



31 CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL



Infraestructura para un Futuro Sostenible

ANIVERSARIO

FOROS EN EL MARCO DEL
31 CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tecnologías para la infraestructura



Colegio de Ingenieros Civiles de México, A. C.

Programa técnico

<https://congresocicm.com/>



22 de Noviembre

08:00 a 09:00 hrs.	REGISTRO DE PARTICIPANTES Y PRUEBAS COVID Auditorio Enrique Lona CICM
09:00 a 10:30 hrs.	SESIÓN DE CONSEJO ACADÉMICO El Enfoque de Sistemas Complejos en la Enseñanza de la Ingeniería Civil <i>Virtual</i>
10:30 a 10:45 hrs.	CAPSULA / DESCANSO
10:45 a 12:15 hrs.	MESA DE ANÁLISIS I Perspectiva, visión y retos de los estudiantes de ingeniería civil en México y el Mundo <i>Virtual</i>
12:15 a 12:30 hrs.	CAPSULA / DESCANSO
12:30 a 13:45 hrs.	Practicando la Ingeniería Civil a Nivel Mundial: Retos y Satisfacciones <i>Virtual</i>
12:45 a 14:00 hrs.	CAPSULA / DESCANSO
15:30 a 17:00 hrs.	FINAL OLIMPIADA DE CONOCIMIENTOS DE INGENIERÍA CIVIL <i>Virtual</i>
17:00 a 17:15 hrs.	CAPSULA / DESCANSO
17:15 a 18:15 hrs.	«La Fuerza de la Imaginación» <i>Virtual</i>
18:15 a 18:45 hrs.	MENSAJE DE CIERRE DEL ENCUENTRO ACADÉMICO DEL 31 CNIC <i>Virtual</i>
19:00 a 19:45 hrs.	INAUGURACIÓN 31 CNIC y Expo <i>Híbrido</i> Homenaje Ing. Leandro Rovirosa Wado Emergencia del Premio Nacional de Ingeniería Civil 2021 Inauguración de la Expo Ingeniería Civil Salón Leandro Rovirosa - CICM
19:45 a 21:00 hrs.	Himno de la Infraestructura a cargo de la Orquesta Sinfónica de Minería <i>Híbrido</i>

24 de Noviembre

08:00 a 09:00 hrs.	REGISTRO DE PARTICIPANTES Y PRUEBAS COVID Auditorio Enrique Lona CICM
09:00 a 10:30 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) PLANEACIÓN ODS en la Planeación de la Infraestructura (13) <i>Virtual 1</i> FINANCIAMIENTO Pasado, Presente y Futuro del Financiamiento de la Infraestructura en México (14) <i>Virtual 2</i> GERENCIA DE PROYECTO Gestión de Proyectos Complejos (15) <i>Virtual 3</i>
10:30 a 10:45 hrs.	RECESO
10:45 a 12:15 hrs.	SP3: Planeación de Largo Plazo: Experiencias Internacionales y Nuevos Modelos de Ciudad Sostenible <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
12:15 a 12:30 hrs.	RECESO
12:30 a 14:00 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) PLANEACIÓN Institutos Municipales de Planeación (16) <i>Virtual 1</i> FINANCIAMIENTO Criterios ESG en el Financiamiento de Proyectos de Infraestructura (17) <i>Virtual 2</i> ÉTICA Dilemas de la Ética en la Ingeniería: Casos (18) <i>Virtual 3</i>
12:45 a 14:00 hrs.	COMIDA
15:30 a 17:00 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) DESARROLLO URBANO Ciudades Ordenadas y Sostenibles. Competitividad. La Ciudad de los 15 Min (19) <i>Virtual 1</i> GERENCIA DE PROYECTOS Gestión de Riesgos en Proyectos de Infraestructura (20) <i>Virtual 2</i> ACADÉMICO Corresponsabilidades de la Academia y la Industria en la Formación de Ingenieros (21) <i>Virtual 3</i>
17:00 a 17:15 hrs.	RECESO
17:15 a 18:45 hrs.	SP4: Tendencias en la aplicación de herramientas para la transparencia y rendición de cuentas <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
18:45 a 20:15 hrs.	SP6: Requerimientos y Formación de los Ingenieros del Futuro (con participación de Japón) <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM

23 de Noviembre

08:00 a 09:00 hrs.	REGISTRO DE PARTICIPANTES Y PRUEBAS COVID Auditorio Enrique Lona CICM
09:00 a 10:30 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) TURISMO La Reactivación Turística en México: Retos y Oportunidades (1) <i>Virtual 1</i> DESARROLLO URBANO La Vivencia en la Ciudad. La Autoconstrucción, Normatividad. (2) <i>Virtual 2</i> TRANSPORTE Infraestructura de Transporte Sostenible para el Desarrollo del Sur-Sureste (3) <i>Virtual 3</i>
10:30 a 10:45 hrs.	RECESO
10:45 a 12:15 hrs.	SP1: Recuperación Económica-Post COVID: Lecciones Aprendidas y Mejores Prácticas <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
12:15 a 12:30 hrs.	RECESO
12:30 a 14:00 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) TURISMO El Sargazo en México: Oportunidades para la Infraestructura Turística (4) <i>Virtual 1</i> DESARROLLO URBANO La Movilidad Urbana. Presente y Futuro. Ciudades Inteligentes. Electromovilidad (5) <i>Virtual 2</i> ENERGÍA Energías Limpias. Contribución a los ODS (6) <i>Virtual 3</i>
17:00 a 17:15 hrs.	RECESO
17:15 a 18:45 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) AGUA Sostenibilidad Hídrica en el Valle de México (10) <i>Virtual 1</i> MEDIO AMBIENTE Infraestructura Ambiental Estratégica (11) <i>Virtual 2</i> ENERGÍA Perspectiva del Sector Energético en México: Interrelación con América del Norte (12) <i>Virtual 3</i>
19:00 a 20:30 hrs.	SP2: ODS, Resiliencia y Cambio Climático: El Mayor Reto Mundial del Futuro (con participación de Japón) <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM

25 de Noviembre

08:00 a 09:00 hrs.	REGISTRO DE PARTICIPANTES Y PRUEBAS COVID Auditorio Enrique Lona CICM
09:00 a 10:30 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) TECNOLOGÍA La tecnología Aplicada a la Prevención de Riesgos (23) <i>Virtual 1</i> ACADÉMICO Repertorios del COVID en las Instituciones de Educación Superior y los Recién Egresados (23) <i>Virtual 2</i> NORMATIVA Y ENLACE LEGISLATIVO Nuevos Formas de Contratación Contratos PIDIC. (24) <i>Virtual 3</i>
10:30 a 10:45 hrs.	RECESO
10:45 a 12:15 hrs.	SP5: Diversidad e Inclusión, Avances y Retos <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
12:15 a 12:30 hrs.	RECESO
12:30 a 14:00 hrs.	SP7: Diálogo Económico de Alto Nivel: Retos y Oportunidades de la Relación Bilateral <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
13:45 a 14:00 hrs.	COMIDA
15:30 a 17:00 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) TECNOLOGÍAS Emprendimiento en Nuevas Tecnologías. Casos de Éxito (25) <i>Virtual 1</i> RESILIENCIA La Ingeniería y la Resiliencia de la Infraestructura. (26) <i>Virtual 2</i> ESTRUCTURAS Hacia una Ingeniería Forth: Experiencias y Mejores Prácticas (27) <i>Virtual 3</i>
17:00 a 17:15 hrs.	RECESO
17:15 a 18:45 hrs.	SESIONES SIMULTÁNEAS (Modalidad Virtual) NORMATIVIDAD Y ENLACE LEGISLATIVO Nueva Ley de Obra Pública. Avances y Áreas de Oportunidad (28) <i>Virtual 1</i> RESILIENCIA La Resiliencia del Sistema Agropecuario del Valle de México: Retos y Oportunidades (29) <i>Virtual 2</i> ESTRUCTURAS Integración Seguro Estructura de Edificios Altos y Excavaciones Profundas (30) (con participación de Japón) <i>Virtual 3</i>
18:45 a 20:00 hrs.	SP8: Gobierno y Sociedad en Tiempos de COVID <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM
20:00 a 20:15 hrs.	CEREMONIA DE CLAUSURA <i>Híbrido</i> Salón Leandro Rovirosa - CICM

Mayor información: <https://congresocicm.com/programa-tecnico/>
Inscripción y registro: <https://congresocicm.com/cuotas-de-registro-presencial/>



31 CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

Infraestructura para un Futuro Sostenible



ANIVERSARIO

FOROS EN EL MARCO DEL
31 CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tecnologías para la infraestructura



Colegio de Ingenieros Civiles
de México, A. C.



Foros temáticos en el marco del 31 Congreso Nacional de Ingeniería Civil
Colegio de Ingenieros Civiles de México
Ciudad de México, 2021
© CICM

Realización



HELIOS
COMUNICACIÓN

Helios Comunicación
(55) 2976 1222
heliosmx.org

ÍNDICE

Dé click al tema de su interés para ir directamente a él

CONFERENCIA MAGISTRAL Sergio Alcocer Martínez de Castro	11
<hr/>	
TECNOLOGÍAS PARA LA INFRAESTRUCTURA RESUMEN EJECUTIVO	19
<hr/>	
PARTICIPANTES EN LAS MESAS DE DISCUSIÓN	29



XXXVIII Consejo Directivo

Presidente

Luis Rojas Nieto

Vicepresidentes

José Cruz Alférez Ortega

Felipe Ignacio Arreguín Cortés

Roberto Duque Ruiz

Salvador Fernández Ayala

Mauricio Jessurun Solomou

Jorge Serra Moreno

Alejandro Vázquez Vera

José Arturo Zárate Martínez

Primer secretario propietario

Juan Guillermo García Zavala

Primera secretaria suplente

Verónica Flores Déleon

Segundo secretario propietario

Carlos Alfonso Herrera Anda

Segundo secretario suplente

Salvador Fernández del Castillo Flores

Tesorera

Pisis Marcela Luna Lira

Subtesorero

Regino del Pozo Calvete

Consejeros

Renato Berrón Ruiz

Francisco de Jesús Chacón García

Ana Bertha Haro Sánchez

Humberto Marengo Mogollón

Alfonso Ramírez Lavín

Luis Francisco Robledo Cabello

Juan Carlos Santos Fernández

Enrique Santoyo Reyes

31 CONGRESO NACIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

Infraestructura para un Futuro Sostenible



ANIVERSARIO

Comité Organizador del 31 CNIC 2021

Presidente del CICM

Luis Rojas Nieto

Director general

Mauricio Jessurun Solomou

Director técnico

Reyes Juárez del Ángel

Secretario

Carlos A. Herrera Anda

Logística

Alejandro Vázquez López

Pisis M. Luna Lira

Difusión

Eduardo Lee Sáinz

Reuniones Regionales

José Cruz Alférez Ortega

Encuentro Académico

Luciano Fernández Sola

Finanzas

Regino del Pozo

Expo Ingeniería Civil

Arturo Gaytán Covarrubias

Asuntos Internacionales

Sergio Aguilar Sanders

Apoyo a Secretaría

Brenda Castillo

Apoyo a CICM

Marco Guzmán

FORO
Tecnologías para la infraestructura
Coordinador Comité Técnico de Tecnología
Mauricio Jessurun Solomou
Moderador
Carlos A. Herrera Anda

.....

Comité de Tecnología

Alberto Jaime Paredes	Juan Carlos Miranda Hernández
Sergio Moreno Mejía	Juan Visoso del Valle
Alejandro Vázquez López	Lourdes Ortega
Arturo Gaytán Covarrubias	Luciano Roberto Fernández Sola
Bernardo Gómez	Luis Robledo Cabello
Carlos A. Herrera Anda	Luis Rojas Nieto
Daniel Díaz Salgado	Marco Vidali Castillo
Eduardo Lee Sainz	Mauricio Jessurun Solomou
Eduardo Valencia Rodríguez	Moisés Jiménez
Enrique Santoyo Reyes	Óscar Solís Yépez
Esteban Figueroa	Pisis Luna Lira
Fabián Alférez	Roberto Duque
Felipe Arreguín	Rodolfo Salvador
Gastón Cedillo	Salvador Fernández del Castillo Flores
Gabriel Ibarra Elorriaga	Salvador Francisco Fernández del Castillo García
Gerardo Hiriart Le Bert	Sergio Alcocer Martínez de Castro
Humberto Marengo Mogollón	Silvia García
Jorge Serra	Xavier Guerrero Castorena
José Arturo Zárate Martínez	
José Hartasánchez	
José Piña Garza	

.....

Nos convoca uno de los temas más esenciales para mejorar el ejercicio profesional de los ingenieros civiles, la tecnología, que está transformando la manera de planear, diseñar, construir, operar y mantener en condiciones óptimas la infraestructura en todas sus especialidades.

Tenemos que basar nuestra labor cotidiana considerando las tecnologías y debemos pensar en los ingenieros civiles del futuro. En nuestro colegio estamos estudiando este perfil, por eso estamos aquí: para compartir la necesidad de mejorar cuestiones de tecnología en todas las ingenierías de México.

Un evento de esta magnitud requiere un gran esfuerzo y participación. Hoy nos acompañan presidentes de todos los colegios de ingenieros civiles del país, afiliados a la Femcic, así como representantes de las asociaciones y sociedades técnicas por especialidad de la ingeniería civil, titulares y funcionarios de las distintas dependencias oficiales responsables de la infraestructura, así como organizaciones de profesionales que, sin ser

ingenieros civiles, están relacionados con el desarrollo de infraestructura.

También es importante la participación de responsables de empresas dedicadas al desarrollo de tecnología para la creación de infraestructura.

La formación de las nuevas generaciones de ingenieros civiles con un enfoque que considere seriamente la tecnología es vital. Por ello valoramos la presencia de integrantes del Consejo Académico del CICM y de directores de escuelas y facultades de ingeniería civil.

Un aporte importante para la educación continua son los Jueves de Tecnología que cada semana se realizan en el CICM y se anuncian con debida anticipación. Aspiramos a y promovemos que se aprovechen al máximo todos los recursos que la tecnología ofrece para todas las actividades de la infraestructura, lo que sin duda contribuirá a mejores resultados y servicios de calidad para la sociedad.

LUIS ROJAS NIETO

Presidente del XXXVIII Consejo Directivo

.....



.....

La ingeniería civil es una gran profesión, considerada la segunda disciplina más antigua de las ingenierías, sólo por detrás de la ingeniería militar. La ingeniería civil tiene como objetivo el incrementar la calidad de vida de las personas a través del mejoramiento de su entorno y de la movilidad.

La práctica profesional de los ingenieros civiles, considero, está cimentada en cuatro pilares. El primer pilar es una rigurosa preparación académica, que permite adquirir los conocimientos técnicos de las principales materias y ramas de la ingeniería, y esta rigurosa preparación académica nunca termina, hay que estar actualizándose constantemente; el segundo pilar es el conocimiento especializado en alguna de las ramas de la ingeniería civil; el tercero es la experiencia que nos da el ejercicio de la profesión cuando nos enfrentamos a las situaciones que surgen en los proyectos y que nos obligan a tomar decisiones que marcarán su rumbo; el cuarto pilar son las llamadas “habilidades blandas” que debe tener el ingeniero civil, como el liderazgo, la capacidad para trabajar en equipo, la habilidad para resolver problemas complejos de toda índole, incluyendo de manera especial aquellos de carácter social, la adaptación al cambio constante –como lo demuestran los tiempos que estamos viviendo– y la inteligencia emocional.

Cimentada en estos pilares, la práctica profesional del ingeniero civil cuenta con herramientas que le permiten desarrollar su actividad, una de ellas la tecnología; sin embargo, son conocidos los estudios recientes que indican que la adopción de tecnología en ciertos

sectores donde actúan los ingenieros civiles es muy baja. El ecosistema de la construcción de infraestructura, donde ejercen su actividad muchos ingenieros civiles, es el más grande del mundo: representa el 13% del PIB mundial, pero el crecimiento de la productividad de este sector ha sido en extremo insatisfactorio, sólo del 1% anual durante las últimas dos décadas.

Analizar el impacto que la adopción de tecnología tiene en el incremento de la productividad es precisamente uno de los aspectos que abordaremos en las diferentes sesiones de este foro, donde el colegio, por primera vez, pone el énfasis en el tema tecnológico.

Hablaremos de las tecnologías transversales, como la inteligencia artificial, los gemelos digitales, el internet de las cosas, BIM y su aplicación en los temas de la ingeniería civil; analizaremos cómo organizaciones nacionales e internacionales están adoptando tecnología para aumentar su productividad y ser más competitivas.

Los materiales también han experimentado importantes avances, al igual que ciertos procesos constructivos como la impresión 3D en la construcción de vivienda y todo el sistema de la prefabricación.

También abordaremos el tema de las ciudades inteligentes y su movilidad; analizaremos qué debemos hacer para la adopción de tecnología en todo el ecosistema de la ingeniería civil mexicana.

MAURICIO JESSURUN SOLOMOU

Vicepresidente de Tecnologías para la Infraestructura
y coordinador del foro





FOROS EN EL MARCO DEL
31 CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tecnologías para la infraestructura

CONFERENCIA MAGISTRAL



SERGIO ALCOCER MARTÍNEZ DE CASTRO

Ingeniero civil y doctor en Ingeniería. Presidente del Comité Científico Asesor en Sismos de la Ciudad de México. Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Los desafíos de un ingeniero civil son grandes y múltiples. Para atenderlos, lo primero es reconocer que trabajamos con sistemas complejos, los cuales entrañan retos de carácter técnico, social, económico y de gobernanza. Por supuesto, estos retos incluyen uno transversal de carácter ético. El ingeniero civil se debe a la sociedad; es uno de los profesionales responsables de que la ciudadanía pueda tener una mejor calidad de vida.

Un ejemplo de sistemas complejos es la reducción de colapsos de edificios cuando éstos son sometidos a sismos. Frecuentemente, en un pensamiento lineal, el ingeniero civil concluiría que esta situación la podemos atender únicamente mediante el mejoramiento de los reglamentos y normas de construcción y un llamado a su observancia. En realidad ésa no es la solución única; sería una solución incompleta, y probablemente termine no resolviendo el problema. En este caso particular, si no atendemos al edificio considerando el ciclo de proyectos (planeación, diseño –detallado–, construcción, operación y mantenimiento) y no impactamos el quehacer del ingeniero en estas etapas, lo más probable es que la solución no sea eficaz.

Por su parte, la pandemia de COVID-19 ha demostrado que cuando un sistema complejo falla (como lo es el sistema de salud de un país), muchos otros sistemas, también complejos, se ven afectados, con efectos y consecuencias catastróficas en la vida de las personas, toda vez que vivimos en un mundo en el que la infraestructura crítica está interconectada.

De acuerdo con el proyecto internacional Ingeniería X, impulsado por la Real Academia de Ingeniería de Reino Unido con el apoyo de Lloyd's Register Foundation y Newton Fund, un sistema complejo es el arreglo de partes, o bien de sus elementos, que en conjunto tienen un desempeño o expresan un significado distinto, y en ocasiones impredecible, a partir del comportamiento de las partes. Es decir, el comportamiento y los resultados de un sistema complejo no corresponden a la mera suma de los comportamientos y resultados de las partes.

En un sistema complejo, entonces, la conjunción e interacción de los diferentes elementos hacen que el comportamiento de este sistema sea distinto del comportamiento de sus partes en lo individual. Si queremos resolver el problema de seguridad de un sistema complejo, no debemos atender de manera separada cada uno de los factores o sectores, sino que debemos atenderlos integralmente como sistema.

La complejidad depende de la naturaleza de las interacciones entre las partes y de la relación de las partes con el entorno. Uno de los temas fundamentales para la decisión de un sistema complejo es hasta dónde consideramos el sistema, cuáles son sus fronteras y cómo, a través de estas fronteras, hay interacciones. Estas interacciones son, en ocasiones, de carácter social, como es la opinión o la percepción de la población, por ejemplo la percepción del riesgo por parte de las personas. En ocasiones hay interacciones de carácter legal o de gobernanza, dependiendo de la interacción que tiene el sistema con un ámbito jurídico preestablecido o con varios, lo cual genera un conflicto mayor; o bien interacciones físicas, como puede ser de movimiento de las partes, en el caso de un sistema de transporte o de energía.

Ejemplos de sistemas complejos son un sistema de suministro de agua potable o de mercancías, una cadena de valor, una plataforma logística.

► Un ejemplo de sistemas complejos es la reducción de colapsos de edificios cuando éstos son sometidos a sismos. En un pensamiento lineal, el ingeniero civil concluiría que esta situación se puede atender sólo mediante el mejoramiento de los reglamentos y normas de construcción y un llamado a su observancia. En realidad ésa sería una solución incompleta, y probablemente termine no resolviendo el problema. Si no atendemos al edificio considerando el ciclo de proyectos y no impactamos el quehacer del ingeniero en estas etapas, lo más probable es que la solución no sea eficaz.

Las características de un sistema complejo son: la unidad, la no linealidad, la autoorganización, la emergencia, la realimentación acoplada, la autopoiesis, las fronteras semipermeables, el modo de transición y la inercia.

La unidad la podemos explicar de una manera muy sencilla: el todo es más que la suma de las partes. Ésta es una de las características fundamentales de un sistema complejo que, como parte de su definición, significa que el sistema responde de una manera distinta a como lo harían sus partes en lo individual.

Quando hablamos de un sistema complejo, hablamos de un sistema frecuentemente no lineal, es decir, un sistema donde las reacciones a las confirmaciones o a las entradas pueden ser o no proporcionales. Este fenómeno de no linealidad es característico de los sistemas complejos.

Frecuentemente los sistemas complejos se autoorganizan, esto es que, a través de la interacción entre las partes y el entorno, se autoarreglan de modo que se vuelven estables en torno al comportamiento que exhiben, un comportamiento que no necesariamente requiere un control central, no depende de una sola autoridad o un comando para que pueda operar, sino que el sistema se autoorganiza y opera con las interacciones que tienen los diferentes componentes que integran el sistema complejo.

El atributo de la emergencia implica que no siempre se puede predecir el comportamiento del sistema únicamente revisando el comportamiento de las partes o de las relaciones entre ellas. Este comportamiento emergente –en el sentido de que hay nuevos tipos de comportamiento– requiere el análisis completo del sistema, de sus partes, de las interacciones.

Los sistemas complejos requieren una realimentación que se da internamente en las relaciones con las partes y una realimentación externa con el medio ambiente, las cuales, además, se influyen unas a otras.

La autopoiesis es una característica del sistema para reproducirse y mantenerse a sí mismo; este concepto es de-

rivado de la biología y fue postulado en los estudios iniciales de las células, donde se encontró que, como un cuerpo vivo básico, la célula tiene como cualidad la posibilidad de reproducirse y mantenerse naturalmente mientras se tengan los satisfactores externos necesarios, los nutrientes, y se encuentre en el medio ambiente o el entorno necesario para que pueda desarrollarse.

Las fronteras no son rígidas, son semipermeables; las “cosas” como la energía, el plasma y la materia en general pueden entrar y salir del sistema complejo; de hecho, las fronteras pueden modificarse y no ser siempre fáciles de definir. Un ejemplo es el sistema de transporte de una ciudad compleja como la Ciudad de México: ¿cuáles serían las fronteras de este sistema de transporte? Si establecemos las fronteras delimitadas por la entidad federativa, Ciudad de México, veremos que son semipermeables con respecto al Estado de México, con el que hay flujo de energía, de personas, de materia –en este caso, camiones y automóviles– que modifican la operación del sistema de transporte de la Ciudad de México y, en ocasiones, obligan a redefinir las fronteras. Es difícil precisar hasta dónde llega un sistema tan complejo como es el del transporte.

Los sistemas complejos están en permanente evolución y cambio; esto hace que su análisis, y consecuentemente las soluciones que podemos darle a las problemáticas de estos sistemas, requieran una permanente evaluación y ajuste en función de las evoluciones y cambios que tengan los sistemas complejos.

Finalmente, una propiedad muy importante es la inercia, que se refiere a que las afectaciones o las intervenciones que hagamos en el sistema no van a reflejarse inmediatamente en su operación, sino que van a tener un retraso en el tiempo que es producto de la asimilación de las diferentes partes, de la solución o de la modificación que se haya planteado y, después, de la interacción que se da entre las diferentes partes.

Entonces, cuando hablamos de resolver un problema complejo de ingeniería, pudiendo pensar en una solución inmediata o en una solución de carácter lineal, como simplemente expedir reglamentos de construcción para dar mayor seguridad a las estructuras, la realidad es que nos veremos limitados; tendríamos que pensar en la complejidad de todo el sistema para poder atenderlo.

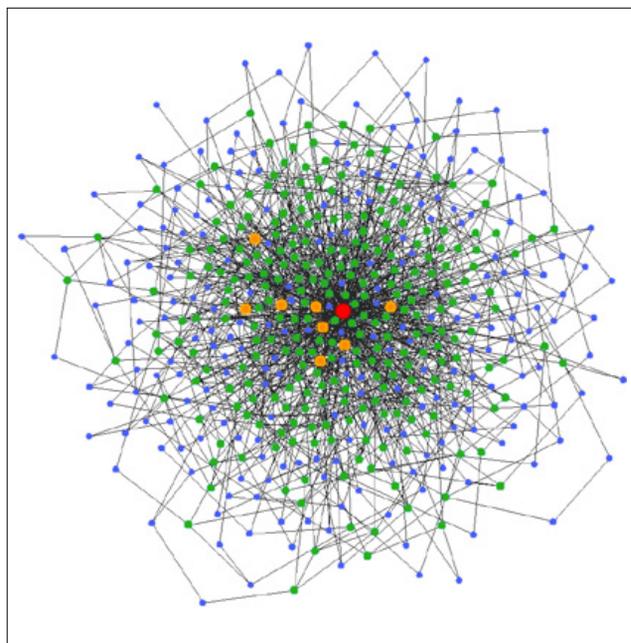
Los sistemas complejos presentan varios retos; uno de ellos es la definición de las fronteras. Veamos por ejemplo el caso de los vehículos autónomos, en contraste con lo que será, finalmente, un sistema de transporte. Podemos definir como un sistema complejo a todos los sistemas de transporte de una población, como también podemos definir como sistema complejo al propio vehículo autónomo, con la interacción de las diferentes partes. Si nosotros consideramos al sistema de transporte como nuestro sistema complejo, habrá una interacción entre las partes: vehículos autónomos, vehículos no

autónomos, la reacción de la población, componentes de carácter económico y de gobernanza que tendrán que tomarse en cuenta.

En la definición de las fronteras tenemos que tomar como referencia el contexto social en el cual este sistema se desarrolla, y esto hace que no podamos trasladar las soluciones de un sistema complejo de un país a otro sin atender el contexto social distinto. Implica, entonces, definir las fronteras para el sistema de interés. Hay que entender que, dado que los sistemas complejos tienden a autoorganizarse o autoarreglarse, de alguna manera ellos van poco a poco definiendo sus fronteras.

Otro reto en la operación de los sistemas complejos, y consecuentemente en su diagnóstico o análisis, y eventualmente en las soluciones de los problemas o situaciones, son los denominados “puntos de interacción”, los momentos o los espacios en los cuales se producen cambios abruptos o choques con el sistema. El sistema de salud, por ejemplo, ha experimentado un cambio abrupto o un choque derivado de la COVID-19 que, desde el punto de vista de un análisis del sistema de salud, se ha constituido en punto de inflexión, por un cambio en la lógica de operación del propio sistema. Otro ejemplo de punto de inflexión es una manifestación social pacífica que eventualmente evoluciona a una que es agresiva. Ese factor que hace que un grupo de personas que se manifiestan de manera pacífica con una consigna acabe en un pleito entre policías y manifestantes es, justamente, el punto de inflexión del sistema complejo.

Otro ejemplo de punto de inflexión, hablando de contaminación, se puede caracterizar cuando analizamos dentro de un sistema a la industria automotriz o a los autos individuales.



El punto de inflexión de un automóvil está en términos de contaminación en el sistema motriz del vehículo. En el caso de toda la industria automotriz, ya no es un tema estrictamente de las emisiones de un sistema motriz: tiene que ver con un sistema regulatorio que, a su vez, responde a ciertas necesidades o pretensiones sociales que corresponden al entorno en el que se encuentran intereses de carácter político, de gobernanza y de especulación comercial de las empresas.

Los puntos de inflexión evolucionan dependiendo de los propios sistemas. Los puntos de inflexión son interesantes y complejos, a su vez, porque ofrecen puntos inestables, si lo queremos expresar desde el punto de vista de la ingeniería, pero es difícil en sí la respuesta acerca del punto de inflexión. Recordemos las clases de mecánica de materiales, en las que se nos enseña la ecuación de Euler para calcular la carga de pandeo de un elemento a compresión. Se recordará que existe un punto de inflexión a partir del cual hay dos opciones: mantener el equilibrio estable, es decir, que la columna siga tomando carga hasta el aplastamiento del material, o bien que desarrolle deformaciones transversales, propiamente identificadas como el pandeo con una disminución muy abrupta de la rigidez lateral. Es difícil predecir el comportamiento cerca de los puntos de inflexión, es decir, establecer qué puede ocurrir.

Para entender los puntos de inflexión hay que echar mano de las diferentes herramientas de la ingeniería civil que permiten, a través de observaciones y simulaciones, entender mejor los fenómenos. La inteligencia artificial o el lenguaje de máquina contribuye a que, mediante observaciones limitadas o muy extensas, un sistema pueda aprender y, a partir del aprendizaje, se generen simulaciones o la solución de diferentes situaciones.

Un ejemplo más de las respuestas acerca de puntos de inflexión es el caso del avión Boeing 737-MAX, en su versión 8, que hace más de dos años se retiró y se prohibió su vuelo en prácticamente todo el mundo después de dos accidentes que costaron la vida de casi 500 personas. Ambos percances se debieron a una deficiencia en el sistema de control de la aeronave que hacía que la nariz del avión se clavara hacia el frente. En los momentos previos a los accidentes, la reacción de los pilotos fue retirar el piloto automático y tratar de levantar el avión; sin embargo, con esta acción, el sistema del avión se autorreforzó impidiendo que los pilotos tomaran el control. Además, se sabe que éstos no estaban adecuadamente entrenados y, al no poder controlar el avión, finalmente se produjeron los accidentes. El problema fue del software, el cual pretendía corregir una deficiencia respecto a la ubicación de los motores y se requería una compensación en el avión. Para el análisis de datos, el software recibía datos de un solo sensor, de manera que no habría redundancia con respecto a los sensores que proveían la información para la toma de decisiones. El manual que utilizaban los pilotos era

muy escueto con relación a cómo opera esta subrutina dentro del sistema. En resumen, fue un problema de carácter sistémico, que finalmente derivó en una falla, el colapso de los aviones y, por supuesto, en la muerte de casi 500 personas.

¿Cómo se mejora el comportamiento, o el control, cerca de los puntos de inflexión?: con cambios graduales y continuos en el propio sistema y, en la medida de lo posible, en el entorno o en el ambiente que los rodea.

Los sistemas complejos están relacionados con conceptos con los que los ingenieros estamos familiarizados. La seguridad, que es el estado libre de riesgos no aceptables, es decir, los riesgos aceptables, que nosotros reconocemos y podemos cuantificar. Se trata, entonces, de minimizar los daños. El daño es, por ejemplo, la afectación a la salud en un sistema de salud, el daño que estamos viviendo con la COVID-19, el cual lo expresamos en el número de fallecimientos o el número de personas contagiadas. En el caso de un temblor, la afectación física que nos interesa evaluar son los muertos, los heridos y las pérdidas económicas directas e indirectas.

En cuanto a la seguridad, lo que nos interesa es medir el impacto en el bienestar humano; recordemos que la ingeniería es una disciplina eminentemente social, dirigida a mejorar el bienestar de los seres humanos. De este modo, cuando la ingeniería falla, o un sistema de ingeniería falla, es porque no se logra cumplir con la meta de mejorar la calidad de vida. El nivel de seguridad se puede clasificar o medir de distintas maneras, por ejemplo, dependiendo del número de heridos o de la severidad, en: catastrófico, crítico, mayor y menor, normalmente asociado a daños.

Las fallas sistémicas, que finalmente queremos evitar, surgen por la interacción de las partes, el comportamiento de éstas y su relación con el entorno. Si queremos evitar las fallas

sistémicas tenemos que entender cómo funcionan las partes, cuál es la interacción entre las diferentes partes y cuál es la interacción de todo esto con el entorno. De otra manera estaremos resolviendo un tema por pequeñas partes, lo que no va a conducir necesariamente a evitar las fallas sistémicas.

Un ejemplo de lo que es una falla y lo que no es una falla sistémica es el siguiente: la rotura de un neumático de un avión al momento de aterrizar no es una falla sistémica, simplemente el neumático se revienta por condiciones de desgaste, mal mantenimiento, y esto produce un daño al avión, pero no es propiamente una falla de diferentes partes interrelacionadas. Es diferente de lo ocurrido al Boeing 737 MAX, en el que el comportamiento inseguro surgió como una propiedad emergente del sistema, incluyendo la propia reacción de los pilotos por la interacción de unos con otros, que empeoró la situación; los pilotos trataron de resolver el problema de levantar el avión sin tener el entrenamiento adecuado y sin entender lo que el sistema estaba tratando de hacer. Se trató de un sistema que no estaba adecuadamente calibrado y en el que los pilotos no habían tenido un entrenamiento adecuado.

En el análisis de un sistema complejo existe una serie de atributos de los actores que participan. Por un lado está la responsabilidad inherente en el diseño y en los controles de un sistema complejo, es decir, la responsabilidad de asegurar que se apliquen o eviten ciertas decisiones. Por otro lado está la trazabilidad o la responsabilidad de la rendición de cuentas, la justificación de las acciones y decisiones, todo esto en el ámbito de una cultura de la seguridad. La cultura de la seguridad puede ser resultado de valores individuales o de grupo, para los cuales se pueden identificar patrones de comportamiento que determinan el compromiso con el resto y la capacidad de gestionar la salud y la seguridad de la organización.

Si queremos resolver un sistema complejo y evitar sus fallas sistémicas, debemos aspirar a que las organizaciones que están involucradas tengan seguridad, respondan, justifiquen las acciones y decisiones que tomen y se aseguren de que las acciones que tienen que tomarse se tomen. Si partimos de la base de una organización que no tiene una cultura de la seguridad, o que no es responsable, o bien que no es trazable, que no justifica sus acciones, difícilmente lograremos evitar las fallas de carácter sistémico. Imaginemos una organización, una empresa constructora en donde la cultura de la seguridad sencillamente no existe: una falla sistémica se va a traducir en un conjunto de heridos, en un conjunto de muertos debido a fallas de procedimiento, de construcción, que a su vez no se derivaron de políticas internas, que no estuvieron apoyadas, primero, en valores y decisiones en el ámbito más alto de la empresa, y posteriormente, ni en mejores prácticas de implantación.

Lo que buscamos para poder analizar los sistemas complejos es poder tener un marco de referencia que pueda satisfacer los cuatro objetivos siguientes: a) que nos permita



CS/USES

analizar las interacciones entre las partes y entre las capas del sistema complejo; b) tener la posibilidad de evaluar con enfoques actuales de gestión de riesgo, el sistema propiamente y la operación del sistema; c) desarrollar modelos para entender las diferencias, y d) desarrollar modelos de madurez conforme van evolucionando las diferentes partes y sus comportamientos, de tal manera que nos permita identificar enfoques para poder, primero, entender integralmente al sistema y, sobre todo, tener una visión completa de cómo gestionar los riesgos que implica la operación de un sistema complejo.

En un marco de referencia propuesto, lo primero para identificar y estudiar un sistema complejo es establecer cuáles son las causas de complejidad del sistema. Se parte de la base de que ya tenemos definido el sistema complejo, ya tenemos definidas las fronteras y tenemos que estudiar cuáles son las causas de la complejidad del sistema, de modo que podamos entender las consecuencias de la complejidad que, a su vez, pueden derivar en las fallas de carácter sistémico. Ahora, en todo este proceso tenemos factores agravantes, factores que contribuyen a hacer más complejo el sistema o a que sus consecuencias sean más graves, de tal forma que las fallas sistémicas sean más complejas de resolver.

Existe un lado favorable, controles que podemos aplicar desde el diseño del sistema, o bien, durante la operación del sistema, tales que se contrapongan o disminuyan el efecto de los factores agravantes y eventualmente podamos resolver el problema de las fallas sistémicas.

Las causas de complejidad del sistema las podemos explicar en tres grandes rubros: primero, complejidades en el ámbito de la gobernanza, que son los marcos jurídicos en los cuales nos desenvolvemos; el ingeniero civil no puede sustraerse de trabajar en un marco jurídico, ya sea en una obra privada o en una obra pública, en un proyecto de uno u otro tipo: tenemos un marco en el cual debemos desarrollarnos. El segundo ámbito es el de la gestión, que es propiamente un nivel de carácter estratégico. El tercero es el de carácter técnico-táctico, muy propio de los ingenieros, que no puede estar desvinculado de los anteriores.

Ejemplos de causa de complejidad del sistema son los rápidos cambios tecnológicos. Si queremos atender o entender la complejidad de los sistemas de ingeniería civil, tenemos que entender que los cambios tecnológicos pueden ayudarnos a hacer más complejo el sistema, pero también podemos utilizarlos como factores de diseño y de control para resolver la complejidad del sistema.

¿Cuáles son las consecuencias de la complejidad? Son manifestaciones en niveles de gobernanza, de gestión y de técnica que finalmente pueden derivar en comportamientos inseguros. Un ejemplo de esto lo tenemos en la actuación de los directores responsables de obra, corresponsables, constructores o desarrolladores. Los desarrolladores no tienen ningún riesgo o responsabilidad reconocible actualmente en los

reglamentos de construcción; la responsabilidad total se le transfiere al director responsable de obra y al corresponsable.

Las fallas sistémicas son las fallas de todo el sistema, que pueden impactar a todo o a partes del sistema; ejemplos son controles regulatorios inadecuados. Imaginemos que se tiene un problema donde las regulaciones asociadas a este sistema son obsoletas. Esto no va a llevar necesariamente a una conducción segura a este sistema; lo más probable es que vayan realimentando soluciones cada vez más inseguras.

Los factores agravantes, como su nombre lo indica, hacen más complejo o difícil el manejo del propio sistema complejo; ejemplos de esto son conflictos legales que puedan ocurrir entre las partes, que derivan en el agravamiento de la operación y eventualmente del resultado del sistema complejo.

Los sistemas complejos, entonces, se caracterizan por tener una capa de gobernanza, otra de gestión y una capa táctica o de carácter técnico. Es en estas capas en donde podemos reconocer las complejidades y donde podemos intervenir para disminuir o mitigar los efectos de ellas en la seguridad y desempeño del sistema.

Podemos hablar de que un origen de la complejidad es la existencia de jurisdicciones múltiples, o bien de la necesidad de diversidad o de inclusión de la percepción del riesgo, los cambios tecnológicos y también las bases científicas débiles que contribuyen a hacer más compleja la operación del propio sistema.

En el ámbito de las jurisdicciones múltiples, por ejemplo, ante la ocurrencia de un sismo, en la evaluación del daño de edificios actúan protección civil, voluntarios de los colegios de arquitectos o de ingenieros, las autoridades de la alcaldía, etc. Dado que la jurisdicción no es clara, o al menos no es conocida, la complejidad del sistema se incrementa.

En el ámbito técnico-táctico tenemos las heterogeneidades de los propios componentes, que ya de por sí causan complejidad por su interdependencia, su interconectividad: la posibilidad o no de aplicar la memoria institucional, la interacción con los seres humanos, así como la autoorganización o la tendencia a autoorganizarse de los propios sistemas.

Al hablar de las consecuencias de la complejidad, encontramos la competencia entre objetivos diversos, como puede ser generar energía eléctrica versus mantener la seguridad de una población debajo de una presa; o bien las brechas de las competencias y rezagos en estándares y regulaciones. Esto implica, de nuevo, el ámbito de gestión y competencia entre objetivos. En el caso de la evaluación postsísmica de edificios, habrá a quienes les interese evaluar rápidamente los edificios para quitarse la presión política de quienes llaman a los servicios de asistencia e información para reportar estos problemas; a otros les va a interesar que les digan si su edificación se puede o no utilizar; a los ingenieros nos va a interesar particularmente saber por qué se dañaron algunas estructuras y otras no. Hay una competencia entre objetivos

que nos lleva a una complejidad en el propio sistema, brechas de competencia, transferencia de riesgo así como lagunas en cuanto a quién rinde cuentas y cómo.

En el ámbito técnico hay temas de inercia u homeostasis en cuanto a la toma de decisiones y el impacto que van a tener las retroalimentaciones, comportamiento no lineal y brechas semánticas. La consideración de las brechas semánticas es muy importante porque no siempre se entiende lo mismo. Así, por ejemplo, no es lo mismo resiliencia que seguridad estructural, aunque en ocasiones se utiliza indistintamente; no es lo mismo resiliencia que riesgo; son temas distintos, y si los usamos sin entender el concepto y definición que subyace en los términos, hacemos todavía más compleja la toma de decisiones.

Las fallas sistémicas se traducen en una inapropiada toma y ejecución de decisiones, discordancia en la responsabilidad y la trazabilidad. Éste es el caso de empresas o personas que no asumen la responsabilidad o el deber de justificar sus acciones, lo que se traduce en una distribución inequitativa del riesgo. En el nivel técnico-táctico, una falla nos lleva a un desajuste del modelo, de la autoridad y de la decisión. Todo esto se traduce en daño, incluyendo lo peor: pérdida de vidas humanas.

En el caso de los controles de diseño, existe un conjunto de atributos identificados que se puede estudiar y evaluar para ser utilizado en contraposición a los factores agravantes. Si tenemos una legislación incompleta, uno de los controles sería desarrollar o corregir la legislación para evitar los conflictos que pueden existir por indefiniciones, lagunas legales o contradicciones en nuestra legislación. Un ejemplo lo tenemos cuando las personas no saben qué pueden exigir cuando compran un inmueble, como sería el caso de un manual de mantenimiento o información mínima acerca de cuáles elementos estructurales pueden retirar de un edificio, como una columna o un muro. Desde el punto de vista de diseño, los ingenieros civiles podemos contribuir planteando controles de diseño aplicables en las capas de gestión y técnica.

En el ámbito de la operación de un sistema complejo, también podemos echar mano de controles. Éstos, en algunos casos, son similares conceptualmente a los de diseño. Un ejemplo de control de la operación de un sistema es el alertamiento activo; hemos visto que es una herramienta útil para que un sistema complejo, como es una comunidad, pueda responder más favorablemente ante la ocurrencia de un sismo mediante la alerta sísmica. Un caso similar se encuentra en el alertamiento hidrometeorológico, que convierte las precipitaciones extremas en escurrimientos y amenazas de inundación de las poblaciones aguas abajo.

La identificación, la comprensión y la atención de un sistema complejo implican la inclusión de nuevas tecnologías. Un ejemplo son los gemelos digitales, útiles para controlar la operación de un sistema complejo. Una vez modelado digi-

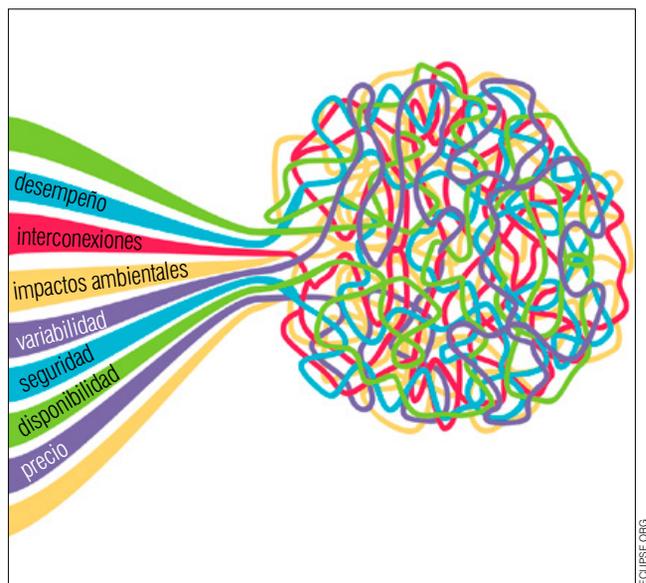
talmente, se pueden realizar simulaciones, plantear diferentes tipos de escenarios y, en función de la respuesta a estos escenarios, desarrollar estrategias propiamente de gestión de la operación de este mismo sistema. O bien, desde el ámbito de la gestión de la seguridad cibernética, se pueden plantear escenarios de comportamiento, respuesta y atención tales que el sistema tenga la seguridad necesaria contra los ataques cibernéticos.

Un ejemplo de factor agravante, en el ámbito de la gobernanza, es la ausencia de una autoridad coordinadora de la gestión del sistema. ¿Qué va a pasar, ante la liquidación del Instituto Nacional de Infraestructura Física y Educativa, con la construcción, rehabilitación, mantenimiento, operación y reconstrucción de las escuelas? ¿Van a asumir la responsabilidad cada una de las entidades federativas? Otro factor agravante es la opacidad en la toma de decisiones, sin soporte factual, simplemente por ocurrencias no necesariamente sustentadas en hechos. Asimismo, la politización de la toma de decisiones, tan perjudicial, es un factor agravante. Otro ejemplo más es el abandono de la memoria organizacional, expresado en la falta de reentrenamiento de los obreros frente a su sustitución por robots.

Entre los factores agravantes en el ámbito técnico-táctico se encuentran la inteligencia artificial y la autonomía en la operación del sistema o de sus componentes (como son los vehículos autónomos). Es importante tomar conciencia de que tanto la inteligencia artificial como la autonomía, sobre todo la primera, hasta este momento no tienen fronteras. Los procesos que involucran a la inteligencia artificial no rinden cuentas de sus resultados; frecuentemente no se le explica al usuario de los sistemas basados en inteligencia artificial que hay una serie de atributos base necesarios para que el sistema se entrene mediante los algoritmos genéticos. De este modo, las soluciones están acotadas al origen y calidad del entrenamiento del sistema de inteligencia artificial.

Existen temas transversales que complican aún más las cosas: la internacionalización. Por ejemplo, en el caso de la

► En los sistemas complejos, la seguridad es un tema central. Para ello, es necesario definir cuáles son los niveles aceptables de seguridad. Éste es probablemente uno de los más complejos que tenemos en la ingeniería. La pregunta clave, en el fondo, es: ¿quién decide cuál es el nivel aceptable de seguridad? Lo hemos visto en la operación de las presas del río Grijalva: ¿cuál es el nivel de agua aceptable de una presa en términos de generación eléctrica versus su capacidad de regulación y las consecuencias aguas abajo en caso de tener que desfogar agua mediante vertedores?



aviación, a través de la OACI se establecen lineamientos y reglas que deben cumplirse en todos los países que son miembros de esta asociación. Esto hace que el sistema complejo de aviación no esté solamente regulado localmente o que sus fronteras estén limitadas físicamente por las fronteras de un Estado. Sus fronteras son porosas antes las intervenciones de otras organizaciones. En el rubro de la internacionalización podemos también distinguir los conceptos entendidos de manera diferente en distintos países o regiones.

Otro de los temas transversales que complican el sistema son la diversidad, la inclusión y el interés por una mayor igualdad. Por un lado está la heterogeneidad de la percepción del riesgo, que tiene que ver con realidades socioeconómicas distintas, así como los efectos no lineales que tienen, que están relacionados con cómo está diseñado el entorno. Si bien son deseables los efectos benéficos de alcanzar una mayor igualdad, se debe reconocer que se tendrán decisiones compartidas, un fomento a la participación, un flujo de información, mayor creatividad e innovación en la medida en que tengamos entornos donde la igualdad, la diversidad e inclusión sean valores o atributos importantes para lograr estos beneficios.

En los sistemas complejos, la seguridad es un tema central. Para ello, es necesario definir cuáles son los niveles aceptables de seguridad. Éste es probablemente uno de los más complejos que tenemos en la ingeniería. La pregunta clave, en el fondo, es: ¿quién decide cuál es el nivel aceptable de seguridad? Lo hemos visto en la operación de las presas del río Grijalva: ¿cuál es el nivel de agua aceptable de una presa en términos de generación eléctrica versus su capacidad de regulación y las consecuencias aguas abajo en caso de tener que desfogar agua mediante vertedores? Son temas complejos, particularmente en las fronteras del sistema, entre las ca-

pas del sistema y dentro de las capas del sistema. Cuando se toma una decisión de gobernanza del sistema con carácter político, no apoyada en criterios técnicos y sin aprender de las fallas pasadas (olvidándonos de la memoria institucional), se establecen protocolos distintos de los que tenemos, con consecuencias frecuentemente negativas. Este mismo patrón de decisiones y consecuencias se puede encontrar en cadenas de suministros (como fue, en su momento, la obtención y adquisición de equipo de protección personal ante la COVID-19), sistemas de transporte e infraestructura y edificaciones ante fenómenos naturales.

He mencionado que los conceptos de resiliencia y seguridad están relacionados. En efecto, la seguridad es una condición necesaria, mas no suficiente, para lograr la resiliencia; tenemos que caminar primero por la seguridad para después llegar a una comunidad resiliente.

Un tema importante relacionado con la seguridad de los sistemas complejos es la comunicación del riesgo. Se trata de establecer cómo responden las distintas personas a los sistemas complejos, al riesgo que entraña la operación de un sistema complejo. Aquí los ingenieros debemos acercarnos más a expertos en comunicación general, en comunicación del riesgo. Incluso se ha propuesto que los ingenieros nos acerquemos más a mercadólogos y comunicólogos, que nos permitan traducir estos conceptos para que el público los pueda entender.

El futuro ingeniero civil va a desarrollar su trabajo en los sistemas complejos. Es por ello que su formación debe darse en el ámbito de estos sistemas. Un objetivo deseable sería que los ingenieros jóvenes aprendan a identificar y a operar las capas y controles de los sistemas complejos. Ello se haría mediante la resolución de problemas que integren el conocimiento al final del curso de la asignatura correspondiente. Ejemplos de problemas tipo serían la solución o mejoramiento de la seguridad sísmica de los hospitales, la operación del sistema de distribución de agua potable de la Ciudad de México, la operación de plataformas logísticas en la frontera de México y Estados Unidos, así como del sistema energético eléctrico nacional.

Sería muy benéfico que las escuelas de ingeniería del país incorporaran los sistemas complejos en la formación académica. Ello obligaría a desarrollar un pensamiento sistémico y crítico, así como a la creatividad en el modo de plantearnos soluciones diversas a los problemas. Lo anterior despertaría un interés por el diseño y la innovación, por entender la necesidad de contar con habilidades blandas. Implicaría que los alumnos entiendan que el ingeniero no sólo se desenvuelve en la capa técnica del sistema, sino que tendrá una relación más o menos íntima dentro de la capa de gestión y con la capa de gobernanza. El ingeniero tendrá, entonces, que saber expresarse e interrelacionarse con esas diferentes capas.

► El futuro ingeniero civil va a desarrollar su trabajo en los sistemas complejos. Un objetivo deseable sería que aprendan a identificar y a operar las capas y controles de los sistemas complejos. Ello se haría mediante la resolución de problemas que integren el conocimiento al final del curso de la asignatura correspondiente. Ejemplos de problemas tipo serían la solución o mejoramiento de la seguridad sísmica de los hospitales, la operación del sistema de distribución de agua potable de la Ciudad de México o la operación de plataformas logísticas en la frontera de México y Estados Unidos.

Implicará también que la industria se compenetre en la existencia de los sistemas complejos, que deban participar en la toma de decisiones y, en relación con la formación, establecer las necesidades que tienen.

Es conveniente que los futuros ingenieros sepan manejar el riesgo. Para ello, se puede recibir entrenamiento y simulación virtual o en línea con herramientas de vanguardia. En este sentido, se tienen esfuerzos muy interesantes, particu-

larmente promovidos por la Unesco, que han propuesto un marco docente que involucra la educación, formación y entrenamiento en sistemas complejos.

Si bien los ingenieros hemos contribuido a mejorar la seguridad de la sociedad y aumentar su bienestar, lo hemos hecho de manera diferenciada, sin asumir o entender que es indispensable una visión sistémica que reconozca los factores agravantes y los controles que los contrarresten.

El ingeniero civil mexicano ha de aprovechar las herramientas avanzadas y asimilar los sistemas complejos, cómo operan, cómo se pueden diseñar o cómo están diseñados, cómo se pueden gestionar y cómo se pueden gobernar. Todo ello sin perder de vista que los sistemas complejos normalmente están relacionados con problemas amplios de la sociedad que requieren la intervención de políticas públicas que deben estar basadas en normas dirigidas a los resultados medidos en términos de un mayor bienestar y mejores satisfactores para la población o en un menor número de víctimas, de heridos, de muertos, de personal afectado, y finalmente de daño. En la medida en que las políticas públicas contribuyan a lograr estos objetivos, podremos señalar que fueron bien desarrolladas; para que éstas sean eficientes y, sobre todo, eficaces, las políticas públicas deben diseñarse, implantarse y evaluarse reconociendo que atienden sistemas complejos.

RESUMEN EJECUTIVO

TECNOLOGÍAS PARA LA INFRAESTRUCTURA



CARLOS A. HERRERA ANDA

Ingeniero civil con maestrías en Ingeniería y en Administración pública. Director de la Facultad de Ingeniería de la Universidad La Salle. Fue director general de Innovación en la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación de la

Ciudad de México, subdirector de Recursos Materiales y Obra Pública del Conacyt.

El término democratización tecnológica pone de manifiesto que no hay rincón de los negocios, de la economía de los países y de la vida cotidiana que no se encuentre atravesado por el debate de las consecuencias de la disrupción tecnológica. En este sentido, es conveniente distinguir entre los términos innovación tecnológica, visto como un proceso que busca reconocer e implantar una nueva tecnología –un proceso innovador lleva a la reducción de costos, de tiempos, de ejecuciones y a una mejora de la calidad– y transformación digital, también en boga, vista ésta como la aplicación de capacidades digitales a procesos, productos y activos. Estos tres términos, si bien diferentes, tienen en común que buscan mejorar la eficiencia, mejorar el valor para el cliente, gestionar el riesgo y también buscar nuevas oportunidades de generación de ingresos.

Hoy los directivos de las empresas reconocen los beneficios y la necesidad de la digitalización. Pero ese pensamiento no necesariamente se ha traducido en acciones concretas. Atender estos temas de transformación digital, de innovación tecnológica, es una necesidad imperante. La consultora Mackenzie valoró en 2013 a la actividad mundial de la construcción en 6 billones de dólares; en 2030 se estima que será de 13 billones de dólares. Las posibilidades de éxito, de acuerdo con Mackenzie, tienen que ver con una mejor gestión de proyectos y con la innovación tecnológica. Vistas estas cifras

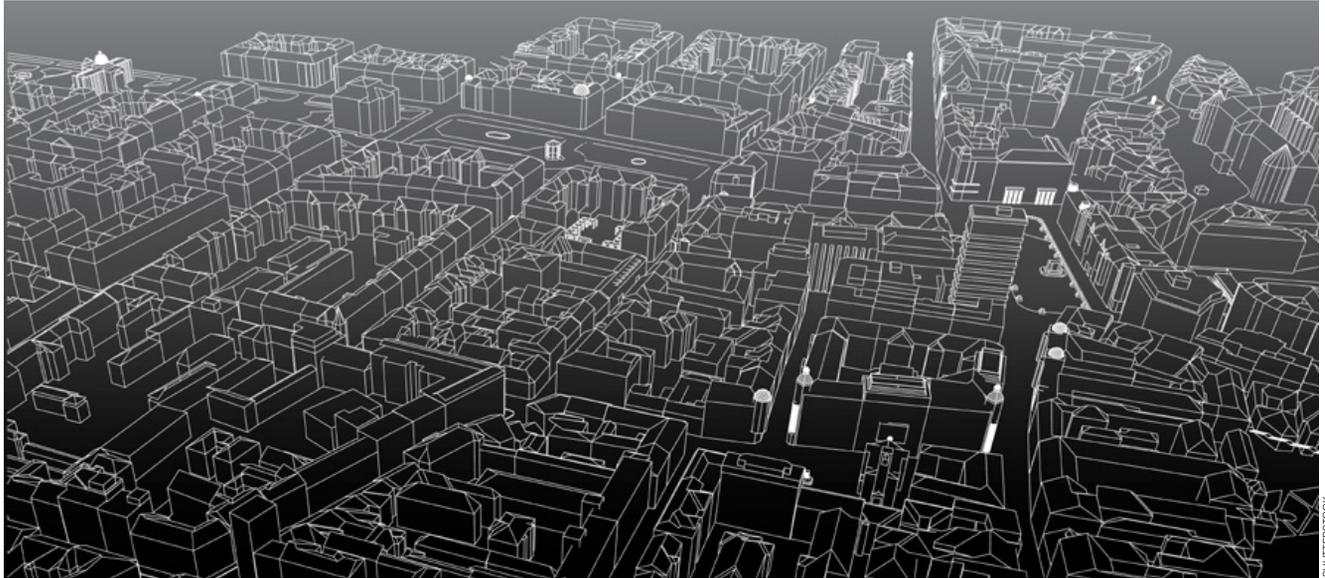
y este informe, podemos estimar que el 1% de mejora en el sector de la construcción va a significar un ahorro de 100 mil millones de dólares al año en escala global.

Hoy en día las empresas de todos los sectores están volviendo a las nuevas tecnologías para poder digitalizarse y mantener o mejorar su productividad. Lamentablemente, el sector de la construcción es el que mayor rezago presenta en los procesos de digitalización, debido a un bajo nivel de sofisticación. Realmente son pocas empresas de construcción las que perciben a las innovaciones tecnológicas como oportunidades para generar negocios o para mejorar la rentabilidad.

El sector de la construcción, a lo largo de los años, se ha caracterizado por su capacidad de reinventarse, de adaptarse, de evolucionar, pero tenemos que hacerlo a la par de los avances tecnológicos para integrarnos a cada uno de los procesos. En algunos foros y comités de nuestro colegio se ha mencionado que se estima que en escala global 40% de los proyectos sobrepasan el presupuesto inicial, y 90% retrasan los tiempos de entrega. Necesitamos un enfoque de transformación.

¿Qué va a impulsar la transformación digital en las empresas de construcción? Se han detectado estos cuatro nichos: el poder recopilar y analizar datos electrónicos de manera prácticamente instantánea; el uso de nuevas tecnologías para crear sistemas autónomos; la conexión y sincronización de actividades que antes estaban separadas; y el acceso móvil a internet para redes internas.

Algunas tecnologías disruptivas que impactarán –o ya lo están haciendo– en la ingeniería civil, por ejemplo, es el internet de las cosas, que hace posible que tengamos hogares, fábricas y ciudades inteligentes; los vehículos autónomos están empezando a cambiar la industria del transporte; la inteligencia artificial, el *machine learning*, permite enfoques



SHUTTERSTOCK

predictivos para la toma de decisiones en nuestra industria. La conexión 5G, que ahora va a tener un impacto sin precedentes en la eficiencia de las construcciones que utilizan inteligencia artificial, porque dará acceso más rápido, a los involucrados en el proyecto, a toda la información en una sola plataforma y mejorará las transmisiones remotas; la transmisión de video en tiempo real es crucial para operar con mayor seguridad el equipo robótico, y esto se verá mejorado con la conexión 5G que está en puerta.

La impresión 3D y 4D genera menos desperdicio, menos horas de trabajo, y seguramente va a propiciar el diseño de estructuras más complejas. El *big data* permite el modelo predictivo basado en datos obtenidos en tiempo real, generando mejoras, por ejemplo, en estimación de costos y en la toma de decisiones; los drones permitirán un mejor seguimiento de un proyecto, la inspección de obras, la detección de posibles defectos de construcción; la realidad virtual posibilita tener el foco en la experiencia del usuario y visitas virtuales antes de finalizar una obra o incluso a obras que existen sólo en planos. Y algo tan sencillo como la firma electrónica, que garantiza el cumplimiento de los máximos niveles legales: en este país muchas veces importa que todo esté bien en el papel, aunque las empresas tengan mejores tiempos, mejores costos, mejor calidad.

¿Cuáles son los retos en la adopción de las tecnologías mencionadas? Primero, contar con una plataforma digital que permita la eficiencia e integración coherente de toda la información en un ecosistema de la empresa, sin que la empresa misma pierda competitividad. Segundo: las múltiples tecnologías o sistemas son un consumo de tiempo y de recursos; hay que centrarse en uno que garantice mayor valor y eficiencia. Tercero, la resistencia a nuevos paradigmas: la digitalización causa aprehensión. En la industria, si una solución no

cumple con los objetivos prometidos de inmediato o en un corto plazo, va a ser ignorada. Hay que romper esos paradigmas y hay que romper esa resistencia al cambio.

Las empresas encuentran difícil medir y comunicar los beneficios de las inversiones digitales, y a veces el retorno de esa inversión no es claro. Otro reto: el Instituto de Política Económica de la Universidad de Illinois pronostica que en Estados Unidos, para 2057, la automatización de la industria de la construcción desplazará o reemplazará el 49% de los trabajadores. Hay que preparar políticas públicas para prevenir ese desempleo con base en la automatización.

Y dejé el final el talento humano, indispensable para el desarrollo de la automatización, para el uso de tecnologías. Cualquier proceso de transformación digital se debe basar en el talento humano capacitado.



ARTURO GAYTÁN

Ingeniero civil, maestro en Ingeniería con especialidad en Calidad y productividad. Fue presidente del ACI México sección Centro y Sur. Es fundador de la Sección México Noroeste del ACI. Es presidente del Instituto Mexicano de Concreto Sostenible y tesorero de la Asociación Mexicana de la Industria del Concreto Premezclado. En Cemex es gerente de Innovación y Sostenibilidad del CTCC.

En el panel "Tecnologías de materiales y procesos constructivos" vimos cómo necesitamos empezar a visualizar soluciones que nos lleven a mejores desempeños, que conduzcan a menores costos pero que también nos permitan ser más eficientes con respecto al cuidado del planeta.

Todo esto nos debe llevar a visualizar lo que ha estado estableciéndose en artículos e investigaciones: migrar la construcción a desarrollar nuevos materiales que nos permitan nuevos desempeños o aplicaciones, desarrollar nuevas tecnologías para abordar estos terrenos y con ello visualizar nuevas técnicas de construcción. Con esto también podremos ordenar las soluciones y propuestas que existen en el mercado, con el fin de identificar más fácilmente las soluciones que se adecuen a nuestros proyectos.

El Foro Económico Mundial ha establecido una visualización del futuro de la construcción, con qué ejes la construcción debe formular sus políticas y estrategias para poder atender las necesidades de nuestra sociedad, y definió tres escenarios tecnológicos que van a marcar el futuro de la construcción.

Estos escenarios tecnológicos comienzan con la construcción en un mundo virtual. En esta época estamos inmersos en una realidad virtual en todos los aspectos de nuestra vida. Ahora durante la pandemia hemos acelerado la adopción de tecnologías, pero esto tarde o temprano iba a suceder. Todas nuestras actividades cotidianas tienden a ser más tecnológicas. La incorporación de sistemas inteligentes va a empezar a migrar a la industria de la construcción.

El segundo escenario tecnológico está dirigido a que las fábricas dominarán el mundo en materia de productividad. Muchas industrias están dominadas por la cantidad de productos o servicios que pueden desarrollar en una hora, en un día, en un mes. La industria de la construcción va a empezar a regirse por estos indicadores de productividad. Necesitamos ser más efectivos en cuanto a la ejecución de nuestros programas para poder tener más rentabilidad en nuestros proyectos.

El tercer escenario tecnológico es un reinicio, un *reboot*. En un mundo con conflictos cada vez mayores por los escasos recursos y por el cambio climático, debemos dirigirnos hacia una reconstrucción de las premisas con que desarrollamos los proyectos, utilizando métodos de construcción más respetuosos con el medio ambiente, que incluyan prácticas y materiales sostenibles. Vimos que la tecnología no se trata sólo de dispositivos o equipos electrónicos sofisticados; también está dirigida a los materiales, los procesos constructivos, pero también cómo marca nuestras estrategias la política, la gobernanza y la forma en que planeamos y ejecutamos los proyectos. Entre las pláticas que tuvimos en este panel vimos que somos capaces de ejecutar proyectos que satisfagan las necesidades de la sociedad, y como prueba de esto revisamos la puesta en marcha de los módulos hospitalarios que tardaban tres semanas desde su diseño hasta su puesta en operación, con una coordinación multidisciplinaria usando tecnologías como BIM y materiales de última generación como concretos antibacteriales y procesos constructivos como los prefabricados.

Vimos también cómo se desarrollaban los proyectos ejecutados por equipos como las impresoras 3D, que nos permi-

ten tener viviendas hasta en 48 horas, obviamente combinando tecnologías de impresión con tecnologías de materiales, pero también con una fuerte presencia de la planeación y la programación.

También vimos cómo se busca que los materiales tengan un desempeño mayor de aquel para el que fueron creados: materiales que generalmente utilizamos para atender un aspecto mecánico, con una resistencia a la compresión y a la tensión, en los que se busca tener un desempeño adicional, es decir, resolver más de un problema dentro de los proyectos. Éstos empiezan a ser los materiales inteligentes que ofrecen un desempeño adicional, ya sea en temas de ingeniería o de arquitectura. Finalmente, en la última plática abordamos las herramientas y plataformas que ayudan a maximizar los proyectos con una visión holística, que incluya temas como las emisiones de carbono que puede generar un proyecto y cómo podemos utilizar esas herramientas para reducir los efectos adversos y arribar a desempeños sostenibles. También cómo podemos desplegar nuestro abanico de opciones y posibilidades en un proyecto visualizando temas de modulación y permitiendo analizar todas éstas para tomar decisiones más acertadas, basadas en la información, para entregar el mejor resultado a los usuarios de las obras.



► El profesor debe demostrar apertura a la discusión y al diálogo, apertura al aprender de otro, el aprendizaje debe darse por parte de ambas generaciones; constante actualización, y se debe cambiar la dinámica en los salones de clase para preparar a los alumnos para el sistema complejo al que se enfrentarán; capacidad de innovación para hacer las cosas de forma diferente de como se han realizado, salir de la zona de confort. La industria está preparada para apoyar los esfuerzos en las universidades y para apoyar la capacitación en materia tecnológica del cuerpo docente y de los estudiantes.



MAURICIO JESSURUN SOLOMOU

Ingeniero civil con maestría en Ciencias en el área de Investigación en operaciones. Socio emérito del CICM y vicepresidente de Tecnologías para la Infraestructura. Director general del XXXI Congreso Nacional de Ingeniería Civil 2021. Presidente de corporación Unisol, empresa enfocada en el desarrollo y comercialización de soluciones informáticas bajo el modelo de nube para la supervisión de obras, contratos y gerencia de proyectos.

En la sesión “El ingeniero del futuro” surgieron los temas de que debemos comenzar desde la universidad; que el estudiante debe ser capaz de resolver y plantear problemas, ser empático; que la tecnología debe ser una herramienta que no va a sustituir al ingeniero. Insistimos en el tema de los famosos cuatro pilares: la tecnología es una herramienta; los niveles de ética que deben ser superiores a otras disciplinas; el desarrollar y fortalecer, además del aprendizaje técnico, las habilidades blandas, y el que se debe planear una formación que permita ejercer la profesión en todo el planeta

¿Cuáles serían los retos de la academia? El perfil del profesor requerido: no hay un perfil único, pero el profesor debe ser un referente, debe poseer la capacidad para involucrar a los alumnos en el planteamiento de problemas y no sólo en resolverlos. El profesor de hoy enseña como aprendió él, pero debe modificar ese perfil.

El profesor debe demostrar apertura a la discusión y al diálogo, apertura al aprender de otro, el aprendizaje debe darse por parte de ambas generaciones; constante actualización, y se debe cambiar la dinámica en los salones de clase para preparar a los alumnos para el sistema complejo al que se enfrentarán; capacidad de innovación para hacer las cosas de forma diferente de como se han realizado, salir de la zona de confort. La industria está preparada para apoyar los esfuerzos

en las universidades y para apoyar la capacitación en materia tecnológica del cuerpo docente y de los estudiantes.

Un llamado a las instituciones académicas para que flexibilicen la posibilidad de hacer cambios a sus planes de estudio; lo hacen todas las universidades del mundo, y en México debemos ir también en ese sentido.



SALVADOR FERNÁNDEZ DEL CASTILLO FLORES

Ingeniero civil. Miembro del Consejo Directivo del CICM, donde es, además, coordinador del Comité de Desarrollo Sustentable y Movilidad. Miembro del Consejo Directivo del Centro de Actualización Profesional e Innovación Tecnológica. Es perito en Desarrollo Urbano por el Gobierno de la CDMX y perito profesional en Gerencia de proyectos. Ha participado en más de 500 proyectos y obras en el país.

En el panel *Ciudades, movilidad y ciudades inteligentes*, se planteó que las ciudades son seres vivientes que se desarrollan a veces positiva y a veces negativamente. Si no se atienden, si se descuidan, pueden evolucionar a situaciones muy difíciles de resolver. Algo que se ha demostrado es que el futuro económico de los países depende del desempeño eficiente de las ciudades.

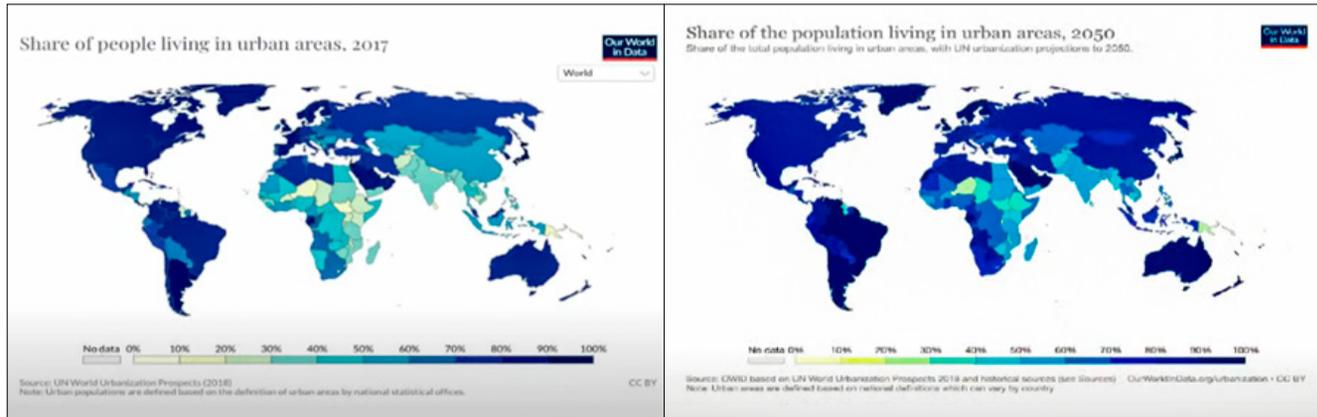
En la economía global, no son los países los que compiten entre sí sino las ciudades; el bienestar de una ciudad se logra por la unión y la simbiosis de un número de componentes: es el círculo virtuoso de la ciudad del bienestar. Tiene que haber un desarrollo institucional y gobernabilidad, vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios urbanos, desarrollo económico, desarrollo social, desarrollo humano, y todo esto debe estar apoyado por las tecnologías.

La tendencia reciente es buscar ciudades del bienestar con tecnologías avanzadas para lograrlo; debe haber inteligencia estratégica y comunicaciones digitales, entre otros recursos.

La ONU ha señalado 30 factores para lograr el desarrollo sustentable; entre ellos está el empleo formal, la salud, la educación, transporte público, seguridad pública y una migración equilibrada dentro de las ciudades.

Las ciudades inteligentes se concretan con los componentes de las tecnologías de información y comunicación (TIC), los sensores, las redes, la nube y las demás aplicaciones, las cuales se integran con las ciudades del bienestar. Así, en el logro de las ciudades del bienestar contribuyen los sensores, las redes, la nube, las aplicaciones y con eso se logran los 30 satisfactores que ha señalado la ONU para lograr el desarrollo sustentable.

En conclusión, si se suman las cualidades de las ciudades inteligentes con las de las ciudades del bienestar, habrá grandes ventajas; se pueden medir en tiempo real todos los componentes del bienestar; se logran niveles de bienestar



Personas viviendo en áreas urbanas en 2017 y en 2050.

adecuados a través del seguimiento de avances y objetivos alcanzados, con flexibilidad y aplicación territorial.

Se ha hablado mucho de la ciudad de los 15 minutos, que actualmente se aplica en París; sin embargo, en nuestras ciudades más extensas y complejas se puede ir aplicando en los distintos barrios y fomentarlo en las ciudades pequeñas y medianas.

Conforme se dio el fenómeno de la agricultura comenzaron los asentamientos urbanos. La humanidad crece y se va congregando en forma acelerada, con muchos problemas como la migración del campo a la ciudad y la mayoría de los inmigrantes generalmente asentándose en los barrios más pobres.

Un ejemplo de la distorsión que se da en la actualidad es que comprar y vender comida era un acto social y ahora es un acto anónimo; se ha calculado que el 30% de los alimentos que se producen en Estados Unidos se desperdicia, al mismo tiempo que en muchos países decenas de millones de personas mueren de hambre. Hay otra distorsión muy grande: se requieren 10 calorías para producir una sola caloría que se consume en los países de Occidente.

Se ha acelerado la urbanización; en 2 mil años se ha dado de una forma muy acelerada y se sigue dando: cómo vivía la gente en asentamientos urbanos en el año 2017 y cómo se calcula que lo hará en el año 2050 –quedarán muy pocas regiones donde la gente no viva en zonas urbanas.

Se requieren nuevos modelos de pensamiento de las ciudades. Durante los siglos XIX y XX, el énfasis fue el ferrocarril, la electricidad, el telégrafo, el teléfono, el automóvil; sin embargo, en el siglo XXI son las computadoras, el internet, el internet de las cosas, la inteligencia artificial, vehículos autónomos, la realidad virtual y aumentada, los drones y los robots.

Sobre la tecnología en las ciudades, la inteligencia tecnológica debe ser vista como un proceso de actualización, más que como una meta; no es que de repente cambie todo, sino que nos vamos a ir actualizando conforme va avanzando la tecnología. La tecnología inteligente se está esparciendo de ciudad en ciudad, de persona a persona, a través de las or-

ganizaciones no gubernamentales, por medio de fertilización cruzada...

La tecnología debe ser humanista. Se han definido nueve dimensiones clave para el progreso de las ciudades; muy importantes son el capital humano, la cohesión social, la economía, el medio ambiente, la gobernanza, el desarrollo urbano, proyección internacional, tecnología, movilidad y transporte.

Las ciudades inteligentes más destacadas son Nueva York, Londres y París; en América Latina, la más adelantada es Buenos Aires.

La inteligencia urbana involucra la experiencia y la observación; necesitamos nuevos modelos de pensamiento respecto a las ciudades, modelos que no representan necesariamente la computación.

Se mencionó en esta mesa, con mucho énfasis, que es urgente analizar la movilidad de personas y mercancías desde una perspectiva sistémica, antes de proceder a los proyectos. ¿Qué podríamos hacer los ingenieros al respecto?, pues no insistir en lo que ya hacemos, sino replantear por qué lo hacemos. Las mercancías no votan, y es una de las razones por las que la autoridad no tiene una visión sistémica en los planes de desarrollo; esta es una omisión muy grave, porque el reto es resolver la última milla, lo crítico son los últimos cien metros, se requiere hacer un análisis detallado de flujos. El 40% de la congestión urbana en ciertas ciudades se debe a la falta de ordenamiento del transporte de mercancías, y el 30% de los costos del transporte se atribuye a la última milla.

A lo mejor se resuelven los problemas de congestión de los automóviles, pero no el de desembarco de mercancías. Por otra parte, hay algo que debemos tener muy claro: la tropicalización entre ciudades no siempre es adecuada; cada ciudad es distinta, no podemos importar, sin analizar, soluciones de otras ciudades.

La autoridad debe incluir los aspectos logísticos, los cuales, generalmente, se encuentran a cargo de la iniciativa privada. La economía urbana es competitiva y sostenible, el



¿Cómo se transportan en México? En general, por ejemplo, para ir al trabajo el 37% utiliza camión, taxi, colectivo, etc. Únicamente el 3% usa el metro, metrobús o tren ligero. Para ir a la escuela, el 55% lo hace caminando, el 26% lo hace en camión, taxi o colectivo, y solamente el 1.4% en metro, Metrobús o tren ligero; hay una ventana de oportunidad enorme para el transporte colectivo.

De cada 10 pesos de presupuesto, 7 se destinan al automóvil y solamente 3 a otros medios, cuando vemos que en realidad la gente que se transporta en automóvil es la menor proporción.

Los paradigmas han cambiado a lo largo del tiempo. Hace algunas decenas de años todo estaba enfocado en el flujo de vehículos; después volteamos a ver el transporte público, y ahora, muy recientemente, el enfoque es relacionar la movilidad con la habitabilidad. ¿Recuerdan ustedes los grandes conjuntos habitacionales que se dieron, pero que no estaban ligados a la movilidad y entonces fracasaron? Últimamente lo que está en boga es crear ciudades del bienestar.

sector público se enfoca básicamente en las redes viales, y el sector privado en los medios urbanos, humanos y materiales y los espacios de transferencia.

Nadie lo sabe todo, y sin embargo todos sabemos algo; no se pueden resolver los problemas sentados en un escritorio; hoy no se atiende a la inteligencia colectiva, y por ello los grupos deben ser diversos: hay que alcanzar un desempeño conjunto, se requiere sabiduría.

En otra de las ponencias se planteó que se confunden los conceptos tránsito, transporte y movilidad. La movilidad es algo más que tránsito y transporte, desde la perspectiva de los derechos humanos, la seguridad vial y el cambio climático. La movilidad debe colocar a la persona en el centro del diseño de proyectos y la toma de decisiones, no solamente la circulación de vehículos.

Se construyen grandes estructuras viales, pero nos olvidamos de los peatones, de los discapacitados. La tecnología no son sólo las computadoras y los programas aplicables, también es el conocimiento y los procedimientos para el logro de un fin último, que es el bienestar de las personas.

Las calles deben ser sanas, seguras, y su uso es distinto para los hombres y las mujeres; cuando se analiza cómo se desplazan unos y otras, se darán cuenta que hay grandes diferencias.

Como hemos mencionado, las zonas de grandes infraestructuras han hecho a un lado a los peatones y a los discapacitados; sin embargo, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano ha editado dos manuales, uno de calles, muy interesante. Por otro lado se está promoviendo el derecho a la movilidad a nivel de ley.



EDUARDO LEE

Ingeniero civil con maestría en Sistemas de transporte. Subdirector de Contrataciones en la Dirección General de Carreteras de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. Participa en el Comité de Infraestructura del Transporte y en el Comité de Tecnología.

Para poder incorporar la tecnología disponible a las actividades diarias que hace el ingeniero civil hace falta una actitud colaborativa entre tres grandes grupos. En primer lugar, el gobierno, con voluntad política para implementar herramientas tecnológicas dentro de la administración pública y en el marco de los lineamientos de los contratos de obra pública. En segundo lugar, las instituciones de educación superior, encargadas de preparar a los futuros ingenieros. En tercer lugar las empresas, representadas por las organizaciones representativas de la industria de la construcción y de la consultoría.

La mesa “Experiencias en el uso de tecnología en la planeación y ejecución de proyectos” se enfocó en responder tres preguntas: 1. ¿Qué están haciendo las empresas en temas de adopción de nuevas tecnologías? 2. En caso de haber usado nuevas tecnologías en sus empresas, ¿qué beneficios han logrado? 3. ¿Cuáles han sido las buenas prácticas adoptadas en este sentido?

Un enfoque fue el de herramientas tecnológicas relacionadas con plataformas colaborativas; se detallaron las herramientas tecnológicas que se utilizan en empresas, las cuales permiten tener equipos multidisciplinarios; se mostraron herramientas visuales que ayudan a volver más eficientes las etapas de planeación y diseño de los proyectos de ingeniería.

Se hizo hincapié en la necesidad de tener un cambio de cultura en la forma en que realizamos nuestro trabajo, si realmente se quieren adoptar nuevas tecnologías. De igual forma, se mencionó que toda empresa debe tener estándares de trabajo homologados, antes de querer implementar nuevas herramientas; se destacó el tema de la trazabilidad de las habilidades de todos los que pertenecen a una empresa, pues tener bien identificado quién y cómo realiza las actividades ayudará a prever problemas futuros y evitará riesgos. Se resaltaron los ahorros, tanto en tiempo como económicos, que se logran con este tipo de plataformas colaborativas.

A continuación se presentaron tres herramientas tecnológicas de alta gama, similares a un robot, las cuales ayudan a ser mucho más productivos, llevando a cabo mejoras en el ciclo de actividades repetitivas que usualmente se tienen en obra: en primer lugar, se presentó una grúa automatizada que permite hacer movimientos mucho más productivos incrementando la seguridad y disminuyendo el tiempo de movimiento de los materiales y mercancías.

Posteriormente se mostró otra herramienta tecnológica que se denomina *autonomous lay out*, un dispositivo que recibe información directamente del modelo virtual realizado con BIM y traza directamente en zonas de obra las marcas y los puntos importantes donde se ubicarán diferentes elementos, como instalaciones, bodegas, cuartos, aires acondicionados, etc., todo esto para evitar el uso de cuadrillas durante el trazo y replanteo en campo, evitando de esta forma algún error humano.

Finalmente, se presentó el *mobility platform*; este robot, similar en forma y tamaño a un perro, es capaz de recorrer automáticamente el sitio de construcción para extraer una nube de puntos, la cual servirá para visualizar avances e identificar posibles errores u omisiones durante la construcción de una obra.

Más enfocado en la parte operativa se abordaron temas relacionados con las asociaciones público-privadas, la forma en que se logra una operación exitosa de este tipo de servicios; recordemos que este tipo de contratos se basa en estándares de servicio, los cuales deben mantenerse durante toda la vigencia del servicio. Se comentó sobre el sistema que utiliza una empresa para llevar a cabo las órdenes de trabajo de las diferentes actividades que realiza.

Se hizo mucho énfasis en la necesidad de reconocer como una actividad prioritaria el mantenimiento y operación de infraestructuras. Recalco este punto porque en distintos foros y diálogos con ingenieros se ha hablado mucho de planeación y ejecución, pero no debemos perder de vista que es igual de importante la operación y el mantenimiento de nuestras infraestructuras. Se reflexionó puntualmente sobre la importancia del mantenimiento preventivo y no correctivo ayudándonos con la tecnología disponible; si se sigue esta filosofía, se podrán abatir costos importantes durante el ciclo de vida de las infraestructuras.



Finalmente, tomando como base la experiencia en la construcción de la refinería en Dos Bocas, Tabasco, se mostró la importancia de las distintas etapas que todo proyecto industrial debe tener; se mencionaron, en orden cronológico, identificación, selección de la tecnología a utilizar, definición de los alcances, implementación, construcción y operación. Se hizo mucho énfasis en la importancia de la planeación y la necesidad de dedicarle tiempo suficiente a esta etapa, con el objetivo de evitar posibles retrasos. Se puntualizó en la necesidad de llevar a cabo, previo a la implementación, una evaluación de riesgos, para identificar todos los contratiempos durante la construcción, operación y mantenimiento.

Finalmente, se comentó que, si un proyecto está bien definido y es bien ejecutado, generará en el futuro un gran valor.

A manera de conclusión, destaco los siguientes puntos:

- Ya se cuenta en el mercado con tecnologías que pueden ser adquiridas por las empresas, las instituciones de educación superior o por el gobierno.
- Hace falta un cambio de mentalidad para su adopción e implementación.
- Adoptar nuevas tecnologías ayudará a cualquier empresa, organismo o institución a incrementar la eficiencia de su trabajo; serán más productivos.
- El sector de la construcción en México tiene un gran potencial de implementación de nuevas tecnologías; es tarea de todos conocerlas, adoptarlas e implementarlas en nuestros diferentes campos de trabajo.
- Debe existir una actitud colaborativa entre gobierno, instituciones de educación superior y empresas para la implementación de nuevas tecnologías; no se debe dejar del lado el constante interés por investigar cuáles son las últimas tendencias en el mercado global de las herramientas que día a día utilizamos.

Ya formamos parte de un ambiente digital con constantes cambios, actualizaciones e innovaciones. Es nuestra responsabilidad preparar a los futuros ingenieros para que sean capaces de adaptarse a los cambios tecnológicos que se vienen a mediano y largo plazo.

► Tomando como base la experiencia en la construcción de la refinería en Dos Bocas, se mostró la importancia de las distintas etapas que todo proyecto industrial debe tener; identificación, selección de la tecnología a utilizar, definición de los alcances, implementación, construcción y operación. Se hizo mucho énfasis en la importancia de la planeación y la necesidad de dedicarle tiempo suficiente a esta etapa. Se puntualizó en la necesidad de llevar a cabo una evaluación de riesgos.



ESTEBAN FIGUEROA

Ingeniero civil con maestría en Planeación de infraestructura. Con experiencia en construcción como residente y gerente de empresas constructoras. Consultor en planeación y financiamiento de infraestructura por más de 35 años. Coordinador del Comité de Planeación en el CICM.

En la mesa “¿Qué hacer para promover la adopción de tecnología disruptiva en la infraestructura en México?” se expusieron puntos de vista en torno a esta pregunta fundamental. Antes de iniciar el diálogo planteamos la importancia de la infraestructura y el uso de la tecnología en la infraestructura tomando en cuenta que la infraestructura va dirigida a la sociedad, pensando en la tecnología con sentido humano. La revolución industrial modificó la estructura social del mundo, modificó la forma de relacionarse de la sociedad, para bien y para mal.

Ahora la revolución de la información y la comunicación con tecnología a su más alto nivel también está revolucionando la forma de relacionarnos, así como de informarnos.

Que todas estas tecnologías se orienten hacia el beneficio del ser humano, ese es el objetivo de cualquier desarrollo de esta naturaleza. Leonardo da Vinci fue probablemente el hombre más creativo y fundador de lo que llamamos innovación tecnológica, pero también era un artista; esto nos dice que el creativo en tecnología debe tener un gran sentido humano en su actividad.

Recuerdo mucho un libro que alguna vez leí que se llama Los robots no tienen a dios en el corazón, es decir, la tecnología no es humana; es hecha por los humanos para servicio de los humanos.

Reflexionamos al principio sobre tres niveles en el ámbito del desarrollo de la infraestructura en los que la tecnología puede desempeñar un papel muy importante. Primero, mejorar las soluciones que damos en ingeniería empleando sistemas de información, nuevos materiales, modelos matemáticos de análisis.

Segundo, para que sean verdaderas soluciones, en la fase productiva, de materialización, la tecnología es muy importante mediante procesos automatizados, robótica, tecnología 3D, drones, etcétera.

El tercer nivel de aplicación de la tecnología en nuestras infraestructuras es elevar el nivel de satisfacción del usuario, de la sociedad a quien está destinada la infraestructura, y quien debe recibir los beneficios de la innovación y de la tecnología. Los sistemas de transporte inteligente que están orientados a informar al automovilista en una carretera, por ejemplo; edificios inteligentes, tecnología de tratamiento de aguas en comunidades rurales, entre otras cosas.

Buscamos respuesta a la pregunta ¿estamos haciendo todo esto al ritmo que los tiempos en otros campos del conocimiento lo demandan? Y tratando de responderla surgieron ideas como éstas: cuando hablamos de tecnología disruptiva nos referimos a una tecnología que modifica el estado actual de las cosas en un 20% respecto a algún indicador de su desempeño; si se modifica en 20% la resistencia de un material, o la velocidad de traslado en una carretera, estamos introduciendo una tecnología disruptiva.

La tecnología, y este fue un comentario muy interesante, no reemplaza la experiencia acumulada ni la creatividad, sino que hace uso de ella para cambiar el entorno. Esta es una conclusión muy interesante, porque en una mesa previa se comentó que los robots iban a hacer las actividades que el ser humano programará; el robot no piensa y, más aún, los robots no toman decisiones, porque tienen una capacidad de análisis programada por alguien. Tenemos que tener en cuenta esto: que la tecnología va a hacer tanto como nuestra experiencia y nuestro conocimiento pueda verter en ella.

En el ámbito de la industria de la construcción existe muy poco incentivo para invertir en tecnología. Se debatió que la iniciativa no debería provenir del gobierno, sino que los industriales, la iniciativa privada debería decidir innovar para ser más competitiva y ganar más dinero, pues indudablemente la motivación principal para un empresario es económica.

El incentivo fiscal no existe en México, y por lo tanto las inversiones que se hacen o que se pretenden hacer en desarrollo tecnológico no tienen el estímulo de ser deducibles,

pero la empresa debería invertir aun sin estímulo fiscal, porque es una inversión que le va a redituarse en el mediano o largo plazo un beneficio, una utilidad.

En general, se considera que en México somos compradores, o a lo sumo adaptadores de tecnología, debido a la facilidad que ello supone y a que falta la infraestructura institucional y empresarial para desarrollarla.

Cuando hablamos de tecnología de aplicación general nos referimos no sólo a tener la idea creativa de una nueva tecnología, sino que el medio y los otros pares que desarrollan tecnología la acepten como una innovación y tengan la capacidad de divulgarla y comercializarla; es lo que hacen los países desarrollados que hacen tecnología y la venden. En México no tenemos esa estructura, ni empresarial ni institucional, para invertir en desarrollo tecnológico propio. En principio pienso que es porque vivimos en la trinchera; las empresas están en la trinchera evitando recibir un balazo, y para desarrollar tecnología necesitamos estar donde está el mariscal de campo, viendo la batalla y con el tiempo suficiente para desarrollar la tecnología que en el largo plazo nos va a redituarse beneficios. No tenemos tiempo en los países subdesarrollados porque nos morimos antes, y entonces para sobrevivir compramos tecnología, o eventualmente la adaptamos.

La iniciativa en el campo de la construcción proviene generalmente de ambas partes: del cliente y del constructor, pero no a partir de incentivos contractuales; son acuerdos informales que se dan durante la ejecución de las obras sobre cómo mejorar el proceso, cómo bajar costos... eventualmen-



te se hacen ejercicios de ingeniería de valor, de constructividad para reducir costos, pero no de una manera premeditada contractualmente.

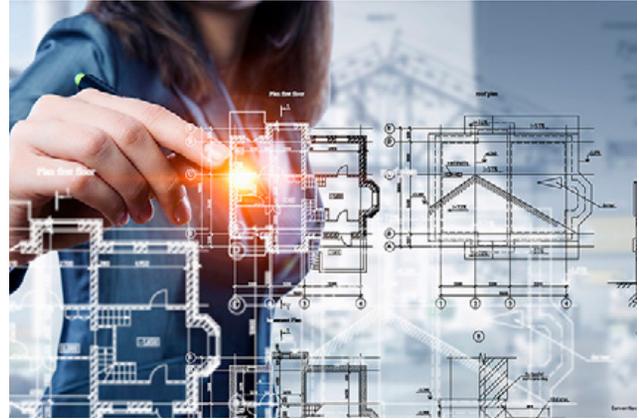
Se habló de algo muy interesante: que sí hay innovación en la construcción, y se puso un par de ejemplos de “pequeña innovación” –le llamamos–, innovación que en una obra generó grados beneficios, y donde se demuestra que hay creatividad en nuestro medio para innovar. Pero no pasamos de innovar en esa obra. No se divulga apropiadamente, no se extrapola, no la vendemos u ofrecemos para aplicarla a otros proyectos, se queda ahí, y por eso le llamamos “pequeña innovación”.

Lo que muestra esto es que sí hay creatividad, por supuesto, pero la creatividad es sólo el germen de la innovación. Se considera que existe capacidad para desarrollar tecnología para la infraestructura y la construcción, pero faltan los mecanismos detonadores que hagan atractiva la inversión en ella. Es un tema de visión a largo plazo y de sobrevivencia en el corto plazo.

Es importante que se apropien de la tecnología los destinatarios del beneficio mediante un proceso de divulgación, convencimiento y capacitación en su uso y aprovechamiento.

Respecto a la apropiación, se puso un buen ejemplo: se desarrolló un sistema de tratamiento primario de agua para eliminar bacterias en el medio rural, a partir de pequeñas celdas solares; llevaron el experimento que se desarrolló en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a los Altos de Chiapas, a las poblaciones indígena, donde no hay agua potable. Hicieron el experimento, le enseñaron a la gente, la gente aparentemente se interesó por ello, se fueron, lo dejaron y nunca más volvieron a usar el aparato, es decir, la población no se apropió de esa idea tecnológica por razones culturales, por razones de capacitación, por razones que no se investigaron.

Posteriormente se abordó el tema de las nuevas generaciones: ¿qué está haciendo la academia para que los ingenieros que vienen tengan la mentalidad tecnológica innovadora, creativa?, y no sólo que la tengan, sino que a esa mentalidad se sume la capacidad de emprendimiento para que esa idea, esa vocación de cambio la materialicen en una empresa, en un proyecto, en una tecnología nueva.



Es importante la visión que compartió una recién egresada como ingeniera civil. La tecnología plantea un cambio de paradigma y nos obliga a concebir el mundo de una manera distinta de como lo habíamos estado haciendo en generaciones anteriores. Por la tecnología, los problemas de la sociedad se han vuelto más complejos, pero también hemos ganado la oportunidad y las herramientas para poder resolver estos problemas.

En su universidad se da una formación integral orientada a la ética, la calidad y la innovación, siempre resolviendo problemas, entregando productos tangibles y tratando de pensar “fuera de la caja” para darle un valor agregado a cualquiera que sea el proyecto en el que se colabore.

Es mediante la innovación tecnológica que se está formando a los ingenieros civiles del futuro, haciendo hincapié en que la educación debe dirigirse a la resolución de problemas no de una forma convencional, sino impulsando el explotar el acceso a nuevas tecnologías.

La nueva generación de ingenieros civiles del futuro puede ver más hacia delante de lo que se veía antes, pero porque están sentados sobre hombros de gigantes. Estos gigantes son todas las generaciones de ingenieros civiles que están construyendo el México moderno, y gracias a su trabajo, conocimientos y experiencias otorgan una posición privilegiada de usar lo que ya hicieron, para que los jóvenes aporten su innovación.

PARTICIPANTES EN LAS MESAS DE DISCUSIÓN

Tecnologías transversales (IA, IoT, robótica, plataformas colaborativas)



SILVIA GARCÍA BENÍTEZ

Profesora investigadora de inteligencia artificial y ciencia de datos en las geociencias en la UNAM. Entre sus intereses de investigación están el procesamiento inteligente de las bases de datos sobre infraestructura.



HÉCTOR VÁZQUEZ LEZAMA

Ingeniero electrónico con maestría en Telecomunicaciones y finanzas. Es responsable de la introducción de nuevas tecnologías y servicios en el metro de la Ciudad de México.



GABRIEL AYORA TOBILLA

Especialista de productos civiles y de construcción en Bentley Systems, con experiencia en la gestión de proyectos y diseño de infraestructura vial en México.



XAVIER GUERRERO CASTORENA

Ingeniero civil con certificación en la especialidad de Estructuras. Responsable del área de Tecnologías del Grupo TGC. Profesor de posgrado.

Tecnología de materiales y procesos constructivos



ALEJANDRO VARES LEAL

Licenciado en Administración con maestría en Administración de negocios. Tiene a su cargo la Vicepresidencia de Infraestructura y Gobierno para Cemex México.



VICENTE RAMÍREZ COLLADO

Director ejecutivo de BE MORE 3D con estudios en Delineación de proyectos, Ingeniería de la edificación y maestría en Administración de startups.



GLORIA PÉREZ ÁLVAREZ-QUIÑONEZ

Colaboró en el desarrollo de recubrimientos ópticos para aplicaciones en el rango visible e infrarrojo. Es miembro del Grupo de Materiales Eco-eficientes de Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del CSIC.



MAURICIO IRASTORZA CAMPOS

Ingeniero civil con especialidad en Administración de la construcción. Es technical sales specialist para el Sector de Infraestructura y Construcción en América Latina de Autodesk.

El ingeniero civil del futuro



ROBERTO CALVET ROQUERO

Ingeniero civil con estudios de Finanzas corporativas y de Alta dirección de empresas. Con 32 años de experiencia en servicios de gerencia de proyecto, consultoría, ingeniería y construcción. Fue director de Construcción en el Grupo ICA. Coordina el Comité Nacional de Responsabilidad Social de la CMIC. Socio director de ROCAL.



REYES JUÁREZ DEL ÁNGEL

Doctor en Ingeniería con 40 años de experiencia en la estructuración de asociaciones público-privadas de proyectos de infraestructura estratégica, megaproyectos y sus esquemas de gobernanza y financiamiento. Perito en Gerencia de proyectos de infraestructura del CICM.



LUCIANO FERNÁNDEZ SOLA

Ingeniero civil y doctor en Ingeniería. Profesor investigador en la UAM Azcapotzalco. Miembro del subcomité de la Norma Técnica Complementaria de Diseño por Sismo.



MARCO TULLIO MENDOZA ROSAS

Ingeniero civil con maestría en Ingeniería. Su campo de conocimiento comprende particularmente la ingeniería de sistemas y la construcción. Secretario de Apoyo a la Docencia de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Jefe de la División de Ingenierías Civil y Geomática.



XIMENA RICO

Arquitecta con estudios en Desarrollo sostenible. Más de 20 años de experiencia en la industria de tecnología. Fundadora y actual directora del BIM TaskGroup México. Directora de Relaciones con Gobierno en Autodesk Latinoamérica.

Ciudades, movilidad, *smart cities*



DANIEL FAJARDO ORTIZ

Licenciado en Economía con maestría en Estudios urbanos y doctorado en Estudios urbanos y ambientales. Especialista en desarrollo urbano, planeación territorial y coordinación metropolitana. Subsecretario de Desarrollo Urbano y Vivienda de la Sedatu.



LUIS JAVIER CASTRO Y CASTRO

Tiene amplia experiencia en procesos de desarrollo estratégico de ciudades y regiones. Durante 47 años ha participado y coordinado alrededor de 150 programas y proyectos de desarrollo de ciudades, regiones y vivienda social en México y en 32 países del mundo.



EDUARDO VALENCIA RODRÍGUEZ

Ingeniero civil con más de 30 años de experiencia en construcción de plantas farmacéuticas y gestión de temas regulatorios para dicha industria. Como empresario ésta enfocado en la gestión de tecnología e I+D e innovación.



GASTÓN CEDILLO CAMPOS

Ingeniero civil con maestrías en Ingeniería de transporte y en Logística y organización, y doctorado en Transporte-Sistemas logísticos.



MARIANA OROZCO CAMACHO

Maestra y psicóloga con diplomado en Contraloría social y en Análisis político estratégico. Forma parte del equipo de la Sedatu gestionando la creación y funcionamiento de la primera área de la APF encargada de impulsar la política de movilidad en escala nacional.

Experiencias en el uso de tecnología en la planeación y ejecución de proyectos



ÓSCAR SOLÍS YÉPEZ

Ingeniero civil con maestría en Ingeniería, especialidad en Administración de la construcción. Director general de ACONSA. Miembro del Subcomité Revisor de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto CDMX.



JORGE MOGUEL GONZÁLEZ

Ingeniero civil con maestría en Ciencias, en Planeación en infraestructura. Desde el inicio de su vida profesional se incorporó a ICA por varios años. Desde hace 12 años se desempeña en GIA.



ENRIQUE GUTIÉRREZ GARCÍA

Cuenta con 30 años de experiencia en proyectos industriales, 28 de ellos con ICA Fluor desde su creación. Actualmente es responsable del desempeño técnico de la planta de Dos Bocas.



CARLOS DUARTE

Ingeniero civil con MBA. Con 40 años de experiencia en la industria de la construcción. Como director general de Turner México, es responsable de la ejecución de proyectos, manejo de riesgos y recursos, planeación y ejecución de ventas y nuevos negocios, entre otros.

¿Qué hacer para promover la adopción de tecnología disruptiva en la infraestructura en México?



ARMANDO DÍAZ INFANTE

Presidente de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Con más de 25 años de experiencia en el desarrollo de proyectos inmobiliarios de vivienda social y económica.



BRENDA CASTILLO PILLONI

Ha intervenido en investigaciones sobre diseño de concreto reforzado con fibras y la optimización de su durabilidad. Forma parte de la Gerencia de Innovación y Sostenibilidad del Centro de Tecnología Cemento y Concreto de Cemex.



FELIPE ARREGUÍN CORTÉS

Doctor en Ingeniería hidráulica. Fue subdirector general técnico de la Conagua y director general del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Profesor de posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Vicepresidente del Colegio de Ingenieros Civiles de México



BERNARDO ORTIZ MANTILLA

Ingeniero civil con maestría en Transporte. Más de 15 años de experiencia en planeación, diseño, desarrollo y supervisión de sistemas, tecnología e infraestructura para modernizar y optimizar la operación del sector transporte. Director general de IBI Group en México y Latinoamérica.



HUMBERTO MARENGO MOGOLLÓN

Ingeniero civil, maestro y doctor en Ingeniería. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. 35 años de experiencia en la CFE. Fue comisionado mexicano de la CILA. Es subdirector general técnico de la Conagua y preside el Comité Mexicano de Grandes Presas.

**TODO EL CONTENIDO
DEL 31 CNIC DISPONIBLE
ON DEMAND PARA
NUEVOS USUARIOS O
CON REGISTRO
PREVIO**

<https://cicmdigital.online/>

