

El ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos y

# la Cuarta Revolución Industrial

**BENJAMÍN  
Suárez**

**Dr. Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos**

**Catedrático de Universidad,  
Universitat Politècnica de Catalunya  
(UPC)**

**Director de la Fundació Politècnica  
de Catalunya**

## **RESUMEN**

Los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos tienen que dar un vuelco estratégico a su actividad y la 4ª revolución industrial puede ser, además de una exigencia laboral y productiva, una gran oportunidad profesional. La tecnología permite abordar los problemas con mayor profundidad, de forma más flexible, multidimensional y multifacética tanto en lo relacionado con los actores o dominios claves como con la eficiencia y utilización de la técnica y los recursos. Pero la actividad no sólo deberá integrarse en el mundo digital, sino también reformularse pensando en grande conectándola con los problemas que afectan al planeta y a la vida de sus ciudadanos. Además, los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos sin perder la formación y dimensión intelectual que les caracteriza, tienen que incorporarse a las nuevas corrientes sociales, y ejercer una ingeniería para todos los ciudadanos, una ingeniería útil, pertinente, eficiente y con un coste razonable, sin que ello implique pérdida alguna ni en la técnica ni de la calidad o seguridad.

## **PALABRAS CLAVE**

Grande, planeta, vida de sus ciudadanos

## **ABSTRACT**

*Civil Engineers must apply a strategic rethinking to their work, and the fourth industrial revolution may be a great professional opportunity as well as something that is demanding in terms of work and production. Technology means that problems can be addressed in greater depth, on a more flexible, multidimensional and multifaceted basis, in terms of both the key players and domains, and the efficiency and use of techniques and resources. However, their work must not only be integrated into the digital world, but must also be reformulated while thinking about the broader picture, linking it with the problems that affect the planet and the life of its citizens. Furthermore, without neglecting their training and intellectual dimension, Civil Engineers must be a part of new social trends, and engage in engineering for all citizens –engineering that is useful, relevant and efficient and at a reasonable cost, without this entailing any decline in technique, quality or safety.*

## **KEYWORDS**

*The broader picture, planet, life of its citizens*

*¡Cuántas observaciones preciosas son inútiles para el progreso de las ciencias y las técnicas, porque no hay fuerzas suficientes para calcular los resultados!*

*¡Cuántos desánimos no infunde en el hombre de genio la perspectiva de un largo y árido cálculo, que sólo pide tiempo para meditar y se ve privado de él por el volumen de las operaciones de un sistema inadaptado!*

*Y, sin embargo, debe llegar a la verdad por la vía laboriosa del análisis, y no puede seguirla sin guiarse por los números, ya que sin ellos no es posible levantar el velo que oculta los misterios de la naturaleza.*

Luigi F. Menabrea, ingeniero militar<sup>6</sup>

## INTRODUCCIÓN

La sociedad está cambiando, y las transformaciones que se están produciendo afectan a todas las actividades de los ciudadanos (económicas, laborales, profesionales y sociales). La forma cómo percibe la sociedad los cambios, sus experiencias y pasado llevan sin solución de continuidad a agruparlos entorno a denominaciones genéricas y estereotipadas, en estos momentos la 4ª Revolución Industrial. Alternativamente en su vertiente productiva (siguiendo la evolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones dominantes) como Industria 4.0.

Para contextualizar el marco de referencia se hace a continuación una introducción a las distintas fases sobre las que ha pivotado el progreso industrial en las sociedades desarrolladas con mención expresa de alguno de sus atributos más significativos<sup>2</sup>.



La primera revolución industrial se inició a finales del siglo XVIII de la mano de la máquina de vapor, que proporcionó a la industria una mayor autonomía, independencia y sostenibilidad energética. Adicionalmente la incorporación de las máquinas de vapor al transporte por

ejemplo ferroviario o marítimo, actuó como un elemento multiplicador de la actividad.



La segunda revolución industrial se sitúa a principios del siglo XX y se basó en la energía eléctrica que facilitó la división del trabajo y la producción en masa. La energía proporcionada a pequeña escala por los motores eléctricos permitió fragmentar las tareas industriales y desarrollar la actividad en pequeños talleres, llegando incluso a los entornos domésticos.



La tercera revolución industrial comenzó a finales de los 60 con la irrupción de los microprocesadores, la electrónica y la informática. El control numérico de procesos, el CAD/CAM y los programas de gestión son alguno de los elementos que caracterizan esta etapa. La informá-

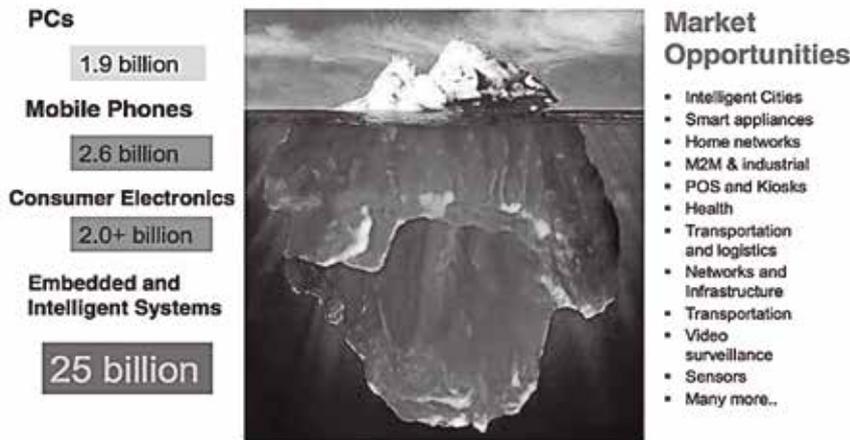
tica y la robótica industrial empiezan su andadura y el ordenador (PC) a ser una herramienta de competencia personal y colectiva<sup>4</sup>.



La cuarta revolución industrial se fundamenta en los denominados modelos ciberfísicos (ciber, término asociado con los ordenadores, la realidad virtual y la inteligencia artificial). Estos modelos son el resultado de un maridaje (unión, conformidad, concordancia, armonía) entre los mundos físico y digital, por medio de sistemas computacionales interconectados. Las manifestaciones del mundo físico en la industria necesitan en algunos casos reformularse, pero en otros no, aunque en casi todos adaptarse<sup>1</sup>.

## LA TECNOLOGÍA Y LA 4ª REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Los sistemas ciber, las comunicaciones e internet de las cosas son los ingredientes tecnológicos<sup>9</sup> básicos de la 4ª revolución industrial y se interrelacionan con el mundo físico a través de múltiples canales operativos. Internet de las Cosas (IoT) se caracteriza por la conexión generalizada de objetos a la red, lo que genera



un gran volumen de datos (Big Data) que pueden ser almacenados, procesados y analizados gracias a las capacidades actuales de los ordenadores y a la evolución de las técnicas de análisis de datos. Los sistemas ciber integran los procesos de fabricación y el comportamiento de los distintos componentes digitalmente mediante la incorporación de los denominados sistemas embebidos y el intercambio de datos por las redes (gracias a las prestaciones de las tecnologías de la comunicación).

Un elemento tecnológico clave en el mundo ciber son los sistemas embebidos, punto de partida de los sistemas inteligentes, que ejecutan autónomamente unas pocas funciones en tiempo real (microprocesadores, interfaces, *software*). En general son tecnologías desarrolladas y utilizadas masivamente en la vida cotidiana por los ciudadanos (electrodomésticos, domótica, imagen y sonido, etc.) y uno de los resultados del desarrollo de la 3<sup>era</sup> revolución industrial<sup>9</sup>, aunque son básicos para la evolución y el progreso de la 4<sup>a</sup>.

Todos los agentes involucrados en la 4<sup>a</sup> revolución industrial son conscientes que la tecnología es fundamental, pero también que es imprescindible que esté conectada a la red en cualquier caso teniendo en cuenta las expectativas y las

previsiones de evolución de internet. Por ello no sólo deben conocer y resolver las dificultades técnicas que implica conectarse y operar conectado, sino también participar en la definición y desarrollo de los estándares del futuro<sup>10</sup>. Así resulta imprescindible identificar los indicadores, operativos y de calidad, industriales tradicionales (normas ISO y demás estándares reconocidos en la industria) con los provenientes del mundo Internet, gestionados por la IETF (*Internet Engineering Task Force*). Los estándares de Internet (reglas de cómo deben funcionar las cosas en la red) son públicos y pueden ser utilizados sin coste, su adopción es voluntaria, aunque son inevitables porque con ellos funciona Internet.

Un segundo aspecto que materializa la relación ciber-física es el binomio automatización-simulación. La automatización se consigue mediante el control de



los objetos físicos a través de productos de *software*. La simulación es el traslado de objetos reales al mundo virtual, donde se puede experimentar alterando las reglas de funcionamiento sin ningún riesgo físico. Estas cuestiones pueden parecer contradictorias, pero configuran un círculo virtuoso que se retroalimenta<sup>11</sup>.

La simulación puede experimentar simultáneamente con varios modelos



físicos (multi-física) y se enriquece con la variante emulación, que es algo más pues añade los ingredientes necesarios para poder sustituir alguno de los elementos del conjunto simulado. Todo ello ha experimentado un notable impulso en muchos sectores industriales, sobre todo en aquellos donde la producción está más estandarizada y masificada (ingeniería del *software*, de los servicios tecnológicos, muchos procesos de fabricación industrial, etc.), pero tiene dificultades para implantarse en otros que desarrollan sus productos y actividad bajo una perspectiva diferente, más próxima a los prototipos (agricultura, ingeniería civil, etc.).

En cualquier caso, estos matices encajan perfectamente con las pretensiones de la Industria 4.0 que quiere dar respuesta tanto a las producciones en grandes lotes (resuelto por la 2ª revolución industrial, pero con mucho margen de mejora) como en pequeños, llegando incluso de una sola unidad (Integración Vertical<sup>8</sup>). La Industria 4.0 pretende además generar cadenas de valor globales como antídoto contra las deslocalizaciones provocadas por la globalización de la producción durante la 3ª revolución industrial<sup>9</sup>.

## EL INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS: LOS MUNDOS CIBER Y FÍSICO

Para el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos el mundo ciber es un gran desconocido profesionalmente, en parte debido a una formación y desarrollo profesional muy analógico, pero también porque

hasta ahora ha formado parte más del conjunto de instrumentos de operación que del cuerpo principal de la actividad. En este contexto es necesario asumir que el pensamiento digital tiene cada vez más importancia, es una forma nueva de acercarse, de ver, de poder profundizar y actuar en la complejidad del mundo y por tanto a la actividad del ingeniero no sólo desde el punto de vista técnico, tecnológico y profesional sino también y especialmente ciudadano y social.

La introducción de la tecnología en la vida cotidiana de los ciudadanos y de la sociedad está facilitando visiones nuevas de la actividad tradicional que se denominan genéricamente como *smart* (*more innovative, intelligent, individual*), que más allá de las exageraciones propias del momento, ponen en un primer plano las competencias y competitividad del mundo digital. En cualquier caso, la tecnología permite abordar los problemas físicos con mayor profundidad, y paradójicamente de forma más flexible, multidimensional y multifacética tanto en relación con los actores o dominios claves como en la eficiencia y utilización de la técnica y los recursos. Se podría afirmar que el mundo ciber está influyendo tanto, que está incluso cambiando el mundo físico (de lo natural a lo artificial), o al menos las reglas y leyes que rigen su comportamiento y evolución (por ejemplo, la ciudad ya no se rige por los principios del urbanismo sino por la sostenibilidad y la calidad de vida de los ciudadanos).

En este contexto los descriptores que han cualificado durante mucho tiempo, y todavía identifican social y profesional-

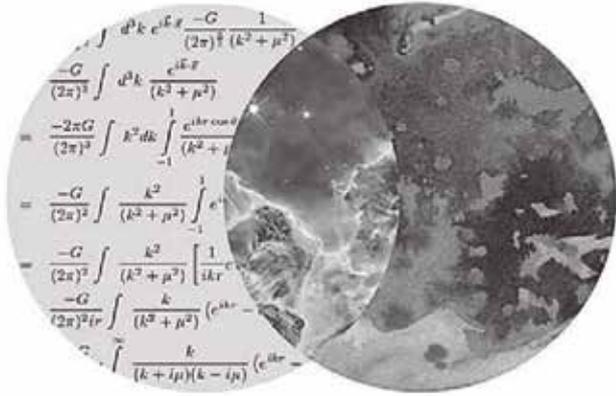
mente al Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, se alejan poco a poco, pero día a día de su actividad real. Transporte, Logística y Movilidad, Recursos, Sostenibilidad y Cambio Climático o Bienestar, Compromiso Social y Calidad de Vida constituyen alguno de los nuevos ejes estratégicos sobre los que tiene que desplegar su actividad profesional el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Todos ellos muy interrelacionados con el mundo ciber, hasta el punto que no se podrán abordar con la eficacia debida sin conocer el qué, porqué, paraqué y el cómo de la tecnología y sus tendencias (Big Data y Realidad Virtual, Inteligencia Artificial y Robótica Industrial, y muchas cosas más)<sup>7</sup>. En cualquier caso, lo más importante es el conjunto de atributos que crecen alrededor del mundo digital que hacen posible una nueva forma de ver, analizar, sintetizar, razonar, cuestionar, reflexionar, intuir, crear o incluso de vivir la vida cotidiana.

La actividad profesional del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos ha sido en general muy individualista, o en el mejor de los casos muy jerarquizada y ejecutada por equipos disciplinares muy corporativos y cerrados. El trabajo en red abre unas nuevas perspectivas, facilita la interdisciplinariedad, el trabajo colaborativo y el uso generalizado de la tecnología, además de poder conocer mejor (redes sociales y demás medios de comunicación) las necesidades de los ciudadanos y de la sociedad. Los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos sin perder la dimensión intelectual que les caracteriza, individual y colectivamente, tienen que integrarse en las nuevas corrientes sociales, y desarrollar una ingeniería para todos los ciudadanos, una ingeniería útil, pertinente, eficiente y con un coste razonable, sin que ello vaya en detrimento de sus compromisos con la técnica y la calidad y seguridad.

## EL MODELO STEM-STEAM

STEM es un modelo educativo que responde al acrónimo de Science, Technology, Engineering and Mathematics.





Pretende aprovechar las similitudes y puntos comunes de las cuatro disciplinas para desplegar un proceso de enseñanza-aprendizaje con un enfoque interdisciplinario, incorporando contextos y situaciones reales de la vida cotidiana, y utilizando las herramientas tecnológicas más pertinentes. El modelo nace y se desarrolla en el contexto de la educación escolar, se extiende con rapidez por el mundo y penetra con fuerza en la formación universitaria.

El modelo STEM ha ido evolucionando, influenciado por la filosofía *maker* y los movimientos *do-it-yourself*, así como con el pensamiento creativo, y el trabajo basado en competencias y demás actividades colaborativas, circulares y productivas. Además, está demostrado que cuando se incluyen en la formación habilidades artísticas y creativas se ponen en valor algunos aspectos importantes de los individuos como por ejemplo la innovación y el diseño, el desarrollo de la curiosidad y la imaginación o la búsqueda de soluciones diversas a un problema único. Es por ello que de forma natural se ha producido la transición del modelo STEM al STEAM, que incluye la A de Arts y, por tanto, incorpora contenidos y actividades artísticas<sup>13</sup>.

En cualquier caso, es necesario tener en cuenta que el modelo STEM, o su extensión STEAM, proviene del mundo anglosajón donde la percepción, visión y alcance de las disciplinas de referencia es muy diferente a la que se puede tener en la cultura educativa continental europea (sobre todo universitaria). Por tanto, la aplicación del modelo STEAM de forma eficiente en Europa, o en España, precisaría de un cambio de mentalidad

no sólo en relación con los contenidos y conocimientos sino también de los profesores, los procesos y metodologías; en definitiva, en la forma como se hacen llegar y asimilan las diferentes disciplinas los estudiantes.

### ¿PORQUÉ EL MODELO STEM-STEAM?

Para poder afrontar los retos que plantean los sistemas productivos son necesarios profesionales coherentemente formados en ciencias y tecnología; pero las empresas no encuentran titulados con los perfiles requeridos, entre otras cosas porque los sistemas educativos están pendientes de transformaciones que no se están produciendo al ritmo que exige la producción mundial. La demanda de profesionales con perfil STEM se incrementará en Europa un 14 % hasta el año 2020 (el resto tan solo crecerá un 3 %, según el Centro Europeo para el Desarrollo de la Formación Profesional). Así hasta el año 2020 hará falta cubrir en Europa un millón de puestos de trabajo con perfiles laborales científicos y tecnológicos, aunque en España según los últimos datos de EUROSTAT solo el 1,5 % de los graduados entre 20-29 años tiene una formación STEM.

En los últimos tiempos las universidades están sufriendo un descenso en la demanda de estudios STEM, en parte porque las carreras son las más caras del sistema y por la mayor dificultad de los estudios<sup>3</sup>. Como consecuencia de ello el número de graduados STEM está teniendo en España (según Randstad Research) una evolución negativa (69.113 en 2016, 57.261 en 2021). En la Unión Europea la tasa de graduación STEM

es baja, pero está mejorando (1,9 % de los graduados de 20 a 29 años en 2014 frente a 1,7 % en 2012). La complicidad de la industria a la hora de establecer iniciativas para fomentar entre los jóvenes vocaciones científico-técnicas es escasa, e incluso en muchos ámbitos tiene problemas para desplegar una formación complementaria específica para capacitar y adecuar las competencias laborales de sus empleados a los perfiles híbridos necesarios, de forma que máquinas y automatismos refuercen el trabajo de las personas en lugar de debilitarlo.

Además, según la Comunidad Europea, España es uno de los países más amenazados por la cuarta revolución industrial porque, como indica el Índice de Economía y Sociedad Digital (DESI) de 2017, va muy rezagada en las habilidades digitales básicas. De hecho, ocupa el puesto número 15 en el ranking de los 28. Y no solo eso, el país figura en la posición 21 por la cantidad de especialistas en tecnologías de la información y comunicaciones. España avanza en muchos de los apartados de la Agenda Digital Europea, pero no en las cualidades digitales de su capital humano (habilidades necesarias para aprovechar las posibilidades que ofrece la sociedad digital) donde retrocede respecto a 2016 y se sitúa por debajo de la media.

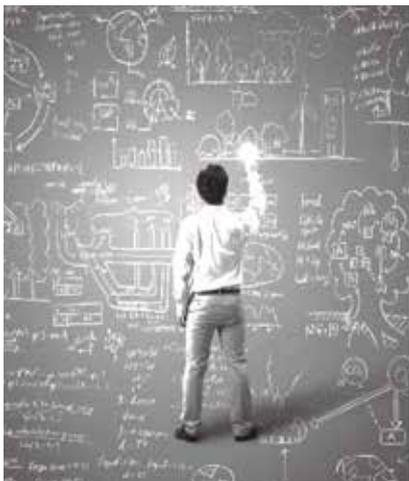
### UNA OPORTUNIDAD PARA EL INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

¿Sería aplicable el modelo STEM-STEAM a la formación del ingeniero de Caminos, Canales y Puertos? Seguramente muchos profesores, gestores académicos

e incluso profesionales dirían, o tienen la sensación de, que la formación actual ya lo es. Sin embargo, es necesario reconocer que existe un claro desequilibrio entre las cinco disciplinas de referencia del modelo, especialmente en todo aquello relacionado con la Tecnología, el Pensamiento Digital y el Arte, y que los contenidos, competencias y actividades en los currículos actuales son testimoniales, por no decir que inexistentes.

El atributo más adecuado para identificar al ingeniero de Caminos, Canales y Puertos debería seguir siendo el talento (inteligencia, aptitud, capacidad para desarrollar una actividad), cuestión que durante mucho tiempo ha estado directamente relacionada con el conocimiento y los saberes (tenía talento quien sabía o pensaba mucho). El talento es hoy más complejo de valorar y definir (y no sólo es éxito) y, simplificando los distintos elementos y conceptos que recoge, se puede afirmar que es una combinación de cuatro ingredientes estratégicos básicos: inteligencia, emoción, innovación y creatividad en proporciones variables según el ámbito de actividad, incluso cuantitativa o cualitativamente.

En todo caso, concebidos y desarrollados con un pensamiento y bajo una perspectiva digital (el pensamiento digital es disruptivo con las ideas y su viabilidad práctica, y por tanto está cambiando los paradigmas del talento). En este contexto pocas universidades en el mundo han reformulado sus estudios de ingeniería civil y medio ambiente (denominación generalizada en los países desarrollados) dándoles mayor alcance y amplitud de



**MIT**  
Civil and Environmental Engineering

## Big Engineering

MIT CEE is big engineering. Here you will learn how to understand the Earth's biomes; design benign materials and structures; model air, water and climate; discover new energy resources; develop quantitative systems thinking to understand and design complex infrastructure; and build sustainable infrastructure and cities.

Emphasizing the use of emerging technologies, you can focus your studies to build on the tools of the large data, computation and coding, probability and data analysis, and learn how to combine theory, experiment and modeling to understand and solve complex problems. With these tools and the experience that an MIT education provides, our students are ready to build the future.

<https://cee.mit.edu/undergraduate/>

**MIT**  
Civil and Environmental Engineering

## Degrees Offered

We offer advanced Master's and Doctoral degrees within the areas of environmental chemistry; environmental fluid mechanics; environmental microbiology; hydrology and hydroclimatology; networks, systems and computation; materials, structures and geomechanics; and supply chain and logistics.

<https://cee.mit.edu/graduate/>

miras, integrándola en los nuevos paradigmas sociales y orientándolos hacia una nueva dimensión del talento<sup>12</sup>.

El Massachusetts Institute of Technology (MIT) lidera estas tendencias e integra los nuevos enfoques en sus estudios de Ingeniería Civil. Presenta y promociona sus estudios de grado como BIG ENGINEERING y los relaciona con la dimensión bioclimática de la tierra, el diseño amigable de materiales y estructuras, la modelización del aire, el agua y el clima, las nuevas fuentes de energía, el desarrollo de sistemas inteligentes para comprender, diseñar y construir mejor infraestructuras complejas o ciudades sostenibles. Sin que ello signifique una verdad incuestionable, esta reflexión estratégica del MIT establece algunos hitos importantes: una ingeniería civil y medioambiental pensando en GRANDE y muy interrelacionada con los problemas que afectan al planeta y a la sostenibilidad de la vida de sus ciudadanos.

Explícitamente el MIT hace énfasis en el uso de las tecnologías emergentes y focaliza los estudios en el desarrollo de herramientas asociadas con la información y los datos, la computación y programación, la probabilidad y las nuevas técnicas de análisis, con un aprendizaje basado en la combinación de teorías, experimentos y modelos para compren-

der, y resolver mejor, problemas cada vez más complejos. Es decir, introduce en la formación dos ejes básicos en la 4ª revolución industrial, la tecnología y el pensamiento digital y los modelos y la simulación (realidad y virtualidad). Para remarcar el carácter STEAM, el MIT introduce en los currículos académicos contenidos relacionados con las ciencias, el arte, las humanidades, las ciencias sociales y la comunicación además de requisitos específicos de matemáticas, tecnología y diseño, así como de la propia ingeniería civil; en todo caso en un contexto digital bien establecido.

El MIT y su departamento de Ingeniería Civil y Medioambiente promueven una formación de carácter generalista en los estudios de grado, con independencia de las distintas orientaciones e itinerarios que ofrece, en los que profundiza posteriormente con másteres muy específicos, en cualquier caso, manteniendo una filosofía y un perfil profesional disruptivo y digital.

La ingeniería de Caminos, Canales y Puertos necesita reformularse y puede hacerlo mirando hacia atrás reivindicando una formación larga (másteres integrados) para unos pocos, analógica y abstracta, muy centrada en los contenidos y saberes, con unos perfiles profesionales muy alineados con los intereses

de las empresas del sector más que con las necesidades de los ingenieros, sobre todo de los más jóvenes que tienen dificultades para encontrar trabajo. Pero no sería lo más inteligente, será necesario buscar nuevas fórmulas que permitan desarrollar las capacidades de pensar y razonar, de gestionar el conocimiento y la actividad usando las herramientas tecnológicas típicas de los sectores productivos más competitivos (según Steve Jobs programar estimula la creatividad y ayuda a pensar; seguramente por ello el MIT lo incorpora a sus estudios de grado en Ingeniería Civil).

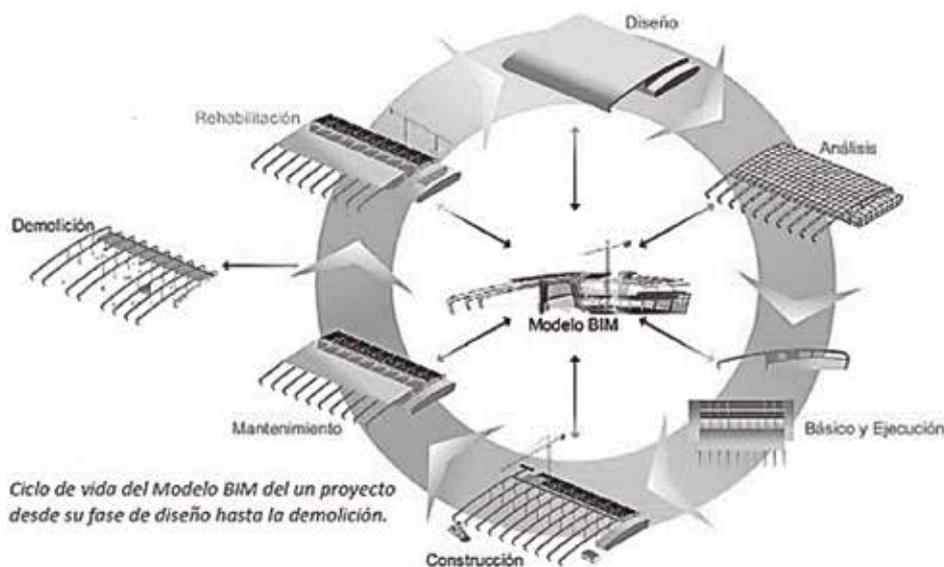
Las instituciones y organismos más tradicionales del sector<sup>7</sup> (administración, empresas, profesionales y algunos agentes sociales y proveedores de formación) están potenciando el uso de BIM (*Building Information Modeling*) como una herramienta tecnológica clave para mejorar la competencia, pero en realidad BIM forma parte de unas estrategias nuevas de trabajo colaborativo y digital,

y constituye una primera manifestación en la práctica profesional de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de los principios básicos de la 4ª revolución industrial, interrelacionando los mundos ciber y físico con la estandarización y la simulación (emulación)<sup>9</sup>.

El mundo del software y de los productos digitales es muy competitivo y para sobrevivir las empresas del sector han desarrollado, durante muchos años, marcos de referencia y metodologías de gestión ágiles (*Agile Management*, *Scrum Manager*, etc.), especialmente útiles para desarrollar la actividad en los entornos complejos donde se mueven, con equipos multidisciplinares que se organizan con gran autonomía, donde se necesita tener resultados pronto, dónde los requisitos no están bien definidos o sufren cambios importantes durante la ejecución de los proyectos y dónde la innovación, competitividad, flexibilidad y la productividad son fundamentales; ¿encajarían todos estos condicionantes con

la práctica profesional de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos?

La respuesta es claramente afirmativa, pero en cualquier escenario todas esas cuestiones no deberían debilitar la formación STEAM de referencia. Por ello se podrían abordar incidiendo directamente sobre el proceso formativo, que sin lugar a dudas incluye todos los ingredientes de complejidad que justifican una gestión más compleja que la tradicional (constituyen la base conceptual de la metodología de Aprendizaje Basada en Proyectos, PBL). Posiblemente la mejor forma de compatibilizar todos estos asuntos sería que profesores y estudiantes gestionen el conocimiento, los contenidos, las metodologías, los procesos de aprendizaje y demás actividades conjuntamente y con las mismas herramientas que utilizan los ingenieros en la práctica para desarrollar su actividad profesional (no la actual sino la más que previsible futura en el contexto de la 4ª revolución industrial). ☞



## NOTAS

(1) ANDERSON C. (2012), The new industrial revolution. Crown Publishing Group. Reino Unido

(2) COMISSIÓ INDUSTRIA 4.0 D'ENGINYERS DE CATALUNYA (2016), Indústria 4.0 Status Report. Document de Treball. España

(3) EVERIS (2012) Factors influents en l'elecció d'estudis científics, tecnològics i matemàtics. Visió dels estudiants de 3º y 4º d'ESO y Batxillerat. Amb la col·laboració de la Generalitat de Catalunya.

(4) GERSHENFELD N. (2005), Fab: The coming revolution on your desktop - from Personal Computer to Personal Fabrication. Basic Books, Inc. USA

(5) KAGERMANN H.; WAHLSTER W. & HELBIG J. (2013), Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final Report of the Industry 4.0 Working Group. Alemania

(6) MENABREA L. F. (1842). The analytical engine invented by Charles Babbage. Scientific Memoirs published by Richard Taylor. Reino Unido

(7) MINETUR (2015), Industria conectada 4.0. La transformación digital de la industria española. Ministerio de Industria y Energía. España

(8) RIFKIN J. (2011), The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world. St. Martin's Press. USA

(9) RIFKIN J. (2014), The zero marginal cost society: the internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism. St. Martin's Press. USA

(10) France SCHWAB K. (2016), The fourth industrial revolution. World Economic Forum. Alemania

(11) SIFAKIS, J. (2011), A vision for computer science - the system perspective. Central European Journal Computational Science. Francia

(12) SUÁREZ B., OÑATE E. (2013), Un acercamiento a la complejidad del mundo con los números. El año de Turing, Blog de El País. España

(13) TUGBA A., BONORDEN S. , CAPRARO R. M., CAPRARO M. M. (2016). From STEM to STEAM: Students beliefs about the use of their creativity. The STEAM Journal. USA