

La disrupción tecnológica

La importancia y presencia del cambio

Las innovaciones tecnológicas crecen a un ritmo acelerado. La ingeniería, la producción, el consumo, los modelos empresariales y de negocios están cambiando hacia fórmulas nuevas. Hoy día, siete de las ocho empresas de mayor valor en el mundo son tecnológicas y continuamente se crean nuevas empresas disruptoras. El aumento extraordinario de la capacidad de procesar datos y el empleo de algoritmos avanzados que permiten tratarlos, está acelerando la disrupción tecnológica. A ello ayuda la popularización de internet (que llega ya a más de la mitad de la población mundial y cuyo coste se ha reducido), el uso de los *smartphones* y su capacidad de acceso a información, y los sensores capaces de conectar a internet cualquier instrumento.

La aceleración del cambio

Las grandes bases de datos, los sistemas automáticos de recogida continua de información, la instrumentación digital de alta resolución, los nuevos sensores remotos, los sistemas de información geográfica, los potentes ordenadores, etc. Son elementos que permiten nuevas formas de abordar y plantear el trabajo en ingeniería civil relativo a la modelación, diseño, planificación y gestión de los sistemas. Y, sin duda, van a afectar de forma decisiva a la ingeniería futura y al campo laboral porque la disrupción tecnológica transforma el mercado laboral, destruyendo puestos de trabajos y, a la vez, creando otros y nuevas oportunidades. La educación adquiere en ese contexto un protagonismo extraordinario en la medida que es instrumento de adaptación.

La ingeniería civil ha realizado su actividad durante muchos años acompañando a la tecnología y a los nuevos modelos de gestión. Ahora se enfrenta a nuevos productos digitales muy competitivos y que constituyen una realidad contrastada que está impulsando la creación de riqueza y empleo. Las empresas del *software* y digitales han desarrollado marcos de referencia y metodologías de gestión ágiles, especialmente útiles para desarrollar la actividad en entornos complejos, con equipos multidisciplinares que se organizan con gran autonomía, donde se necesita tener resultados pronto, los requisitos no están bien definidos o sufren cambios importantes durante la ejecución de los proyectos y donde la innovación, competitividad, flexibilidad y la productividad son fundamentales.

El problema del desempleo tecnológico

Las nuevas realidades

Las nuevas demandas de la sociedad -especialmente las relativas a la movilidad, la sostenibilidad, calidad de vida, adaptaciones al cambio climático, etc.-, tienen una naturaleza y complejidad que las hace estar muy condicionadas para la aplicación de la metodología científica convencional. La observación y los modelos que de ellas se derivan se exigen para ser eficientes con las nuevas tecnologías. La información disponible es tan elevada y pertinente (procedente de centros globales de información específica muy competentes) que recomienda superar los métodos clásicos y utilizar nuevos instrumentos: *big data*, realidad virtual y aumentada... Todo ello lleva a que muchas actividades profesionales (también la ingeniería) estén pasando de ser un ámbito profesional de toma de decisiones expertas con base en

Pensamiento digital, disrupción e inmediatez

pocos datos, muy específicos y contextualizados, a disponer de datos masivos de múltiples procedencias, significativos parcialmente todos ellos, y con calidades y cualidades diferentes (textos, imágenes, vídeos, etc.).

Nuevas
realidades,
nuevas
demandas

Así, se ha hecho preciso complementar los métodos y modelos tradicionales, e incluso reformularlos o aplicar la lógica difusa, que permite explotar la tolerancia a la imprecisión que ocurre en situaciones y problemas reales. La lógica difusa es de gran valor en situaciones donde: a) es prácticamente imposible tener un modelo que represente la complejidad adecuadamente o materializarlo cuando la información es insuficiente, b) muchos modelos requieren simplificar excesivamente el problema real dejando de representar con la fidelidad necesaria el contexto de interés, y c) la complejidad del fenómeno y de los modelos impide obtener soluciones con suficiente precisión, de forma rápida y con costes razonables.

No es que los modelos tradicionales no sean necesarios y útiles, sino que simplemente pueden complementarse eficazmente. La creciente complicación de los fenómenos que es necesario tratar y de la actividad profesional a desarrollar, otorga cada vez más importancia a los dos postulados más básicos de las teorías de la complejidad: la complejidad de lo uno y la unicidad del todo. El hilo conductor de una ingeniería moderna ya no son las partes sino el todo, lo cual no quiere decir que las partes (mecánica de sólidos, suelos, de fluidos, ciencias de la tierra, de los materiales, etc.) no sean importantes y deban evolucionar incorporando aquellos avances científicos y tecnológicos más pertinentes, que permitan integrarlas en la visión totalizadora de su objeto de estudio.

La nueva forma
en que la
humanidad
trabaja

Se han implantado los equipos multidisciplinares, buscando mayor productividad y eficiencia en un contexto cada vez más complejo e incierto, tanto desde el punto de vista económico y productivo, como social y ambiental. Los cambios afectan hoy principalmente a un todo que es cada día mucho más amplio, interrelacionado, complejo y diverso, de forma que la competencia profesional ya no se puede alcanzar uniendo (ni adicionando, ni integrando) las partes que han sido señas de identidad profesional. El cambio tecnológico tiene un gran impacto en todo el mundo, que se visualiza principalmente en las áreas económicas: a) crecimiento; b) productividad; c) inversión, y d) empleo. Por ello se afirma que la disrupción tecnológica tendrá grandes influencias, no sólo en la industria, sino también en la forma en que la humanidad trabaja y descansa, ambientales (huella ecológica y de carbono, sostenibilidad) y sociales (consumo, control social...).

En qué está ya presente la disrupción tecnológica

Máquinas que
replican tareas

La disrupción tecnológica está suponiendo la digitalización de los procesos o de las cadenas de valor a partir de la idea de utilizar las tecnologías de comunicación para implementar, integrar o hibridar diferentes procesos de ingeniería y negocio, permitiendo que la planificación, gestión y producción opere de una manera eficiente y flexible con bajos costos y alta calidad. Las tres tecnologías esenciales que se consideran son: a) la inteligencia artificial (IA) y derivadas; b) internet de las cosas (IoT), y c) el vehículo autónomo. Otras importantes son *blockchain*, la energía distribuida, inteligencia compartida en sistemas abiertos y la impresión 3D y 4D.

a) Inteligencia Artificial (IA), robótica y *big data*

La IA es la aplicación de sistemas computacionales en máquinas que permiten replicar tareas hasta ahora efectuadas por humanos. Se suele distinguir entre IA “general”, que intenta replicar la inteligencia humana, e IA “estrecha”, que comprende la optimización de tareas sencillas del día a día por parte de una máquina. Las variedades de IA comprenden desde la deducción, razonamiento y solución de problemas, la representación de conocimientos, la robótica (que incluye manipulación y movimiento), la planificación, el procesamiento del lenguaje, la percepción (visión artificial) y la inteligencia social, además de la destacable “*machine learning*”, con las redes neuronales. La IA puede implementarse hoy con el uso de telefonía móvil. La robótica colaborativa está produciendo unidades cuyas capacidades están evolucionando de manera espectacular. Cada vez son más flexibles y autónomos y trabajan colaborativamente con los humanos.

Datos y análisis

La acumulación masiva de datos permite su análisis y procesamiento a través de la IA, facilitando la toma de decisiones, aunque también la IA es capaz de simular situaciones virtuales a partir de reglas básicas que generan conocimientos inductivos. El *big data* es un término que hace referencia a una cantidad enorme de datos tal que supera la capacidad del software convencional para ser capturados, administrados y procesados en tiempo razonable. Por ello se emplean diferentes métodos para su procesamiento, como por ejemplo la asociación, que trata de encontrar relaciones entre diferentes variables con un análisis causa-efecto para así poder realizar predicciones, el *data mining*, que utiliza procesos estadísticos para identificar patrones e igualmente producir predicciones, la agrupación (*clustering*) que divide grandes grupos de personas en colectivos menores, el análisis de textos, etc. Las tecnologías generan un gran volumen de datos e internet permite su transferencia y almacenamiento masivo, así como proporcionar nuevos e innovadores métodos de análisis y conocimientos al interpretarlos con inteligencia artificial en el contexto de una aplicación objetivo.

b) Internet de las cosas (IoT)

Se denomina así al mecanismo por el que sensores y transmisores están conectados por redes a sistemas informáticos y se comunican entre sí. Ello ha sido posible por el abaratamiento de los sensores y el acceso a internet. Estos sistemas permiten monitorizar y gestionar el estado y las acciones de objetos y seres vivos que estén conectados y aprender de dicha interconexión. Así, IoT consiste en dar inteligencia a los diferentes dispositivos enriqueciéndolos con la informática integrada y conectándolos, permitiendo que interactúen tanto localmente como centralizadamente, creando oportunidades para obtener conocimientos nuevos. Sus aplicaciones más claras son para el sector de la seguridad y del transporte, con la diagnosis preventiva de errores del vehículo, seguridad, información de rutas, etc., así como en la optimización de ciudades en temas, entre otros, de tráfico, seguridad, contaminación y gestión de recursos.

La nueva
conectividad

El vehículo autónomo

El vehículo conectado y autónomo no es más que la punta del iceberg de un conjunto de nuevos paradigmas técnicos, tecnológicos y sociales relacionados con la movilidad. Además de los beneficios más tópicos y típicos (siniestralidad, tiempos, optimización de uso, reducción de necesidades, contaminación o de recursos, etc.) supondrá una gran oportunidad para el transporte y los servicios relacionados, sobre todo para el transporte público de todo tipo (urbano, sanitario, etc.), y para las infraestructuras físicas e inteligentes que necesitarán las ciudades y el tráfico masivo, o las zonas rurales, la conexión más básica y el bienestar de las personas.

La gran batalla

El vehículo conectado autónomo no constituye sólo un reto tecnológico (5G y la demora en la propagación y transmisión de información en una red, latencia, por ejemplo), sino, y especialmente, un gran cambio en el acceso y utilización de los recursos y de los servicios públicos y privados que condicionará profundamente el comportamiento cotidiano de los ciudadanos. Hoy se registra una gran batalla entre Apple, Uber, Google a través de su filial Waymo, General Motors-Lyft, Ford, Tesla y Daimler por liderar el mercado del vehículo autónomo, estando ya desarrollado desde hace años en el campo del vehículo guiado.

Blockchain, impresión 3D y 4D y otras tecnologías

Nuevas garantías en transacciones

Surgida a raíz del *bitcoin*, *Blockchain* ofrece una nueva manera de abordar la construcción de una base de datos. Efectivamente, se trata de una base de datos transaccional globalmente compartida descentralizada que facilita transacciones e interacciones *peer-to-peer* sin la necesidad de ninguna autoridad de confianza u operador intermediario. Protegida criptográficamente, organizada en bloques hiperreplicados de transacciones relacionados entre sí matemáticamente, resiliente e inalterable, se podría convertir en una alternativa/sustitución de las actuales bases de datos donde los agentes concernidos (sensores incluidos) alimentarían la base de datos de manera automatizada quedando registro indeleble de estos inputs de la base de datos.

Materiales que cambian su forma

La impresión 3D y 4D son técnicas de fabricación para crear objetos imprimiendo capas de material (al principio plástico, pero ahora también metal y gel) a partir de modelos digitales. En la impresión 4D la cuarta dimensión es el tiempo y ello supone que los objetos impresos cambiarán su forma de forma autónoma y se autoensamblarán por su capacidad de memoria. Parece que las implicaciones más fuertes se producirán sobre la edificación (con el uso de materiales 4D para fachadas y techos que reaccionen a la luz y el calor), el comercio y el transporte (con mercancías que cambien de volumen), en el uso de infraestructuras que dispongan de tuberías programables y adaptables, etc. Ya se utiliza ampliamente para la disposición de piezas o instrumentos de mantenimiento.

La nube es un nuevo paradigma que permite almacenar información masiva y ofrecer servicios de computación a través de la red. Cada vez más las organizaciones comienzan a utilizar *software* (sin ser expertos en ello), y la nube les permite acceder, almacenar, recuperar y compartir datos desde cualquier lugar o dispositivo, lo que proporciona mayor libertad y flexibilidad en los entornos de

trabajo. Los sistemas ciberfísicos conectados requieren conceptos y tecnologías fiables que garanticen la seguridad, privacidad y protección del conocimiento que de ellos derivan. Por ello son cruciales comunicaciones fiables y seguras.

La simulación se utiliza en muchas fases de ingeniería, y se generalizará y utilizará más sobretodo en procesos y operaciones de fabricación en planta. Proporciona datos en tiempo real para poder reflejar el mundo físico con un modelo virtual, incluyendo productos, máquinas y comportamientos humanos. La realidad virtual y aumentada convierte el entorno físico en digital creando objetos virtuales en tiempo real. El usuario aprende a solucionar problemas en un entorno virtual seguro, antes de hacerlo en el real.

El trabajo en equipo no es suficiente en la nueva situación. El trabajo colaborativo en sistemas abiertos configura los equipos de manera flexible según los proyectos y promueve entornos de comunicación fluida, crea espacios en los que todos y cada uno de los profesionales que intervienen pueden expresar sus puntos de vista y aportar valor con sus propuestas, así como detectar nuevas oportunidades. Las instituciones y organismos del sector de la construcción y la edificación (administración, empresas, profesionales y algunos agentes sociales y proveedores de formación) están potenciando el uso de BIM (*Building Information Modeling*) como una herramienta tecnológica clave para mejorar la competencia. El BIM forma parte de unas estrategias nuevas de trabajo colaborativo y digital, y constituye una primera manifestación en la práctica profesional de la ingeniería actual, interrelacionando los mundos ciber y físico con la simulación, estandarización y la automatización.

Una nueva fórmula, el trabajo colaborativo

El necesario apoyo de la ingeniería

Los datos han servido siempre para la validación, la experimentación, la simulación, la planificación, el diseño, la gestión y cualquier otra actividad de la ingeniería. Son elemento sustancial a la hora de potenciar (en cantidad y calidad) la capacidad de razonamiento y la toma de decisiones. Se convierten, además, en fundamentales para buscar y extraer conocimientos nuevos, si bien siempre se plantean algunas preguntas: ¿qué datos son imprescindibles?; ¿cómo se pueden obtener?; o ¿cómo se pueden utilizar en un proyecto de ingeniería tradicional o disruptivo?

La mejor forma de encontrar una respuesta coherente con la situación es acudir a alguna de las propuestas operativas: simulación, estandarización, automatización y tecnología. Y todo ello desarrollado con un pensamiento digital y disruptivo en un contexto donde la inmediatez lo dirige todo. La simulación no es más que trasladar objetos reales al mundo virtual, donde se puede experimentar con ellos alterando las reglas de funcionamiento (multifísica) sin ningún riesgo físico. Lo que es nuevo es la disposición de muchos datos, que hoy día es abrumadora.

Necesidad de los datos

La estandarización es la síntesis de las reglas de buenas prácticas. La automatización se consigue mediante el control de los objetos físicos a través de productos de software, integrando sensores y capacidades de comunicación inalámbricas. La modelización y simulación proporcionan datos masivos, la estandarización les da credibilidad y genera confianza y finalmente la

automatización introduce la IA en la toma de decisiones. Y, en cualquier caso, todo ello gracias a la tecnología.

Inteligencia artificial e ingeniería

Los motivos por los que las herramientas propias de la IA constituyen instrumentos de apoyo a la labor de la ingeniería con un enorme potencial son:

- Están diseñadas para obtener un máximo partido de la estructura de hardware de los ordenadores.
- A diferencia de los métodos de programación algebraica y modelos lineales clásicos, no son excesivamente sensibles a los posibles fallos o errores en la información.
- Contemplan siempre distintas posibilidades, y son capaces de dar respuestas “probabilísticas”.
- Van mejorando con el tiempo, conforme se incrementan y mejoran las bases de datos, y conforme se ejecutan en diversas situaciones y contextos.
- Se pueden ir actualizando de forma sencilla conforme evoluciona la experiencia, sin afectar “formalmente” a la estructura de la información y de los programas. Por lo tanto, no tienen por qué quedarse obsoletos con el paso del tiempo, sino más bien al contrario.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han introducido con éxito en diferentes ámbitos y para el acceso a las bases de datos nacionales e internacionales en distintas áreas de la ingeniería civil, y el acceso a la información en general. En otros campos quizás haya retraso en lo referente al conocimiento de la llamada “matemática blanda”, técnicas de “*data mining*” y conocimientos básicos de *hardware* y redes informáticas.

Las implicaciones en la economía y el mercado de trabajo

Efectos en la competitividad y en el empleo

La disrupción tecnológica tiene un impacto importante en la competitividad y en el empleo. Los impactos sobre diferentes sectores (seguros, gestión de activos y de patrimonios, el transporte, el sector inmobiliario, etc.) son y serán amplios. Los efectos sociales pueden centrarse en cuatro aspectos: a) la desaparición de trabajos y la creación de nuevos puestos; b) el crecimiento de la productividad; c) el impacto en la educación, y d) los efectos sobre la desigualdad. Las perspectivas de empleo para los años 2015-2020 estimadas en “*The future of jobs*” por el *World Economic Forum* indican que en arquitectura e ingeniería habrá una variación positiva de empleo evaluada en casi 340.000 nuevos empleos, si bien en el sector de la construcción y la extracción la variación será negativa y de casi 500.000 empleos. A pesar de los temores que cualquier cambio plantea en las personas, los beneficios, aunque repartidos desigualmente, alcanzan a toda la población. Se puede afirmar que los índices de calidad de vida (tasas de mortalidad infantil, de alfabetización, porcentajes de la población en situación de pobreza, etc.) han mejorado a lo largo de los últimos 100 años.

Las empresas muestran mayor resistencia al cambio tecnológico que las personas, lo que hace necesario que se transformen adaptándose al cliente mediante la transformación de modelos de negocio, de producto y la manera de trabajar, optimizando procesos utilizando las tecnologías y la automatización.

¿Qué plazo tenemos?

El denominado ciclo de expectación de Gartner indica en qué situación se encuentra una determinada tecnología y en cuántos años se prevé que alcance la que se denomina meseta de productividad, una vez ha sido lanzada y ha sobrepasado diferentes fases en el tiempo como son el pico de expectativas sobredimensionadas, el abismo de desilusión y la rampa de consolidación. La *machine learning*, principal derivada de la IA, y la IoT se espera que alcancen dicha meseta de productividad en un plazo de 2 a 5 años, *blockchain* en 5-10 años y la impresión en 4D en más de 10 años. Algunos trabajos han evaluado qué sectores se verán más afectados por la IA en los próximos cinco años. Así, han establecido cinco niveles de efectos previsibles: nada, poco, moderadamente, amplio y grande. En los sectores de la energía, de la construcción y del transporte se registrará un amplio efecto.

En un plazo
muy corto

Fuentes

De la Torre, I.; Torralba, L. (2017): “*La disrupción tecnológica ya está aquí*”. ARCANO. Disponible en: <https://research.arcanopartners.com/documentos> [Consultado 06-11-2017].

Suárez Arroyo, B. (2017): “*La profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y el uso masivo de datos*”

García Bartual, R. (2017): “*Grandes bases de datos e ingeniería*”

Navas, S. *et al.* (2017) “*Análisis del riesgo de inundación mediante técnicas estadísticas avanzadas*”. V Jornadas de Ingeniería del Agua. A Coruña.

Vázquez, R. *et al.* (2017) “*IoT aplicado a los sistemas de agua urbana*”. V Jornadas de Ingeniería del Agua. A Coruña.