



COMUNICACIÓN  
ESPECIAL SOBRE LA  
Agenda 2030 de la ONU  
*Por un mundo mejor*

# GA CE TA

**DEL INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**

## **COORDINACIÓN DE ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN**

La modelación de  
propagación de epidemias:  
un problema complejo

Avances en  
telecomunicaciones  
usando fibras ópticas  
multinúcleo

Sistemas de diagnóstico  
para tuberías

Proyectos de redes eléctricas  
inteligentes y el Laboratorio  
de Redes Generales de  
Distribución Inteligentes

Este número de la Gaceta del Instituto de Ingeniería le corresponde a la Coordinación de Eléctrica y Computación, que forma parte de la Subdirección de Electromecánica.

La Coordinación nació para cultivar las áreas de Control y Automatización de Procesos, lo que le confirió el nombre antiguo (con el que todavía algunos la conocen) de Coordinación de Automatización. Sin embargo, a las líneas clásicas de control, se adhirieron muchas nuevas, provenientes de los vastos campos de la Ingeniería Eléctrica y la Computación, lo que motivó su cambio de nombre hace una década. Esto le confiere a la Coordinación un carácter muy heterogéneo y las líneas de investigación que se cultivan son muy disímiles. Algunas de ellas son: Modelado y Control de Sistemas Dinámicos; Detección de Fallas en Sistemas Dinámicos; Sistemas Eléctricos de Potencia; Sistemas de Comunicaciones Ópticas; Ingeniería Lingüística; Superconductividad Aplicada; Modelado y Control de Tráfico Vehicular.

Este número incluye cuatro artículos que describen algunas de las líneas desarrolladas por sendos investigadores jóvenes de la Coordinación. María Elena Lárraga y Luis Álvarez escriben sobre la “Modelación de propagación de Epidemias: Un problema complejo”; mientras que Daniel Enrique Ceballos Herrera describe los “Avances en Telecomunicaciones usando fibras ópticas multinúcleo”. Lizeth Torres (Cátedra de CONACYT) presenta los “Sistemas de diagnóstico para tuberías”; y César Ángeles Camacho aborda tanto el tema de Redes Eléctricas Inteligentes como el de Laboratorio de Redes Generales de Distribución Inteligentes.

**Jaime A. Moreno Pérez**

Coordinador de Eléctrica y Computación

## UNAM

Rector  
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario Administrativo  
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario de Desarrollo Institucional  
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

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

Abogada General  
Dra. Mónica González Contró

Coordinador de la Investigación Científica  
Dr. William H. Lee Alardín

Director General de Comunicación Social  
Mtro. Néstor Martínez Cristo

## IUNAM

Director  
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria

Secretaría Académica  
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia  
Dr. Efraín Ovando Shelley

Subdirector de Hidráulica y Ambiental  
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco

Subdirector de Electromecánica  
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirector de Unidades Académicas Foráneas  
Dr. Germán Buitrón Méndez

Secretario Administrativo  
Lic. Salvador Barba Echavarría

Secretario Técnico  
Arq. Aurelio López Espíndola

Secretario de Telecomunicaciones e Informática  
Ing. Marco Ambriz Maguey

Secretario Técnico de Vinculación  
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez

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

## GACETA DEL IUNAM

Editor responsable  
Lic. Israel Chávez Reséndiz

Reportera  
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías  
Archivo Fotográfico del IUNAM  
Sandra Lozano Bolaños

Fotografía de portada  
*Stock* del IUNAM

Diseño  
Sandra Lozano Bolaños

Corrección de estilo  
Gabriel Sánchez Domínguez

Impresión  
Grupo Espinosa

Distribución  
Guadalupe De Gante Ramírez

## GACETA DEL IUNAM



## LA COORDINACIÓN DE ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN

La Coordinación de Eléctrica y Computación fue creada desde los inicios del Instituto con el fin de cultivar las áreas de Control Automático, Automatización, Sistemas Aeroespaciales y Sistemas Computacionales. El eje unificador ha sido la teoría de sistemas y de control, que son disciplinas por naturaleza inter y multidisciplinarias, que forman parte esencial de todo proyecto de ingeniería y de toda forma de tecnología.

Gran parte de la tecnología moderna está profundamente arraigada en las disciplinas de la Ingeniería Eléctrica, Electrónica y los sistemas computacionales. Así que para el Instituto de Ingeniería era menester incorporar líneas de investigación en estas áreas fundamentales del quehacer científico y tecnológico. Debido al pequeño número de Investigadores en el área y a la gran cantidad de líneas de investigación fundamentales en el campo, la Coordinación tiene un carácter muy heterogéneo y ecléctico. Por ejemplo, conviven investigaciones en Modelado y Control de Sistemas Dinámicos Complejos; Detección de Fallas en Sistemas Dinámicos; Sistemas Eléctricos de Potencia; Sistemas de Comunicaciones Ópticas; Ingeniería Lingüística; Superconductividad Aplicada; así como Modelado y Control de Tráfico Vehicular. Esta gran hetero-

geneidad y su responsabilidad de cultivar un área muy vasta con un reducido personal, ha hecho que la Coordinación desarrolle una gran virtud: existe una gran interacción con otros grupos de investigación, tanto del Instituto de Ingeniería (por ejemplo con Estructuras, Bioprocesos Ambientales, Hidráulica, etc.), como de la Facultad de Ingeniería y de otros grupos de investigación nacionales e internacionales. Esto redundará en beneficio no sólo de los proyectos de investigación, sino también en la formación de los estudiantes que frecuentemente realizan estancias de investigación en otros laboratorios dentro y fuera del país.

La Coordinación está conformada por 7 investigadores, 4 investigadoras (una de ellas financiada mediante una Cátedra CONACYT) y 1 técnico académico. También hay actualmente 7 investigadores posdoctorantes, 24 doctorantes y 68 estudiantes en niveles de maestría, licenciatura o realizando su servicio social.

Los integrantes de la Coordinación disponen de diversos laboratorios especializados, en los cuales se realiza la investigación y enseñanza de las diversas disciplinas. Se cuenta con ocho Laboratorios: el de Control; de Sistemas Eléctricos de Potencia; de Detección e

Identificación de Fallas en Ductos; de Control de Vibraciones en Edificios; de Control Vehicular; de Telecomunicaciones Ópticas; el de Superconductividad Aplicada y el Centro Demostrativo y Transferencia Tecnológica de Gasificación de Biomasa conocido como la Plata de Gasificación. Las líneas de investigación de la Coordinación han tenido diversos patrocinios. Entre ellos se cuentan financiamientos de Pemex, CFE, diversos programas de financiamiento de CONACYT, como de Ciencias Básicas, CEMIE, etc.; los programas de PAPIIT en la UNAM, y diversas agencias internacionales como programas gubernamentales de Italia, Francia, Alemania, etc., y los fondos de la Comunidad Económica Europea.

Dado que las líneas de investigación cultivadas y cultivables en la Coordinación son cada vez más importantes en la solución de los problemas tecnológicos actuales, en el futuro este grupo se integrará cada vez más en los grandes temas de investigación del Instituto, formando ingenieros e investigadores de alto nivel en disciplinas cada vez de mayor relevancia para el desarrollo nacional.

**Jaime A. Moreno Pérez**  
Coordinador de Eléctrica  
y Computación

# LA MODELACIÓN DE PROPAGACIÓN DE EPIDEMIAS: UN PROBLEMA COMPLEJO

MARÍA ELENA LÁRRAGA  
Y LUIS A. ÁLVAREZ ICAZA



El acelerado desarrollo de medios de transporte masivos en un mundo globalizado induce una alta movilidad de la población, bienes y servicios. Al mismo tiempo se ha producido una rápida evolución de los agentes patogénicos inducida por el cambio climático. Ambos factores han provocado que en los últimos años, en diversos países alrededor del mundo se enfrenten a la emergencia, reemergencia, persistencia y propagación de diversas enfermedades infecciosas.

Como parte de las medidas de prevención, control y erradicación llevadas a cabo por distintas entidades sanitarias, se están usando modelos matemáticos y técnicas computacionales, dentro del marco de las ciencias de la complejidad, como medio para entender, estudiar, caracterizar y en algunos casos predecir la ocurrencia de una enfermedad infecciosa.

Entre estos modelos, los autómatas celulares (AC) se han distinguido como una alternativa eficiente para simular la propagación de epidemias. Los AC son sistemas dinámicos discretos en espacio, tiempo y variables de estado. Estos modelos incorporan la evolución de la enfermedad en reglas simples y locales que deciden el próximo estado de la enfermedad con base en modelos matemáticos o estadísticos usando técnicas computacionales para analizar la propagación de la misma.

## Modelando dengue

En nuestro grupo nos hemos enfocado al desarrollo de modelos matemáticos-computacionales basados principalmente en AC para entender y emular la dinámica espacio temporal de una de las enfermedades reemergentes, el dengue. Esta es la enfermedad viral transmitida por mosquito de más rápida propagación en el mundo y en los últimos 50 años su incidencia aumentó treinta veces con una creciente expansión geográfica hacia nuevos países, lo que supone un riesgo de infección para prácticamente la mitad de la población mundial. En México, su presencia aumentó en los últimos 14 años en 30 estados de la república, donde afecta a todos los grupos etarios,

con una transmisión más intensa en los meses de lluvia y en función de la temperatura. Por lo anterior, el dengue es ya un problema de salud pública. Ante esta situación, el monitoreo, análisis y la predicción del impacto del dengue sobre el bienestar de una sociedad es una piedra angular para identificar las maneras eficaces de prevenir, controlar y manejar los brotes de las enfermedades. Y es precisamente en lo que nos estamos enfocando.

En México, el mosquito *Aedes aegypti* es el principal vector del virus que causa el dengue. Los seres humanos se infectan por picaduras de hembras infectadas, que a su vez se infectan principalmente al succionar la sangre de personas infectadas (ver figura 1). Este ciclo de transmisión es importante para definir la dinámica de los modelos.

Nuestras aportaciones han estado orientadas a proveer un medio que posibilite entender la dispersión del dengue en tiempo y espacio, bajo diferentes escenarios, para poder después evaluar posibles medidas de control. Para este propósito,



Figura 1. Ciclo de transmisión del dengue

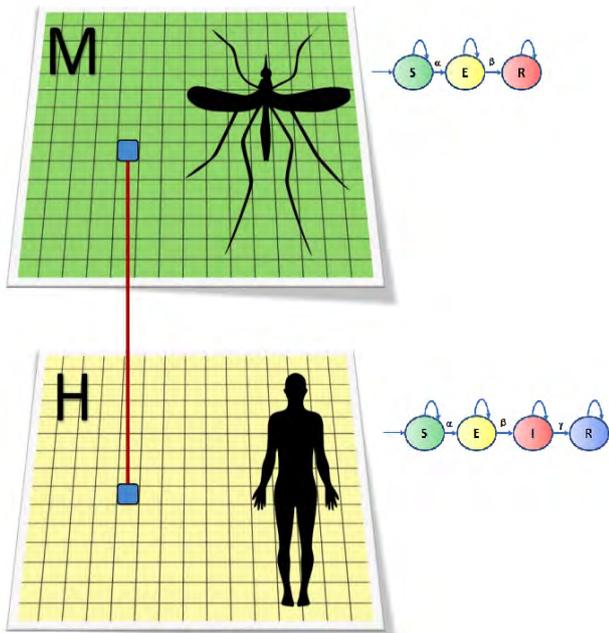


Figura 2. Ejemplo conceptual de un modelo de AC acoplados y la teoría de modelos compartimentales (S: Susceptible, E. Expuestos, I:Infectados, R: Recuperados) para representar la dinámica del dengue entre humanos (H) y mosquitos (M) .

los espacios geográficos que representan las poblaciones de mosquitos y humanos se discretizan en celdas asociadas con subáreas geográficas. La dinámica global y local de la enfermedad se modela con base en reglas de transición local y la teoría de los modelos matemáticos compartimentales, que clasifican la población existente en el espacio geográfico representado por una celda con base al estado de salud de sus individuos (por ejemplo, susceptibles (S), expuestos (E), Infectados (I), recuperados (R)) y explican la transición entre estos estados de acuerdo al conocimiento existente en la literatura sobre el ciclo de transmisión del dengue (dinámica) y el estado de las celdas vecinas (ver figura 2). Adicionalmente, los modelos que hemos desarrollado a la fecha toman en cuenta las variaciones climáticas para simular la propagación del dengue, ya que es sabido que la temperatura es un factor importante en el desarrollo del virus, pues afecta la reproducción del mosquito vector, por tanto, la prevalencia de la enfermedad. Además de las características geográficas, ambientales y climáticas, el modelo también toma en cuenta los ciclos de actividad económica de la población y movilidad de humanos y moscos como medio importante para explicar la propagación de la enfermedad.

Para validar los modelos desarrollados, hemos considerado datos reales de casos de dengue en México. Particularmente,

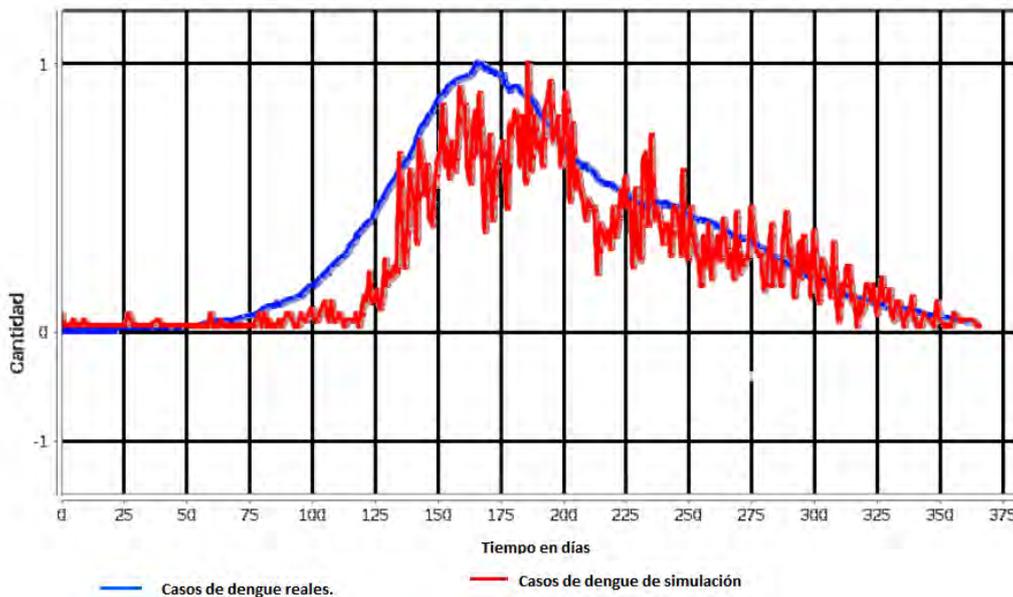


Figura 3. Casos de dengue en el tiempo de Cuernavaca, Morelos, 2008 (Fuente: INSP, México), con respecto a los casos obtenidos de simulación normalizados al 10 %

datos de Cuernavaca, Morelos proporcionados por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) y la Dirección General de Epidemiología (DGE) para el año 2008; año en el cual se registró el brote de dengue más importante en la historia de esta ciudad, con una tasa de incidencia de 489 por cada 100,000 habitantes y una tasa de letalidad de 0.7 por cada 100 casos. También se utilizaron datos climatológicos para estimar las precipitaciones y temperaturas diarias reportadas por el Servicio Meteorológico Nacional de diez años previos a 2008, es decir, 3652 días reportados del 1 de enero de 1998 al 31 de diciembre de 2007. Los resultados obtenidos de la simulación computacional de los modelos se ajustan muy bien con los casos de dengue reales (ver figura 3). Las medidas de control que tomó la Secretaría de Salud no han sido suficientes para controlar o erradicar estas enfermedades que se mantienen en epidemia todo el año. Por

ello, el uso de este tipo de modelos para México ayuda a conocer la compleja dinámica de su propagación, y con ello, a mejorar la toma de decisiones para controlar su propagación y evaluar medidas de control antes de su implementación final.

Los modelos de AC son adecuados para analizar otro tipo de sistemas complejos donde la propagación local es importante, como el tráfico, las plagas o los virus informáticos, aplicaciones en las que también trabaja nuestro grupo.

Adicionalmente, hemos encontrado que muchos estudiantes de ingeniería, ciencias de la computación y de ciencias físicas se interesan por el estudio, desarrollo y análisis de comportamiento de estos sistemas complejos, los cuales fomentan el pensamiento multidisciplinario, el trabajo en equipo, y a la vez, los hacen conscientes de la importancia de su estudio para lograr una sociedad mejor. |

---

## AVANCES EN TELECOMUNICACIONES USANDO FIBRAS ÓPTICAS MULTINÚCLEO

### DANIEL ENRIQUE CEBALLOS HERRERA

Hace veinte años se consideraba que la fibra óptica tenía una capacidad ilimitada para transferir información debido a que estos sistemas podían soportar altas tasas de transmisión. Sin embargo, debido a la alta demanda del uso de internet en las grandes ciudades, la cual incrementa 40% cada año, ha llegado al grado de requerir actualmente sistemas ópticos de comunicación con tasas de transmisión de datos del orden de 1 Tb/s, y si consideramos que dicha demanda sigue aumentando en forma exponencial, pronto alcanzará el límite de transmisión de datos permitida por las fibras ópticas de 100 Tb/s, la cual es impuesta por las no linealidades de la fibra. Por tanto, se ha comenzado a vislumbrar la saturación de los sistemas basados en estos tipos de guías. A este hecho se le denominó *Capacity Crunch*. Con base en este problema, surgen muchas soluciones directas que consisten en aumentar el número de cableado de fibra óptica estándar de un solo núcleo, lo cual resulta demasiado costoso y complejo en cuestión de infraestructura y poco viable en la actualidad, además de que no es una solución escalable que pueda ser utilizada

en las siguientes dos décadas. En este punto es indispensable generar nuevo conocimiento para rediseñar e innovar la infraestructura basada en fibra óptica e incrementar la capacidad de transmisión de datos hasta el orden de 1 Exabit/s. Lo anterior es una necesidad muy conocida por la comunidad técnica internacional.

En este contexto, se empezó a considerar fibras ópticas que posean varios núcleos (MCF: Multicore fibers), donde la información es transportada en cada núcleo de la fibra, utilizando en la mayoría de los casos núcleos similares y monomodales con diámetros de 8  $\mu\text{m}$ . Esto permitiría que en el caso de fibras ópticas con múltiples núcleos se pueda propagar la misma cantidad de información transportada hasta ahora, pero multiplicada por la cantidad de núcleos que posea la fibra, tal como se observa en la figura 1. A esta modalidad se le conoce como multiplexado por división espacial (SDM: Spatial División Multiplexing). Sin embargo, se presenta un problema inherente usando esta modalidad, que consiste en el acoplamiento de la señal transmitida de un núcleo a otro, también conocido como *crosstalk* internúcleo. Dicho acoplamiento es generado por efectos lineales y no lineales dentro de la fibra óptica, las cuales dependen a su vez de perturbaciones estructurales de la fibra como cambios de separación entre núcleos, cambios de birrefringencia y dispersión, entre otros, así como de perturbaciones externas como torsiones y curvaturas, y a los procesos no lineales a lo largo de la fibra.

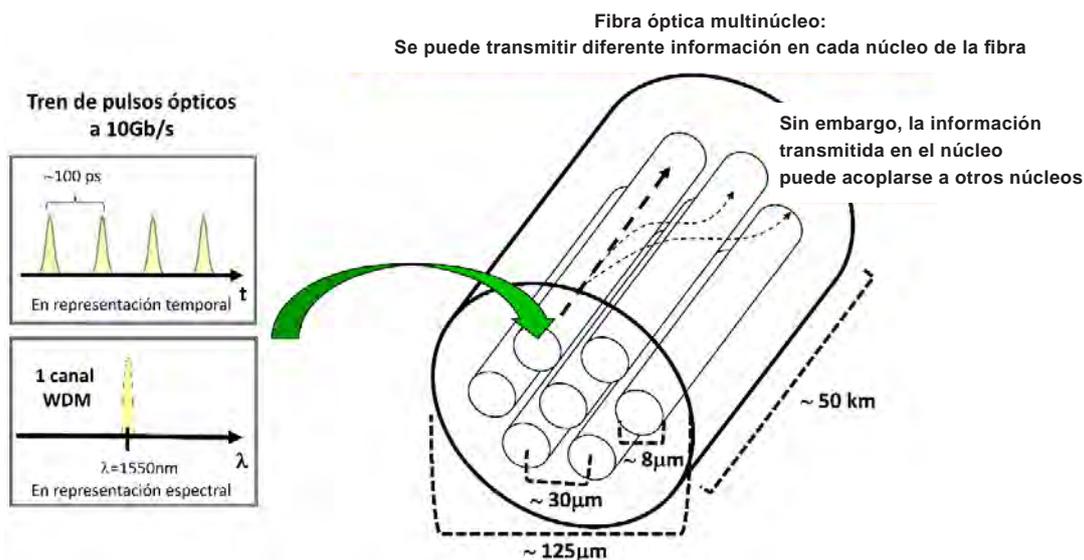


Figura 1. Transmisión de señales en fibras ópticas multinúcleo

La cantidad de información transferida a otros núcleos de la fibra puede ser predicha a través de los coeficientes de acoplamiento lineal y no lineal, los cuales se obtienen resolviendo la ecuación de onda espacial para el perfil de la fibra óptica multinúcleo. Dicha ecuación de onda contiene términos lineales y no lineales que al ser considerados en forma separada da origen a los acoplamientos lineales y no lineales antes mencionados. En general, ambos tipos de acoplamiento siempre aparecerán en forma combinada, sin embargo, si se consideran bajas potencias de la señal óptica transmitida del orden de 1 mW, se podrán reducir los efectos no lineales de la fibra y minimizar los acoplamientos no lineales, predominando como consecuencia el acoplamiento lineal que es el tipo de acoplamiento más fácil de manipular.

De manera adicional, si los núcleos se encuentran muy separados entre sí con distancias mayores a 30  $\mu\text{m}$ , ambos tipos de acoplamientos tendrán una magnitud reducida, produciendo menor transferencia de potencia lumínica entre los núcleos de la fibra y un menor mezclado de las señales transmitidas, lo cual puede ser corregido con un procesamiento de información posterior. Este acoplamiento o *crosstalk* entre núcleos también puede variar aleatoriamente a lo largo de la fibra. Dicho *crosstalk* debe ser mantenido en un rango de valores adecuados, principalmente cuando se diseñan fibras con mayor número de núcleos más cercanos entre sí, y manteniendo un diámetro de fibra óptica en el revestimiento de

125  $\mu\text{m}$ . Lo anterior es de gran importancia, debido a que ello permitirá escalar la capacidad de transmisión de datos usando mayor número de núcleos en arreglos más compactos, y manteniendo diámetros de revestimiento dentro de valores estándar, pudiendo transportar mayor cantidad de información y facilitando a su vez la interconexión de estas fibras con equipos transmisores y receptores disponibles hoy en día. Sin embargo, al considerar núcleos más compactos, los acoplamientos lineales y no lineales se incrementan y producen mayor mezcla de la información transmitida, requiriendo como consecuencia un procesamiento de información posterior más complejo para recuperar la señal. Por tanto, el entendimiento de estos acoplamientos cuando los núcleos se encuentran muy cercanos entre sí, también conocido como régimen de acoplamiento fuerte, es un tema de gran interés en la actualidad debido a que con base a ello se podrán diseñar nuevos perfiles de fibras ópticas y establecer regímenes de operación que permitan manipular la transferencia de potencia entre núcleos y reducir el *crosstalk* a lo largo de 50 km de longitud de fibra, así como también incrementar su efecto para diseñar acopladores, switches y ruteadores WDM más eficientes, de mayor capacidad, con dimensiones más compactas, que son dispositivos altamente requeridos en redes de comunicación basados en estos tipos de fibras.

Por otro lado, las primeras fibras multinúcleo propuestas para su aplicación en SDM se desarrollaron dentro del régimen

de acoplamiento débil, el cual solamente involucra efectos de acoplamiento lineal con bajas potencias de transmisión considerando núcleos muy separados entre sí con distancias mayores a 30  $\mu\text{m}$ . Estas propuestas solamente se han realizado en el régimen monocromático, es decir, empleando una sola longitud de onda a 1550 nm (un canal WDM). A pesar de ello, con estas propuestas se han obtenido resultados importantes para aumentar la capacidad de transmisión de datos. Algunas de estas propuestas ya han sido instaladas recientemente en ambientes fuera de laboratorio para su monitoreo y control. De la misma manera, junto con estas propuestas, también se han desarrollado formalismos teóricos que han predicho fórmulas para calcular la potencia acoplada o *crosstalk* internúcleo. Lo anterior permite proponer diseños que reducen la degradación de señales transmitidas en fibras ópticas multinúcleo ante diversas perturbaciones, y éstas han sido validadas numérica y experimentalmente en el ámbito lineal.

La inclusión de un análisis espectral empleando diferentes longitudes de onda a través de señales WDM, con múltiples canales de transmisión considerando núcleos más compactos entre sí, es un siguiente paso relevante en el estudio y entendimiento del acoplamiento lineal y no lineal en fibras ópticas multinúcleo. Lo anterior se debe a que las señales WDM presentan intercambio de energía entre sus canales a diferentes longitudes de onda, generando en forma simultánea, nuevas

frecuencias debido a no linealidades como la modulación de fase cruzada, el mezclado de cuatro ondas y el esparcimiento Ramán y Brillouin, y se puede esperar que estos efectos no lineales afecten el acoplamiento de señales WDM en estos tipos de fibras. Las primeras evidencias de estos efectos fueron descritas por el grupo de Telecomunicaciones del Instituto de Ingeniería<sup>1</sup>. Con base en lo anterior, la inclusión de señales WDM, tal como se indica en la figura 2, permite obtener información más completa y detallada del impacto de las no linealidades en el acoplamiento presente en estos tipos de fibras.

Por otro lado, recientemente se empezó a proponer la combinación de fibras ópticas multinúcleo y fibras ópticas multimodales, donde cada núcleo de la fibra multinúcleo soporta al menos 6 modos de propagación, incrementando con ello, la capacidad de transmisión de datos. Dichas estructuras han atraído gran interés debido a las nuevas propiedades que aún faltan por investigar en cuestión de acoplamientos internúcleo e intermodal combinados y cómo las no linealidades antes mencionadas afectan la propagación de señales WDM acopladas. |

#### Referencias:

- <sup>1 y 2</sup> D. E. Ceballos-Herrera, R. Gutiérrez-Castrejón, J. Álvarez-Chávez, Stimulated Raman Scattering and Four-Wave Mixing Effects on Crosstalk of Multicore Fibers, Vol. 30, No. 1, 2018.

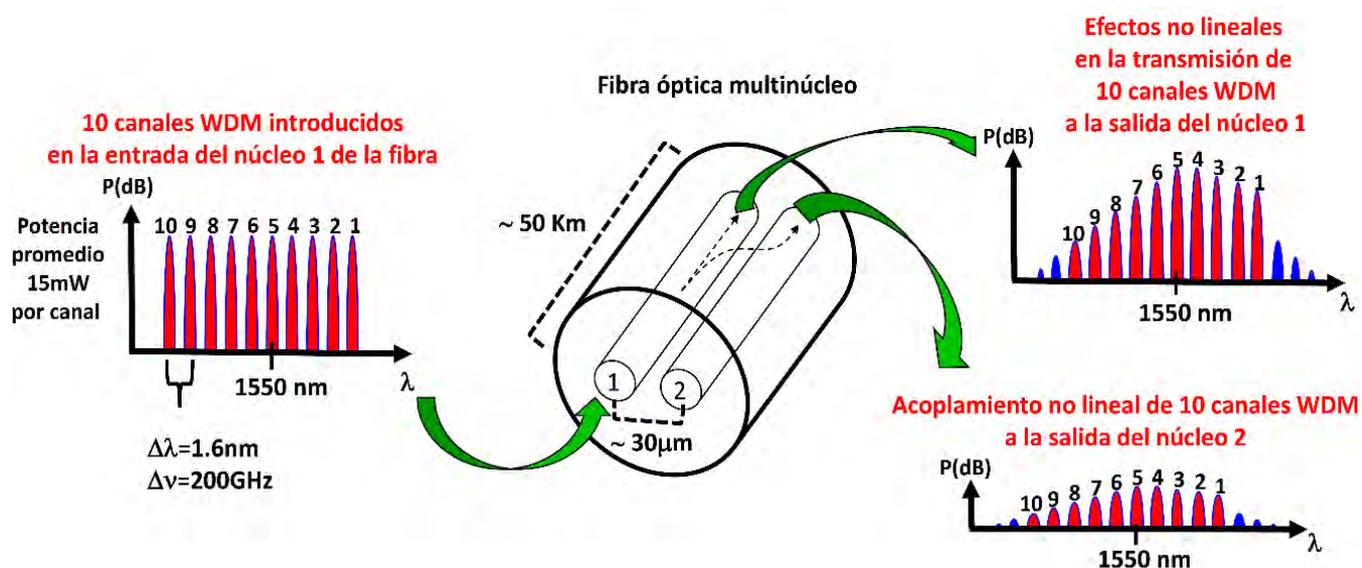


Figura 2. Acoplamiento no lineal de 10 canales WDM con respecto a la longitud de onda  $\lambda$  en una fibra óptica con 2 núcleos<sup>2</sup>

## SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO PARA TUBERÍAS

LIZETH TORRES

Una tubería es el medio más popular para transportar materias primas ya que permite trasladar grandes volúmenes de fluidos en periodos relativamente cortos. Se estima que hay más de 3 500 000 km de tuberías en aproximadamente 120 países, de las cuales 65% se encuentran en Estados Unidos, 8% en Rusia y 3% en Canadá. Esto significa que los gobiernos y compañías que operan esta gran cantidad de tuberías dedican un esfuerzo colosal para gestionarlas de la manera más adecuada y prudente, lo que puede implicar diversas tareas de control, mantenimiento, optimización y diagnóstico<sup>1</sup>.

Desafortunadamente, a pesar de todas estas tareas enfocadas al buen funcionamiento de las redes de ductos y a la prevención de fallas, continúan presentándose eventos no deseados que provocan accidentes y daños irreversibles a la sociedad y al ambiente. Los eventos más comunes son las fugas causadas principalmente por el envejecimiento de las tuberías (corrosión), fallas en la instalación (particularmente en juntas y válvulas), eventos naturales (terremotos, huracanes y tsunamis), la humedad, las extracciones ilegales y los sabotajes terroristas. Sólo en Estados Unidos entre 1997 y 2016 se produjeron 832 accidentes graves en redes de distribución de gas, que causaron 310 muertes y 1299 heridos, además de la pérdida de millones de dólares en daños materiales<sup>2</sup>. En México, muchos de los accidentes fueron consecuencia de fugas causadas por terceros o extracciones no autorizadas. En la figura 1 se muestra una gráfica del crecimiento exponencial de las extracciones no autorizadas desde 2006 hasta 2017. Haciendo una regresión no lineal con el número de extracciones año con año, se puede predecir que en 2018 se tendrán aproximadamente 13 439 extracciones no autorizadas si no se toman las medidas necesarias para detener su expansión<sup>3</sup>.

Por esta razón, la seguridad de las redes de ductos es una preocupación constante de los sectores involucrados, los cuales regulan formalmente el funcionamiento de las tuberías mediante normas oficiales para garantizar la seguridad de su operación, especialmente de las tuberías que transportan fluidos peligrosos. Además, estos sectores invierten ge-

nerosos recursos para el desarrollo de nuevos sistemas de detección de fugas robustos y confiables.

De acuerdo a la norma API RP 1130, los sistemas de detección de fugas se clasifican en dos categorías: sistemas externos y sistemas internos. Los sistemas internos utilizan instrumentación de campo (por ejemplo, sensores de flujo, presión o de temperatura del fluido) para monitorear los parámetros internos de la tubería. Los sistemas externos utilizan radiómetros infrarrojos, cámaras térmicas, sensores de vapor, micrófonos acústicos o cables de fibra óptica para monitorear los parámetros externos de la tubería.

La figura 2 muestra un esquema de la clasificación de los métodos de detección de fugas. Hay que observar que éstos también pueden clasificarse en otras dos categorías: métodos continuos y no continuos. Los primeros son aquellos que monitorean continuamente la tubería conforme reciben información de los sensores. Los métodos no continuos son aquellos que se aplican una vez cada determinado periodo, diario, semanalmente o según el plan de diagnóstico y mantenimiento. En la práctica, los métodos continuos y no continuos a menudo se usan conjuntamente.

La mayoría de los métodos de detección de fugas desarrollados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM por el grupo de Detección de Fallas son métodos basados en modelos, los cuales son muy populares entre los investigadores debido a su rentabilidad y eficiencia, aunque también gracias a los constantes avances tecnológicos en *hardware*, telecomunicaciones y al desarrollo de nuevas técnicas computacionales que permiten la implementación efectiva de estos métodos.

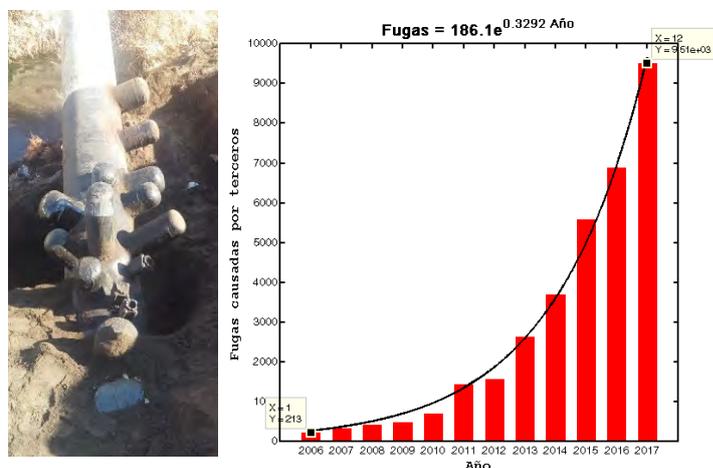


Figura 1. Extracciones no autorizadas

En la figura 3, se muestra un esquema del proceso general de la aplicación de un sistema de detección de fugas basado en un modelo desde su concepción hasta la posible ejecución de un sistema de pronóstico. Este proceso consta de cuatro etapas: 1. Diseño del sistema de diagnóstico ( $\Sigma DX$ ). 2. Ejecución del sistema de diagnóstico. 3. Acciones postdiagnóstico y 4. Ejecución de un sistema de pronóstico. A su vez, cada una de estas etapas está conformada de sub-etapas que a continuación se describen.

**Formulación del modelo.** Algunos de los principios físicos utilizados para construir el modelo matemático de una tubería son los de conservación de masa, momento y energía. Las ecuaciones que describen estos principios son ecuaciones diferenciales parciales no lineales de tipo hiperbólico. Estas ecuaciones se pueden simplificar con base a ciertas suposiciones, por ejemplo, se pueden desprestigiar los términos convectivos o se pueden ignorar los cambios de densidad. También se pueden linealizar y aproximar como un conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias o álgebra-diferenciales, incluso expresarse en función de la frecuencia. El tratamiento que se le dará al modelo dependerá de la técnica de diagnóstico que se empleará para detectar y localizar la fuga.

**Calibración del modelo.** Una vez formulado el modelo, necesitamos adecuarlo para que represente específicamente la tubería que se va a diagnosticar. Para ello necesitamos obtener los valores de los parámetros que utiliza el modelo. Estos pue-

den medirse directamente u obtenerse indirectamente a partir de las mediciones de gasto y presión utilizando técnicas de estimación de parámetros. Uno de los parámetros más difíciles de estimar es la fricción, que además debe estar bien calibrada pues los sistemas de diagnóstico son muy sensibles a ella. Un sistema de detección y localización con una fricción mal calibrada, producirá un diagnóstico erróneo.

**Validación del modelo.** Es el proceso de comprobar que los resultados aportados por el modelo para las variables de salida y de estado no son muy diferentes a los medidos en la realidad. Existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo, por ejemplo, el RSME/MAE (cociente entre el error cuadrático medio y el error absoluto medio) o el índice de ajuste modificado.

**Programación del sistema de diagnóstico.** En esta etapa el modelo se convierte en parte de un algoritmo de diagnóstico que se puede programar en una computadora o en una microcomputadora de bajo costo. Este algoritmo puede ser autónomo e independiente o ser parte de un sistema más complejo, como un sistema SCADA. Algunos de estos algoritmos están basados en técnicas de optimización, análisis de Fourier o control automático, como por ejemplo los observadores de estado.

**Detección de la fuga.** En esta primera sub-etapa de la ejecución del sistema de diagnóstico, la fuga es detectada ya sea calculando el balance de flujos de cada tubería supervisada o por un transitorio inusual de la presión. Algunos de los sistemas

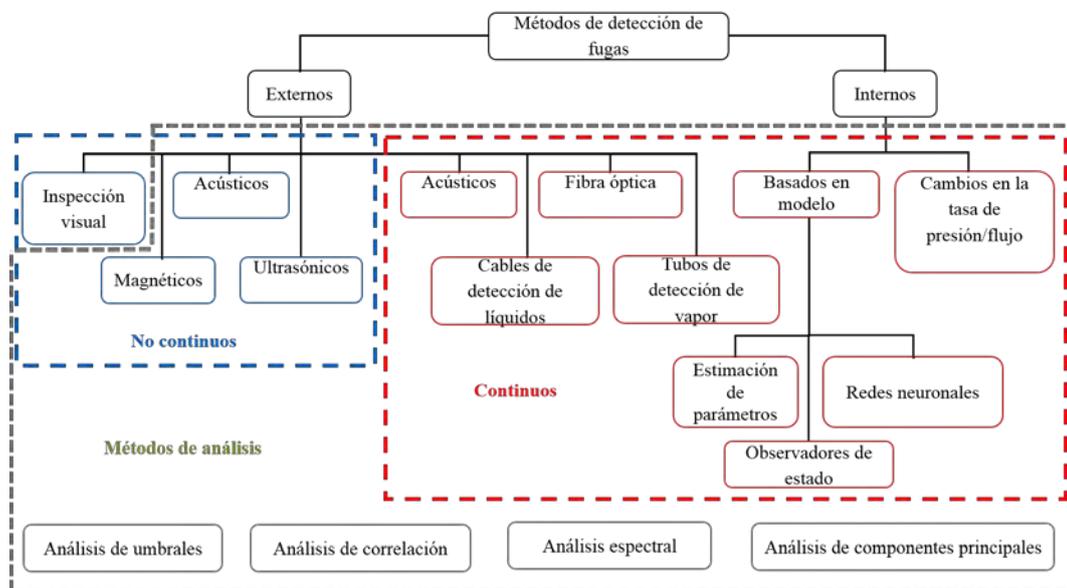


Figura 2. Clasificación de métodos de detección de fugas

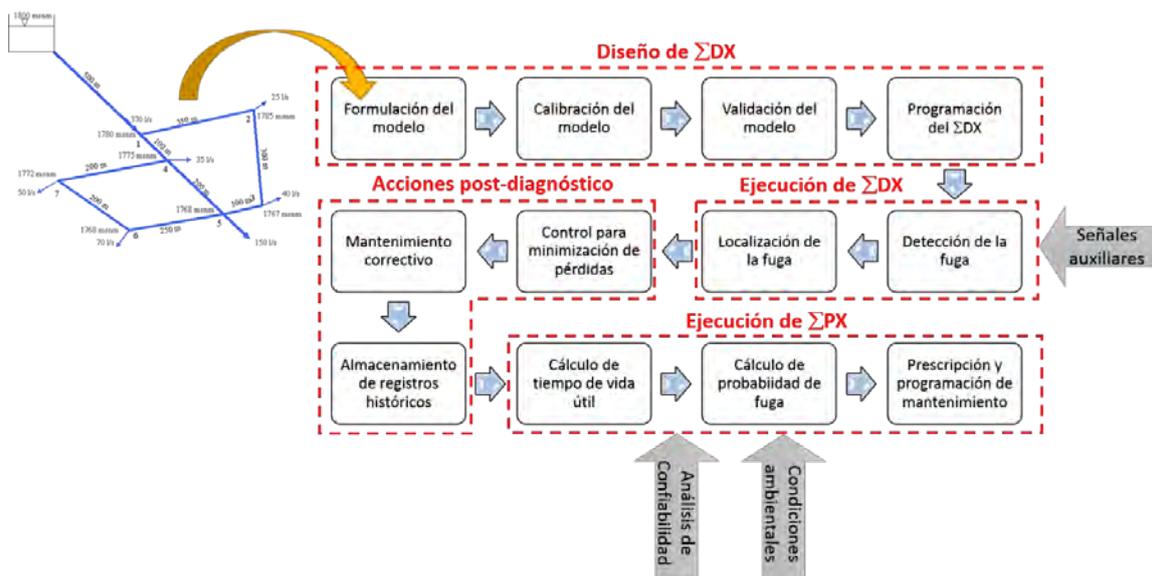


Figura 3. Proceso previo y posterior a la ejecución de un sistema de diagnóstico para tuberías basado en un modelo matemático

de diagnóstico más sofisticados descartan que el balance de flujos diferente de cero no sea producto de la descalibración de los sensores de flujo.

**Localización de la fuga.** En esta sub-etapa el sistema de diagnóstico proporciona la localización exacta de la fuga o el sector donde se encuentra. Tanto para la detección como para la localización se necesita, además del modelo, de las mediciones del flujo y de presión debidamente procesadas. Algunos sistemas de diagnóstico sofisticados, envían señales de presión a la tubería para perturbar el fluido y obtener más información que ayude al diagnóstico.

**Control de minimización de pérdidas.** Una de las primeras acciones a realizar después del diagnóstico es minimizar las pérdidas del fluido cerrando las válvulas necesarias para aislar el sector del ducto con fuga, o en caso de que esto no sea posible, bajar el diferencial de presión para reducir el flujo en el ducto y por consecuencia el flujo de la fuga.

**Mantenimiento correctivo y análisis de fallas.** Las fugas son reparadas o el ducto reemplazado, según la severidad del problema. Además, se colectan los elementos necesarios para determinar el origen de la falla.

**Almacenamiento de registros históricos.** El almacenamiento de los resultados del diagnóstico, las señales producidas durante la fuga, el origen de la fuga, la frecuencia de la aparición de fugas por año y las estadísticas de los daños causados, permiten poseer la información necesaria para alimentar un

sistema de predicción que permita pronosticar posibles fugas en un determinado periodo.

**Cálculo de vida útil.** Es el tiempo que le queda de servicio a la tubería en un momento particular de su operación. Su estimación es fundamental para su mantenimiento y para calcular las probabilidades de fuga. La vida útil es aleatoria y desconocida, y como tal debe estimarse a partir de registros históricos, de un análisis de confiabilidad y de las condiciones ambientales a las que está expuesta la tubería.

**Cálculo de probabilidad de fuga.** En esta etapa se estima el riesgo de fugas en un determinado periodo con base a los registros históricos y al cálculo de vida útil.

**Prescripción y programación de mantenimiento.** Con base a la información del diagnóstico y pronóstico, se pueden programar las actividades de mantenimiento preventivo con la finalidad de extender la vida útil de la tubería.

## Referencias

- 1 Factbook, C. I. A. (2010). The World Factbook. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2117.html>.
- 2 U.S. Department of Transportation (2016). Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration: Serious Pipeline Incidents Report.
- 3 Pemex (2018). Reporte de Tomas Clandestinas. [http://www.pemex.com/acerca/informes\\_publicaciones/Paginas/tomas-clandestinas.aspx](http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Paginas/tomas-clandestinas.aspx)



## PROYECTOS DE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y EL LABORATORIO DE REDES GENERALES DE DISTRIBUCIÓN INTELIGENTES

CÉSAR ÁNGELES CAMACHO

El desarrollo e implementación de la tecnología de redes eléctricas inteligentes para el manejo integral de sistemas eléctricos es una realidad global. La innovación tecnológica de sistemas eléctricos y las políticas de desarrollo de mercado son esenciales para la implementación de las nuevas redes que operarán en el futuro, y se reconocen cada vez más como una prioridad nacional para países en vías de desarrollo y economías emergentes. En años recientes se observó una fuerte inversión en estas áreas por parte de algunos gobiernos interesados en mantener su liderazgo y otros en entrar en ese selecto grupo de líderes tecnológicos.

Para México la meta es clara, se necesitan inversiones para estimular la eficacia, a través de investigación, desarrollo e innovación en redes eléctricas inteligentes (REI), para la creación y el desarrollo de nuevos productos que se puedan implementar y comercializar dentro y fuera de nuestras fronteras. Esto aunado a la integración de sinergias tanto académicas como industriales permitirá que el país aspire a puesto de liderazgo en algunas áreas de las tecnologías de REI. Si esto no ocurre, México corre el riesgo de quedar como un consumidor y usuario de estas tecnologías y caer por debajo de su capacidad de competir.

Ante esta perspectiva surge la propuesta de creación de un laboratorio de Redes Generales de Distribución Inteligentes, RGDI, la cual se cimienta en la gestión y asignación de una cartera de proyectos de investigación para que el Instituto de

Ingeniería, UNAM, se convierta en líder nacional y regional del área.

El objetivo del laboratorio es construir un centro de monitoreo y simulación que realice actividades de I+D+i en redes inteligentes de distribución, basado en una plataforma de monitoreo y en la recopilación de datos de la red eléctrica de 23 kV de Ciudad Universitaria en la UNAM.

Actualmente, bajo mi dirección se desarrollan varios proyectos de Redes Eléctricas Inteligentes entre los que se encuentran: Evaluación de la operación de sistemas de potencia considerando energías renovables no-convencionales, es un proyecto multidisciplinario en el que participan con el IIUNAM, la Universidad Michoacana (UMSNH) y el CINEVESTAV de Guadalajara, patrocinado por CONACYT/SENER. Tiene dentro de sus objetivos la creación de un grupo de investigación multidisciplinario de clase mundial orientado a la I+D+i de tecnologías de energía renovable en diversos aspectos relacionados con su integración a los sistemas de energía eléctrica, incluyendo el pronóstico.

Este grupo de investigación trabaja en el desarrollo de un marco de modelado matemático, así como de métodos analíticos y numéricos avanzados, para evaluar la forma en la que, al integrar fuentes de energía renovables no convencionales, se impacta el estado operativo de un sistema eléctrico. Estos desarrollos tomarán en cuenta el diseño principal y las características operativas de estas fuentes y de la red. El marco de

modelado y análisis matemático considerarán ambos estados de operación: estado estable y dinámico.

El siguiente proyecto, patrocinado 50% por la Universidad de Arizona y el otro 50% por el IIUNAM lleva por título Estimación del estado dinámico de sistemas de transmisión flexible AC (FACTS) incorporando mediciones SCADA y PMU; en esta investigación el objetivo es predecir las oscilaciones de baja frecuencia, LFO, en tiempo real a través del método de estimación dinámica de estado estable, la estimación puede realizarse considerando mediciones SCADA y PMU. Aquí un aspecto de suma importancia es el desarrollo de modelos matemáticos de los controladores FACTS para el amortiguamiento de las LFO, así como los algoritmos a desarrollar e implementar en el *software* para llevar a cabo el análisis eficaz de un sistema eléctrico de potencia a gran escala.

El último proyecto que voy a presentar es el Simulador en tiempo real y el controlador para conexión a red y Microredes cuyo objetivo es ajustar y calibrar el diseño inicial de una red de pruebas implementada, también modelar y simular la nueva

red de pruebas, todo esto en el Laboratorio de Electrónica de Potencia del IIUNAM. Además de extender y desarrollar un simulador digital en tiempo real de código abierto, de bajo costo, capaz de hacer uso de los datos de las PMU y así realizar pruebas con energías renovables y microredes. También se va a encapsular la red de monitoreo implementada en la UNAM con las capacidades del simulador digital en un prototipo de controlador para microredes. Esta investigación está patrocinada por la Universidad de Arizona y el IIUNAM

## Laboratorio de Redes Generales de Distribución Inteligentes

Gracias a los ingresos extraordinarios adquiridos a través de estos proyectos será posible, por un lado, incorporar tecnologías y profesionales para que colaboren en el desarrollo de estas investigaciones, y por otro, suministrar al laboratorio de Redes Generales de Distribución Inteligentes con el equipo que se describe a continuación:

Equipo	Descripción
<b>Video Wall</b>	6 (3x2) pantallas LCD de 46" Full HD 1920x1080 pixeles.
<b>Computing Site</b>	Gabinets destinados para el cableado y equipo de cómputo. Aquí se encuentran el equipo necesario para la video Wall, un switch Moxa 7728 (para la red de fibra óptica), un Radio-Modem, los switches para los servidores y las bases de datos.
<b>SCADA</b>	Equipo de cómputo con funciones de consola, corriendo un sistema SCADA. La RMT-UNAM emigrará de Sat-Red LX de Sensa Control Digital a Survalent Technology.
<b>OPAL-RT</b>	Simulador digitales de tiempo real (RTDS por sus siglas en inglés) en PC / FPGA, equipado con componente de prueba Hardware-in-the-Loop (HIL) y sistemas de control rápido de prototipos (RCP) para diseñar, probar y optimizar el control y la protección de sistemas utilizados en redes eléctricas, electrónica de potencia, accionamientos de motores, automóviles, trenes, aviones y diversas industrias, así como centros de I + D y universidades.
<b>Gabinets Abiertos</b>	Usados para contener relevadores GE D60, SEL 351A, SEL-487E y futuras adquisiciones en la red de pruebas.
<b>Mesa de trabajo</b>	Utilizada para diferentes pruebas prácticas de laboratorio.
<b>RACK AMI</b>	Rack abierto destinado al desarrollo de aplicaciones usando medidores inteligentes tipo AMI.
<b>AMI-PC</b>	Equipo dedicado para el desarrollo de aplicaciones AMI.
<b>Celda de Combustible</b>	Sistema de generación de potencia de 5-10 kVA, a base de hidrógeno. Servirá como caso de estudio y como sistema de respaldo y continuidad para todo el laboratorio.
<b>Tanque de hidrógeno</b>	Reserva de hidrógeno para las celdas de combustible.
<b>Estaciones de Trabajo</b>	Para el desarrollo de las diferentes actividades en los proyectos.

Dada la relevancia de los proyectos se consiguió la donación de *software* tipo SCADA de Survalent ONETM-ADMS, para estudios de redes eléctricas inteligentes con el que se podrá hacer el Control de Supervisión y Adquisición de Datos, SCADA, diseñar los sistemas de gestión de interrupciones, OMS y los de gestión de distribución avanzada, ADMS con aplicaciones para SCADA, OMS y DMS logrando la integración con varias interfaces y protocolos.

Cabe señalar que debido a la magnitud de estos proyectos las autoridades del Instituto de Ingeniería han considerado una expansión del laboratorio al doble de su tamaño para tener un centro SCADA/sincrofasorial de una red inteligente, con fines exclusivamente de monitoreo; un Sistema de Información Geográfica y Eléctrica de la RMT-UNAM, un Laboratorio virtual para el análisis de redes inteligentes de distribución; un Simulador del sistema eléctrico de la red de media tensión de Ciudad Universitaria, RMT-UNAM; y además el desarrollo de un sistema de administración de datos de medición; otro para modelos de elementos de redes de distribución, para un Sistema

integral de administración de distribución, DMS y para un Sistema de Medición Inteligente (AMI) para edificios en CU.

Con este equipo se llevará a cabo el desarrollo y la instalación de indicadores de falla; el monitoreo remoto de equipo eléctrico (transformadores, seccionadores, etc.); la autogeneración de reportes que clarifiquen la operación de la red durante contingencias, el diseño de sistemas de información geográfica y eléctrica de redes inteligentes; los sistemas de monitoreo de la calidad de la energía y el de esquemas de operación y control de redes en general, incluyendo la identificación temprana de problemas, que permita la implementación de esquemas preventivos y correctivos.

Con el detector de oscilaciones de baja frecuencia, la estabilidad de voltaje, el de la diferencia de ángulo de fases entre puntos de medición, el de islas basado en las frecuencias medidas y la resincronización de sistemas con base a frecuencias y ángulos factoriales fasoriales, se llevará a cabo exitosamente las funciones de monitoreo y detección en tiempo real de las redes eléctricas inteligentes. |

**En estos proyectos colaboran las siguientes instituciones:**



**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/iiunam>
-  <https://plus.google.com/102848256908461141106>



## DR. LUIS A. ÁLVAREZ ICAZA LONGORIA 2º INFORME DE ACTIVIDADES, INSTITUTO DE INGENIERÍA

Esta administración está enfocada a la inversión en infraestructura, la modernización de los laboratorios, la formación de recursos humanos, a evaluar la actividad docente, a impulsar la promoción de los investigadores, a vigilar la incorporación de jóvenes, a fomentar nuevas iniciativas de vinculación, a apoyar el crecimiento en sedes foráneas como Juriquilla, Sisal y PUNTA Monterrey, y por supuesto, a alinear proyectos del IIUNAM con proyectos del PDI UNAM 2015-2019: que tienen Ligas con dependencias y proyectos afines. El balance de cuentas está conciliado, afirmó Luis Álvarez Icaza, director del Instituto de Ingeniería al presentar su segundo informe de actividades.

La planta académica ha incrementado, ahora son 104 investigadores y 104 técnicos académicos; de los investigadores 17% son mujeres, de los técnicos 28% son mujeres, además de 312 honoristas que colaboran en los proyectos de investigación del IIUNAM. Del personal académico, 68% de los investigadores y 7% de los técnicos académicos pertenecen al SNI; 75% de los investigadores y 72% de los técnicos son PRIDE C y D. Durante 2017 –dijo– se promovieron siete investigadores y dos técnicos académicos.

Desafortunadamente, hubo una disminución de 1.83% en los artículos publicados JCR. Los tipos de documentos indizados incluyen: artículos de revistas arbitradas, capítulos de libros, libros y proceedings, principalmente.

Cuatro investigadores se hicieron acreedores a importantes reconocimientos: Luis Esteva Maraboto fue nombrado Doctor Honoris Causa por la Universidad Nacional Autónoma de México; Sergio M Alcocer Martínez de Castro ingresó a la Academia de Ingeniería de los EUA; José Francisco Sánchez Sesma fue distinguido como investigador Emérito del Sistema Nacional de Investigadores y Sonia Ruiz recibió la Medalla Luis Esteva.

Se formalizaron 122 convenios con varios patrocinadores entre los que destacan la Comisión Nacional del Agua, Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría de Transportes. Buena parte de estos ingresos extraordinarios se destina a la formación de Recursos humanos y a la modernización de los laboratorios que tiene el Instituto de Ingeniería.

Dentro de los proyectos de investigación destacan los que se desarrollan dentro de las CEMIE Bio, Geo y Océano: el Nuevo Aeropuerto de la Ciudad de México, los Shakemaps para monitoreo sísmico y monitoreo estructural de edificios y puentes; la restauración y estabilización costera, las tendencias climáticas y regionalización dinámica, la gestión de riesgos ante sequía y el saneamiento en la zona chinampera de Xochimilco; el Estudio Origen-destino de la Zona Metropolitana del Valle de México, el Aditivo para disminuir fricción en ductos y el Tren suburbano CDMX-Toluca.

La mayoría del personal académico imparte clases a nivel licenciatura, maestría y doctorado. En cuanto a la eficiencia terminal a nivel maestría se esperaba que se titularan 110, pero se graduaron 120 estudiantes, y a nivel doctorado tenemos que mejorar ya que se titularon 31 en lugar de 40.

Se logró la transparencia administrativa a través de la estabilización del SIAF.

Este es el trabajo realizado por las 1640 personas que integran al Instituto, agradezco su colaboración, me siento orgulloso de ser el director de esta Institución que tiene un enorme prestigio –concluyó–.

William Lee, Coordinador de la Investigación Científica declaró que este Instituto es una referencia por su manera de trabajar para otras dependencias y un ejemplo para un sector importante en nuestro país. Le entregó al Dr. Luis A. Álvarez Icaza el Certificado de Conformidad ISO 9001: 2015 y el Reconocimiento de Calidad UNAM que obtuvo el Laboratorio de Ingeniería Ambiental (LIA).<sup>1</sup>



## REUNIÓN INFORMATIVA ANUAL 2018 INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

El Dr. Luis A Álvarez Icaza, director del Instituto de Ingeniería al inaugurar las Reuniones Informativas Anuales (RIA) de esta dependencia, comentó que esta es una magnífica oportunidad para que el personal académico del IIUNAM conozca los temas que están desarrollando sus colegas así como los alcances logrados. Agregó que la RIA tiene lugar en las instalaciones de la Real Academia de Ciencias a fin de que el personal académico este aislado de su cubículo y pueda concentrarse únicamente en la presentación de los trabajos.

La RIA estuvo conformada por tres sesiones. La sesión del 12 de enero estuvo dedicada a las coordinaciones de Ingeniería Estructural, Geotecnia, Vías Terrestres, Ingeniería Sísmológica y la Unidad de Instrumentación Sísmica que integran a la Subdirección de Estructuras y Geotecnia y en la que expusieron un total de quince trabajos.

En la reunión del 19 de enero se presentaron veinte trabajos desarrollados en las coordinaciones de Ingeniería

Ambiental e Hidráulica que pertenecen a la Subdirección de Hidráulica y Ambiental junto con las investigaciones de las Unidades Académicas de Juriquilla, Querétaro y de Sisal, Mérida, que integran la Subdirección de Unidades Académicas Foráneas.

El día 26 el programa, integrado por diecisiete trabajos, estuvo dedicado a las coordinaciones de Mecánica y Energía, Eléctrica y Computación, Ingeniería de Sistemas, Electrónica y la de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales que forman la Subdirección de Electromecánica.

Este año el Dr. Álvarez Icaza tuvo la intención de ampliar lo más posible el aforo de personas que asistieran a la RIA por lo que la invitación se extendió a los becarios y honoristas del IIUNAM. Sin duda el intercambio de experiencias y la comida al final de cada sesión permitirá conocernos mejor y propiciará relaciones de colaboración que nos hacen mucha falta –concluyó–.

## GABRIEL CANDIA AGUSTI PROFESOR VISITANTE

El Dr. Gabriel Candia Agusti, profesor de la Universidad del Desarrollo de Chile realizó una estancia académica de dos meses en el Instituto de Ingeniería por invitación del Dr. Miguel A. Jaimes, investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El objetivo de su visita fue fomentar la movilidad de alumnos y docentes para la formación de redes de investigación en el contexto del fondo internacional Becas Santander

Durante su estancia colaboró con el Dr. Jaimes en la redacción de dos artículos: “Toppling Risk of Rigid Electrical

Equipment During Earthquakes”, enviado al Journal Engineering Structures y “An Integrated Platform for Probabilistic and Deterministic Seismic Hazard Assessment”, este último se encuentra en proceso. Ambos investigadores trabajan sobre la Evaluación del riesgo sísmico en sistemas ingenieriles.

El profesor Candia Agusti ha tenido contacto con el IIUNAM desde 2014 y espera continuar generando conocimiento de punta en el área de ingeniería sísmológica e ingeniería civil, además de postular mayor número de proyectos de investigación entre ambas dependencias universitarias.



## AGENDA 2030 DE LA ONU POR UN MUNDO MEJOR

DRA. TRACEY ELLIOTT

Esta comunicación tiene la intención de invitar al personal del Instituto de Ingeniería a participar en los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, que ayudará a preservar la especie humana, salvaguardando el planeta.

Las Naciones Unidas adoptaron en 2015 de manera unánime la Agenda 2030 enfocada a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que emergen de la revisión de los Objetivos del Milenio. Para coadyuvar en estas tareas, la Institución Carnegie de Nueva York ha apoyado a las academias del mundo a través de la IAP (Interacademy Partnership), para que exploren formas en que la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTI) contribuyan a los 17 ODS impulsando la consejería científica y la difusión general de estos temas.

La naturaleza ambiciosa e inclusiva de la agenda 2030 involucra numerosas acciones políticas, académicas y sociales a nivel mundial; muchas de estas integran los 17 ODS y las 169 metas que buscan la erradicación de la pobreza, combatir la desigualdad, así como promover la prosperidad y la paz. Por su carácter incluyente e igualitario los ODS poseen una intrínseca fuerza transformadora.

La ciencia es vital para la realización de estas acciones, ésta permitirá garantizar calidad y constancia en las labores que se requieran efectuar. Muchos científicos en el mundo colaboran para alcanzar esos objetivos, pero muchos otros no. Una encuesta reciente de las academias nacionales que reúnen a los expertos de cada país, ha mostrado un conocimiento precario de los ODS.

Estas notas son una adaptación resumida de una guía dirigida a las academias científicas del mundo. El modelo de referencia emerge de un proyecto (2016-2019) sobre Construcción de Políticas Globales de la Sociedad Inter-Academias (IAP por sus siglas en inglés) con el apoyo de la Institución Carnegie de Nueva York. El proyecto está enmarcado por la contribución de la comunidad científica a los ODS, con énfasis particular en las academias miembros de la IAP (incluye las academias nacionales jóvenes y la Academia Global de Jóvenes). Los ejes del proyecto son movilidad, desarrollo de capacidades y camaradería.

La guía ha sido elaborada por el equipo liderado por la Dra. Tracey Elliott y aprobada por el Grupo de Trabajo del Proyecto IAP, en el que participa el Dr. Francisco José Sánchez Sesma (investigador titular del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]), quien realizó la traducción y adaptación del original de la guía con la colaboración de las Lics. Erika Berstein, Casandra Rodríguez y Verónica Benitez. La guía completa está disponible en el sitio de la organización<sup>1</sup> así como otros materiales de ayuda.

Esta guía tiene tres propósitos: 1. Despertar conciencia de los ODS entre la comunidad científica del mundo y sus líderes, en particular, miembros de academias nacionales; 2. Mejorar su comprensión sobre cómo los ODS están siendo implantados y 3. Motivar a los científicos y a las academias para que brinden un apoyo más efectivo a los ODS.

Este documento no intenta ser una lista exhaustiva de redes, instituciones y programas de apoyo a los ODS, sino un estímulo a la sociedad y a las academias, implica atraer el interés de todos en el futuro sostenible de la especie humana, salvaguardando el planeta. Es un imperativo moral de primera magnitud al cual deberían ceñirse todos los seres humanos para que se involucren.

### ¿QUÉ SON LOS ODS?

Construidos a partir de los Objetivos de Desarrollo del Milenio elaborados en 2000, los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Fotografía: ONU México

(ODS) son un marco de referencia bien articulado, construido por expertos de la ONU con una agenda de alto impacto: son el plan de acción para el futuro bienestar de los habitantes del planeta.

Fueron adoptados por todos los estados miembros de la ONU desde el 1 de enero de 2016, los 17 ODS de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible son una plataforma aspiracional que buscan balancear las dimensiones económicas, sociales y ambientales del desarrollo sostenible.

Sin precedentes en alcance y significado, los ODS son llamados Objetivos Globales, pues una característica distintiva es su universalidad. Son aplicables a todos, toman en cuenta las diferencias en realidades nacionales, en capacidades y en niveles de desarrollo, respetando las políticas y prioridades de cada país. Son un llamado para la acción de todos los países, sean estos pobres, ricos o de ingresos medios, para promover paz y bienestar humano protegiendo al planeta. Reconocen que la reducción de la pobreza debe ir en paralelo con estrategias que construyan desarrollo sostenible e inclusivo con instituciones fuertes, y consideran diferentes necesidades sociales incluyendo educación, salud, igualdad de género, reducción de la desigualdad y oportunidades de trabajo, sin perder de vista el cambio climático y la protección del medio ambiente.

A cada objetivo se le pueden asociar múltiples metas que suman 169. Estas metas serán revisadas mediante un conjunto de 232 indicadores que establece la Comisión Estadística de la ONU aprobados internacionalmente. Más de ochenta indicadores fueron clasificados como de Nivel III, esto es, con altos estándares y métodos que se están desarrollando.

Aun cuando los estados miembros de la ONU no están legalmente obligados, es decir, que los acuerdos no son vinculantes, se espera que hagan propios los 17 ODS y establezcan planes y estrategias nacionales para alcanzarlos. Los países tienen la responsabilidad de dar seguimiento a la implantación de los ODS. Estos análisis a nivel nacional tienen utilidad para el seguimiento regional y, en su momento, para hacerlo a nivel global.

Es imprescindible la participación de las academias y la comunidad científica en general en los ODS. Todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas están comprometidos con su ejecución, se han comprometido a reorientar e integrar las prioridades nacionales con los compromisos globales, de modo que los ODS se tengan en cuenta en sus países. Esto implica que las agendas nacionales de investigación y las prioridades políticas, reflejarán estos objetivos globales. Como parte importante de los sistemas científicos nacionales, las academias tienen un papel importante para facilitar este proceso, aprovechando la riqueza de la experiencia de sus miembros.

Donde existen, las agendas regionales de investigación y política están experimentando un realineamiento similar. Por ejemplo, en la Unión Europea los ODS se están convirtiendo en el marco de referencia de Horizonte 2020, el mayor fondo de investigación multinacional del mundo, para configurar la cooperación para el desarrollo con los países socios a través del nuevo Consenso Europeo en Desarrollo. Del mismo modo, la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) está explorando las complementariedades entre los ODS y su guía Visión 2025.

Los ODS necesariamente involucran a muchas instancias diferentes dentro de cualquier gobierno (secretarías de estado, comisiones *ad hoc*); los cuales necesitarán protocolos y agencias para administrar y revisar la integración de los objetivos en sus tareas cotidianas, además para diseñar e implementar políticas y programas para alcanzarlos. Las academias pueden proporcionar experiencia para: contextualizar los ODS y explicar su importancia, causas y trayectorias; ayudar a idear un marco de control y evaluación eficaz de brechas, complementariedades, sinergias y compensaciones en el marco del seguimiento y evaluación de los ODS; emplear los datos obtenidos; facilitar el intercambio de conocimiento a través de la ciencia abierta; ayudar a desarrollar guías/planes de acción nacionales de ciencia, tecnología e innovación (CTI); promover y practicar el trabajo interdisciplinario y colaborativo; y hacer un monitoreo minucioso para conocer lo que funciona

y lo que no, a fin de asesorar a los responsables de la formulación de políticas y solicitar de ellos la rendición de cuentas.

Alcanzar los ODS requerirá de la participación de las mejores mentes, de recursos, de modelos comerciales e innovaciones en todos los sectores y disciplinas, así como de todas las generaciones. Las academias pueden desempeñar su papel en los sistemas nacionales, regionales y mundiales como fuentes de conocimiento reconocidas, independientes y veraces; como consejeros y convocantes que sean tanto confiables como respetados; defensores de la inversión en investigación y de la idea de contar con instituciones científicas fuertes; que sean mentores y socios de jóvenes científicos para ayudar a estimularlos y apoyarlos para que hagan su parte.

## 17 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

### 1. Combatir la pobreza en todas sus formas en todo el mundo

La pobreza tiene diversas manifestaciones como el hambre, la malnutrición, la falta de una vivienda digna y el acceso limitado a otros servicios básicos como la educación o la salud. Esto conlleva a la discriminación y la exclusión social. Por ello, el crecimiento económico debe ser inclusivo, con el fin de crear empleos sostenibles y de promover la igualdad.<sup>2</sup>

### 2. Seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible

Se necesita una profunda reforma del sistema agrario y alimentario mundial para gestionar de forma adecuada, la agri-

cultura, la silvicultura y la acuicultura; se puede suministrar comida nutritiva a todo el planeta, así como generar ingresos decentes, apoyar el desarrollo de la gente del campo y proteger el medio ambiente.<sup>3</sup>

### 3. Vida sana

En las últimas décadas, se obtuvieron grandes avances en relación con el aumento de la esperanza de vida y la reducción de algunas de las causas de muerte más comunes relacionadas con la mortalidad infantil y materna. También se lograron mejoras en el acceso al agua limpia y el saneamiento, la reducción de la malaria, la tuberculosis, la poliomielitis y del VIH/SIDA.<sup>4</sup>

### 4. Educación

Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad. Promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.<sup>5</sup>

### 5. Igualdad entre géneros

La igualdad de género no es sólo un derecho humano fundamental, sino la base necesaria para conseguir un mundo pacífico, próspero y sostenible.

Si se facilita la igualdad a las mujeres y niñas en el acceso a la educación, a la atención médica, a un trabajo decente, y una representación en los procesos de adopción de decisiones políticas y económicas, se estarán impulsando a las economías sostenibles, a las sociedades y a la humanidad, que en su conjunto se beneficiarán al mismo tiempo.<sup>6</sup>



Fotografía: ONU México



## 6. Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño.

La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición. Esa escasez de recursos hídricos, junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado repercuten en la seguridad alimentaria, en los medios de subsistencia y en la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo.<sup>7</sup>

## 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos

La energía sostenible es una oportunidad, que transforma la vida, la economía y el planeta.

Las Naciones Unidas apoyan las iniciativas que aseguran el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoran el rendimiento energético y aumentan el uso de fuentes renovables.<sup>8</sup>

## 8. Crecimiento económico

Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, así como un trabajo decente para todos.

Las sociedades deberán crear las condiciones necesarias para que las personas accedan a empleos de calidad, estimulando la economía sin dañar el medio ambiente. También tendrá que haber oportunidades laborales para toda la población en edad de trabajar, con condiciones de trabajo decentes.<sup>9</sup>

## 9. Infraestructura

Desde hace tiempo se reconoce que para conseguir una economía robusta se necesitan inversiones en infraestructura (transporte, energía, comunicaciones, etc.) ya que son fundamentales para lograr un desarrollo sostenible, dar a las sociedades de numerosos países las riendas de su destino (con frecuencia se usa el neologismo “empoderar”), fomentar mayor estabilidad social y conseguir ciudades más resistentes al cambio climático.

Además de los fondos gubernamentales y de la asistencia oficial para el desarrollo, también se está promoviendo la inversión del sector privado para los países que necesitan recursos financieros y tecnológicos.<sup>10</sup>

## 10. Luchar contra la desigualdad

Existe un consenso cada vez mayor de que el crecimiento económico no es suficiente para reducir la pobreza si éste no es inclusivo ni tiene en cuenta las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental.

Con el fin de reducir la desigualdad, se recomendó la aplicación de políticas universales que presten también especial atención a las necesidades de las poblaciones desfavorecidas y marginadas.<sup>11</sup>

## 11. Ciudades de oportunidades

Los problemas comunes de las ciudades son la congestión, la falta de fondos para prestar servicios básicos, la escasez de vivienda adecuada y el deterioro de la infraestructura.

Los problemas que enfrentan las ciudades se pueden vencer de manera que les permita seguir prosperando y creciendo, también, al mismo tiempo, aprovechar mejor los recursos para

# REPORTAJES DE INTERÉS

reducir la contaminación y la pobreza. El futuro que queremos incluye a ciudades de oportunidades, con acceso a servicios básicos como energía, vivienda, transporte y más facilidades para todos.<sup>12</sup>

## 12. Consumo y producción sostenible

El consumo y la producción sostenible consisten en fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía, la construcción de infraestructuras que no dañen el medio ambiente, la mejora del acceso a los servicios básicos y la creación de empleos ecológicos, justamente remunerados y con buenas condiciones laborales. Es necesario adoptar un enfoque sistémico y lograr la cooperación entre los participantes de la cadena de suministro entre el productor y el consumidor final.

Consiste en sensibilizar a los consumidores mediante la educación sobre los modos de vida sostenibles, facilitándoles información adecuada a través del etiquetaje y las normas de uso.<sup>13</sup>

## 13. Luchar contra el cambio climático

Es un problema que requiere que la comunidad internacional trabaje de forma coordinada y precisa para que los países en desarrollo avancen hacia una economía baja en carbono. Los países

están trabajando para adoptar un acuerdo global en París con el objetivo de luchar contra el cambio climático.<sup>14</sup>

## 14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo sostenible

Históricamente, los océanos y mares han sido cauces vitales del comercio y el transporte. La gestión prudente de este recurso mundial esencial es una característica clave del futuro sostenible.<sup>15</sup>

## 15. Biodiversidad

Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica.<sup>16</sup>

## 16. Promover sociedades justas, pacíficas e inclusivas

Este objetivo se centra en la promoción de un acceso universal a la justicia y la construcción de instituciones responsables y eficaces a todos los niveles. Para ello, es necesario acabar con la corrupción existente en el poder judicial y en la Policía de muchos países.<sup>17</sup>





Fotografía: ONU México

## 17. Revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible

Para que una agenda de desarrollo sostenible sea eficaz se necesitan alianzas entre los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil. Para ello es indispensable estructurar incentivos que faciliten esas inversiones a fin de acrecentarlas y fortalecer el progreso. También deben mejorar los mecanismos nacionales de vigilancia, en particular las instituciones superiores de auditoría y la función de fiscalización que corresponde al poder legislativo.<sup>18</sup>

### ¿CÓMO SE IMPLANTAN LOS ODS?

#### A nivel internacional

La Asamblea General de la ONU está informada de los progresos en la implantación a través del Foro Político de Alto Nivel (HLPF por sus siglas en inglés), el cual se reúne cada mes de julio en la sede de la ONU en Nueva York. El HLPF es la plataforma central para el seguimiento y revisión de los ODS, con la participación de todos los Estados Miembros, las agencias especializadas y otras entidades interesadas. El Foro es informado a través del Informe sobre los ODS del Secretario General, que es una estimación de los progresos globales y regionales con base en la información disponible más reciente de indicadores de los ODS, preparado para la ONU con las contribuciones de organizaciones internacionales y regionales.

El apoyo a este Foro está dado por el Mecanismo de Facilitación Tecnológica (TFM por sus siglas en inglés) cuyo objetivo es estimular y mejorar el uso efectivo de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTI) para los ODS, con base en la colaboración multisectorial entre los Estados Miembros.

#### A nivel nacional

México ha sido un actor activo en la definición de la nueva Agenda de Desarrollo post-2015, participando en 2013 y 2014 en las consultas y negociaciones realizadas en el Grupo de Trabajo Abierto de la Asamblea General sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (GTA-ODS), el cual generó un informe final que contiene la propuesta de ODS y que por acuerdo de la Asamblea General de Naciones Unidas será la base principal para integrar la nueva Agenda de Desarrollo.

Algunas actividades notables del país durante este proceso en 2014 fueron las siguientes:

- Se organizó una consulta regional de la cual surgió la Declaración de Guadalajara, donde destaca la necesidad de que los grupos vulnerables sean considerados de forma transversal en las políticas públicas.
- Se realizaron tres talleres internacionales sobre el concepto de desarrollo social y económico, de la inclusión y sobre la importancia de la medición del progreso en la Nueva Agenda de Desarrollo, donde se compartieron opiniones sobre los retos del desarrollo incluyente.
- Se intercambiaron experiencias sobre cómo integrar los objetivos de la Nueva Agenda y se discutió la medición de las nuevas metas bajo el enfoque de inclusión social y económica.
- Se patrocinó la consulta temática sobre energía en conjunto con los gobiernos de Tanzania y Noruega.
- Se escalaron compromisos durante consultas regionales y foros en materia de igualdad de género y derechos de las mujeres.

Este año, en julio, México presentará su Revisión Nacional Voluntaria (VNR por sus siglas en inglés) en el Foro Político de Alto Nivel (HLPF) de la ONU. Ahí se detallarán los avances

que se tengan en los distintos ODS y se revisarán los indicadores correspondientes. Sin duda, el tema será de interés para el nuevo gobierno pues, aun sin ser vinculantes, los ODS son un compromiso de alcance planetario.

## ¿CÓMO PUEDEN LAS ACADEMIAS APOYAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ODS?

- Participando en el Foro anual de las Naciones Unidas;
- Contribuyendo al Informe de Desarrollo Global Sustentable (GSDR);
- Involucrándose con las Comisiones Regionales de la ONU a través de redes académicas;
- Apoyando el proceso de Revisión Nacional Voluntaria (VNR) a nivel nacional;
- Aportando al desarrollo de planes de acción nacionales sobre la CTI;
- Proporcionando experiencia al trabajo científico de las diversas estructuras de las Naciones Unidas;
- Coadyuvando a las consultas realizadas a través del Grupo Principal para C&T;
- Interviniendo en investigación internacional, monitoreo y programas de evaluación y;
- Reflejando los ODS e incorporándolos en sus propios programas académicos.

Por su parte la UNAM participará a través de la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) en el establecimiento de Redes y Soluciones para apoyar el Desarrollo Sostenible (SDNS por sus siglas en inglés). En estas redes se buscará involucrar a todas las instancias nacionales de los tres niveles de gobierno, a las universidades, las academias de Ciencias, de Ingeniería y de Medicina y a muy diversos sectores de la sociedad civil en la Agenda 2030. En particular, se buscará despertar el interés de la comunidad universitaria en los elementos fundamentales de esta singular agenda de gran visión.

## LAS PERSONAS INTERESADAS PUEDEN CONSULTAR LAS SIGUIENTES PÁGINAS ELECTRÓNICAS:

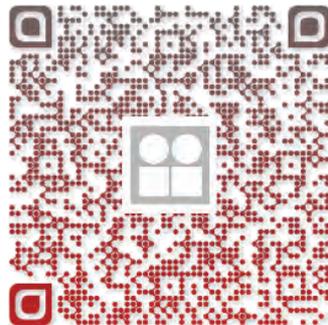
- Centro de Educación Online Ejecutiva (2015). ODS- Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 6 de febrero de 2018, de <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030>

- IAP for Research (2017). Supporting the Sustainable Development Goals: A Guide for Merit-Based Academies. Recuperado el 6 de febrero de 2018, de [http://www.interacademies.org/Publications/IAP\\_SDG\\_Guide.aspx](http://www.interacademies.org/Publications/IAP_SDG_Guide.aspx)
- México Gobierno de la República y INEGI (Sin fecha). Objetivos de desarrollo Sostenible. Recuperado el 13 de enero de 2018, de <http://143.137.108.139/index.html>
- IAP Science Research Health (Sin fecha). Improving Scientific Input to Global Policymaking: Strategies for Attaining the Sustainable Development Goals. Recuperado el 13 de enero de 2018, de <http://www.interacademies.org/36061.aspx>
- United Nations Development Group (). 2030 Agenda. Recuperado el 8 de febrero, de <https://undg.org/2030-agenda/>

## Referencias

- <sup>1</sup> [http://www.interacademies.org/Publications/IAP\\_SDG\\_Guide.aspx](http://www.interacademies.org/Publications/IAP_SDG_Guide.aspx)
- <sup>2</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/pobreza/>
- <sup>3</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/hambre/>
- <sup>4</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/salud/>
- <sup>5</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/educacion/>
- <sup>6</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/igualdad-de-genero/>
- <sup>7</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/agua/>
- <sup>8</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/energia/>
- <sup>9</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/economia/>
- <sup>10</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/infraestructuras/>
- <sup>11</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/desigualdad/>
- <sup>12</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/ciudades/>
- <sup>13</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/consumo/>
- <sup>14</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/cambio-climatico/>
- <sup>15</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/oceanos/>
- <sup>16</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/biodiversidad/>
- <sup>17</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/alianzas/>
- <sup>18</sup> <http://los17ods.org/los-17-objetivos-para-2030/paz-y-justicia/>

# Descarga el catálogo de libros del IIUNAM



<https://goo.gl/YzFWxF>