidimos apostar por un equipo nunca antes usado en México que utiliza un rayo láser para hacer un conteo discreto de las gotas de agua, la velocidad en la que caen y la energía cinética que producen. Posteriormente, el equipo conformado en la coordinación de Hidráulica dio

otro salto hacia lo desconocido, incorporó por primera vez en la Ingeniería Hidráulica, una microcomputadora de bajo costo para almacenar los datos de manera rápida, barata y eficiente. Con ello, se logró sustituir un equipo que empresas comerciales venden en más de 2 mil dólares, por otro que tiene un costo de sólo 10 dólares.

Posteriormente, se dio un tercer salto al incorporar el cómputo en la nube para transmitir, adquirir y publicar minuto a minuto los datos adquiridos, además de enviar las alertas automáticas, a través de su cuenta de *Twitter* y correos electrónicos, autoridades del Sistema de Agua de la Ciudad de México y la Comisión Nacional del Agua.

Desde esa primer inversión del Instituto, hasta el día de ahora, el esfuerzo ha ido creciendo gracias a los recursos provenientes de proyectos realizados con la Subdirección General Técnica de la CONAGUA, hoy día contamos con catorce estaciones que miden la lluvia minuto a minuto. Este año gracias a la Dirección General de Ciencia y Tecnología de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México, instalaremos cuarenta estaciones más, logrando con ello, cincuenta y cuatro puntos de medición en la zona metropolitana generando un sistema de monitoreo único en el mundo por su tecnología e innovación.

Estamos orgullosos de que uno de nuestros proyectos haya logrado ser seleccionado por la UNAM y los productores, eso muestra las capacidades de nuestra institución, a través de sus personas para hacer cosas que trascienden, incluso con recursos limitados. El documental será transmitido por el canal 14 de televisión y cuenta la historia detrás de la llegada a buen puerto de un proyecto de investigación innovador. Felicito a la producción por interesarse en dar a conocer este tipo de proyectos.



ACADÉMICOS DE LA UNIVERSIDAD DE AMBATO-ECUADOR EN EL IIUNAM

Recientemente nos visitó una delegación de académicos de la Universidad de Ambato-Ecuador integrada por los ingenieros: Wilson Santiago Medina Robalino, Coordinador de Carrera de Ingeniería Civil; Jorge Javier Guevara Robalino, encargado de Prácticas Pre Profesionales y los profesores Alex Gustavo López Arboleda, Diego Sebastián Chérrez Gavilanes y Aníbal Geovanny Paredes Cabezas quienes visitaron los laboratorios de Mecánica de Suelos, Vías Terrestres y el Centro de Registro Sísmico. La visita tuvo la intención de conocer la infraestructura del Instituto de Ingeniería para poder establecer Prácticas Pre Profesionales Internacionales coordinadas por investigadores del Instituto de Ingeniería. |



DÍA MUNDIAL DEL AGUA

El día mundial del agua fue promulgado por la ONU en 1992, con ese motivo, este 22 de marzo se torna en una celebración mundial. Para celebrarlo el IIUNAM lo hace con esta serie de conferencias y un taller bajo el lema “La respuesta está en la naturaleza” –con estas palabras dio la bienvenida a los asistentes el Lic. Francisco Sañudo, Secretario de Vinculación del Instituto de Ingeniería–.

Las ponencias estuvieron a cargo de los licenciados Roberto Llanas y Fernández y Sarahí Panecatí Martínez; la maestra Anaíd Paola Velasco Ramírez y los doctores María Luisa Torregrosa y Armentia, Sharon Velásquez-Orta y Gonzalo Mauricio Figueroa Torres. Los temas que se abordaron fueron:

el manejo y la disponibilidad del agua tanto en la CDMX como en todo el país; las oportunidades de colaboración vía el Newton Fund que en el Taller llevó por título aprendiendo a modelar cultivos usando Matlab; los retos y oportunidades del marco legal mexicano rumbo a 2030; y la perspectiva actual del manejo y disponibilidad del agua en México. En el contexto internacional, la recuperación de los recursos del agua residual y el uso de microalgas: colaboración de México con el Reino Unido en torno al proyecto ATZINTLI y un estudio computacional y experimental sobre el crecimiento microalgal para la producción de biocombustibles. El público mostró gran interés pues el agua es un tema que a todos nos preocupa. |

9ª EDICIÓN DE PUERTAS ABIERTAS EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM

La novena edición de “Puertas abiertas del Instituto de Ingeniería” se llevó a cabo el pasado 7 de marzo tanto en las instalaciones de Ciudad Universitaria, como en las dos sedes Foráneas ubicadas en Juriquilla, Querétaro y en Sisal, Yucatán. El objetivo de Puertas Abiertas es divulgar los trabajos de investigación que realizan los académicos del Instituto de Ingeniería en beneficio de la sociedad y de las próximas generaciones.

Como cada año la jornada fue exitosa, hubo una asistencia de aproximadamente 650 personas quienes visitaron 19 laboratorios en Ciudad Universitaria, más 197 personas en Juriquilla, desafortunadamente Sisal no tuvo la misma suerte ya que estas instalaciones se encuentran retiradas. Los visitantes fueron atendidos por investigadores y estudiantes altamente capacitados para brindar la explicación adecuada dependiendo del público asistente.

Puertas Abiertas brinda la oportunidad de conocer un amplio panorama de las ingenierías. Además, muchos de los estudiantes que nos visitan ese día deciden integrarse al Programa de Becas de IIUNAM para desarrollar su tesis de licenciatura, maestría o doctorado, solicitar una estancia académica, o cubrir el servicio social.



ALAN ASPURU GUZIK

El Dr. Alan Aspuru Guzik, es actualmente investigador de la Universidad de Harvard y se está mudando a la Universidad de Toronto a partir del 1º de julio. El profesor Aspuru impartió una conferencia en el Salón de Seminarios Emilio Rosenblueth del Instituto de Ingeniería, sobre *Por qué la inteligencia artificial puede ser la clave para acelerar el desarrollo de energía limpia y cómo México y Canadá están a la vanguardia*, además planteó el interés por establecer relaciones de colaboración más estrechas entre la Universidad de Toronto y la Universidad Nacional Autónoma de México.

La inteligencia artificial –dijo el Dr. Aspuru– está generando una nueva revolución intelectual en el mundo, es una tecnología que básicamente es fundamental, es como cuando se inventó el álgebra lineal que se utiliza para muchas disciplinas. La inteligencia artificial también tiene influencia en muchos campos: desde la medicina por ejemplo la radiología, hasta la manufactura, prácticamente se convierte en una herramienta básica que cambia la vida de la humanidad, y esto es uno de los motivos por los que en las Universidades debemos educar a nuestros alumnos para que conozcan esta disciplina y sean competitivos para el mercado del futuro.

Muchas son las maneras en las que los estudiantes pueden acceder a este interesante tema, un ejemplo son los cursos gratuitos llamados MOOC (Maximun Online Open Courses) vía

internet. Las Universidades de Stanford, Harvard y Toronto también imparten este tipo de cursos en línea de manera gratuita.

Actualmente, y debido a la situación política de los EUA me estoy mudando de la Universidad de Harvard, en la que llevo doce años, a la Universidad de Toronto y una de las razones por las que escogí Canadá es porque está renovando su interés de manera frontal con México tanto en el aspecto comercial como en el aspecto académico.

Por su parte, la Universidad de Toronto ha declarado que México es uno de los lugares prioritarios para su expansión y colaboración, con esa intención organizamos esta visita a tres importantes universidades: la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional y el Tec de Monterrey a fin de estrechar lazos de colaboración para que muchos de los alumnos de estas universidades mexicanas vivan la experiencia académica, que nos visiten un semestre, o un verano, o incluso que desarrollen su tema doctoral. Tuvimos una reunión muy productiva con el Dr. Enrique Graue Wiechers, Rector de la máxima casa de estudios en la que hablamos de estas nuevas oportunidades. Canadá es un país incluyente por lo que estamos seguros que los estudiantes de todo el mundo se van a sentir como en su casa. La puerta está abierta para quienes deseen colaborar con nosotros. |



Premio a la Innovación

Fundación UNAM/PEMEX 2018

FUNAM PEMEX

Se reconocerán las investigaciones "innovadoras" en el área energética de la industria del petróleo y el gas, en temas como:

- Crudos extra-pesados
- Campos inteligentes
- Crudos con alto contenido de agua, sal y azufre
- Gas natural con alto contenido de nitrógeno y azufre
- Extracción ilícita de hidrocarburos
- Escasez de etano
- Emisiones de CO₂
- Residuales en refinerías
- Emisiones de gas natural
- Combustibles más limpios
- Catalizadores
- Eficiencia energética
- Proceso de transición normativa derivado de la Reforma Energética
- Logística de almacenamiento, transporte y medición
- Sistemas de medición
- Manejo integral del agua en centros de trabajo
- Confiabilidad de plantas
- Seguridad de los procesos (aplicación a sistemas de control distribuido)
- Sustentabilidad ambiental
- Integridad mecánica de ductos e instalaciones industriales

Premios

Lugar	Licenciatura	Posgrado (Maestría y Doctorado)
Primero	\$100,000	\$150,000
Segundo	\$50,000	\$100,000
Tercero	\$25,000	\$50,000

Consulta las bases completas en:

www.funam.mx

Fecha límite para recepción de trabajos:

8 de junio de 2018

Informes:

53 40 09 00 ext.2010



Fundación UNAM



@Fundacion_UNAM



@fundacion_unam



PORQUE, PORQUÉ, POR QUÉ O POR QUE, LA RAZÓN DE LOS PORQUÉS

Es normal que se tengan dudas cuando queremos utilizar estas expresiones, ya que fonéticamente se pronuncian de manera similar.

A continuación se presenta la diferencia que existe entre ellas.

Expresión	Función	Razón por la cual se acentúa	Usos	Ejemplos
Porqué	Es un sustantivo que puede utilizarse en singular y plural.	Se escribe con acento ya que es una palabra aguda terminada en vocal.	Es la causa, motivo o razón de lo que se está hablando. Se utiliza normalmente precedido de un artículo (el) o un -determinante (su, este).	No comprendo el porqué de tu conducta (singular) Hay que averiguar los porqués de su cambio de humor.
Por qué	Combinación de la preposición por + interrogativo o exclamativo qué .	Se acentúa para distinguirla del relativo y la conjunción que.	Introduce oraciones interrogativas y exclamativas directas e indirectas.	¿ Por qué vendiste tu auto? (Interrogativa directa) No sé por qué nuestro jefe siempre llega tarde a la oficina. (Interrogativa indirecta).
Porque	Es una Conjunción causal átona.	Se escribe sin acento ya que es una palabra grave terminada en vocal.	Se utiliza de dos formas: para explicar la causa o motivo de lo que se está hablando y como respuesta a las preguntas. Puede sustituirse por dado que, ya que, puesto que, como.	Luisa no entrenó porque estaba enferma -¿Por qué no aprobaste el examen? - Porque no estudié.

Expresión	Función	Razón por la cual se acentúa	Usos	Ejemplos
Por que	Combinación de la preposición por + pronombre relativo que , también puede tratarse de la preposición por + la conjunción subordinante que .	Se escribe sin acento ya que normalmente se intercalar un artículo entre ellos.	Se utiliza siempre y cuando puedas intercalar un artículo entre ellos. Equivale a utilizar “el cual”, “la cual”, “los cuales” o “las cuales”.	Esa es la excusa por (la) que canceló su cita médica.

Referencias

<http://www.rae.es/consultas/porque-porque-por-que-por-que>
<https://www.spanish.cl/Grammar/Notes/por-que-porque.htm>
<https://educacion.uncomo.com/articulo/cual-es-la-diferencia-entre-porque-por-que-porque-y-por-que-19144.html>
<https://www.fundeu.es/recomendacion/porque-porque-por-que-y-por-que-935/>
<https://laemadrid.com/porque-porque-por-que-por-que/?lang=es>
http://www.wikilengua.org/index.php/porque/porqu%C3%A9/por_que/por_qu%C3%A9
<https://www.blarlo.com/blog/2017/12/07/como-usar-correctamente-porque-porque-por-que-y-por-que/>
<https://www.youtube.com/watch?v=hwTKnqxBeBg>
<https://wikiguate.com.gt/unit/porque-porque-por-que-porque/>
<https://jackmoreno.com/2014/03/29/por-que-porque-por-que-y-porque/>

<https://www.literautas.com/es/blog/post-11229/cual-es-la-diferencia-entre-porque-por-que-porque-y-por-que/>
<http://espanolsinmisterios.blogspot.mx/2013/04/por-que-porque-o-porque-el-porque-de.html>
<http://gramaticayortografia.com/como-se-escribe/mas-ejemplos-de-por-que-porque-y-porque/>

Descarga el catálogo de libros del IIUNAM



<https://goo.gl/YzFWxF>