

# INDUSTRIA 4.0: LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Alberto Sols

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño  
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

La cuarta revolución industrial está transformando el mundo profesional con un alcance, velocidad y amplitud nunca vistos hasta ahora. A diferencia de las tres primeras revoluciones industriales, ésta cuarta (también conocida como industria 4.0) se apoya en un amplio conjunto de tecnologías de amplio poder disruptor que, debido además a su concurrencia, dan lugar a importantes efectos emergentes. Este artículo expone los orígenes de esta revolución industrial y analiza tanto las principales tecnologías que la posibilitan como los más importantes beneficios que de ella se derivan. Por último, se abordan los retos y los riesgos más relevantes.

---

## PALABRAS CLAVES •

revolución, industrial, tecnología, retos, riesgos

## CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

Sols, Alberto. 2020. "Industria 4.0: La cuarta revolución industrial" en: UEM STEAM Essentials

Enlace web UEM :: [http://projectbasedschool.universidadeuropea.es/escuela/escuela/steam\\_essentials](http://projectbasedschool.universidadeuropea.es/escuela/escuela/steam_essentials)

---

## INTRODUCCIÓN

El censor romano Appius Claudius Caecus escribió hace 2.300 años su serie de *sententiae*, en la que se incluía el famoso *faber est suae quisque fortunae* (cada uno es artífice de su propio destino). Se refería al ser humano como el *homo faber*, el que fabrica. La especie humana se caracteriza por su capacidad de concebir, fabricar y utilizar artefactos, que han evolucionado desde primitivas herramientas y utensilios, a familias de sistemas de extraordinaria complejidad. Lo que el ser humano diseña puede recibir múltiples nombres: instalaciones, productos, servicios, procesos, equipos, sistemas, etc. El término *sistema* sirve para designar, genéricamente, algo diseñado y desarrollado por el ser humano con un determinado fin. Existen muchas definiciones de *sistema*, pero todas tienen en común la mención a un conjunto de elementos que trabajan de forma conjunta, con adecuadas inter-relaciones entre ellos, para alcanzar un objetivo definido. Desde la noche primigenia el ser humano ha fabricado objetos, desde rudimentarias armas para cazar animales, a los complejíssimos vehículos que, tras haber viajado algo más de medio año por el espacio,

recorren en la actualidad la superficie del planeta Marte y toman innumerables datos que envían a la Tierra; todos ellos pueden, conceptualmente, ser denominados *sistemas*, aunque en ciertos casos será más frecuente hablar, por ejemplo, de productos o de equipos.

La primera revolución industrial consistió en la mecanización facilitada por el uso del agua y del vapor de agua como fuentes de energía. La segunda revolución industrial se caracterizó por las líneas de montaje y la fabricación en serie, posibilitada por el uso industrial de la electricidad. Los ordenadores y la automatización fueron los elementos clave de la tercera revolución industrial. El término *Industria 4.0* fue acuñado en la Feria de Hannover en 2011, para referirse a las fábricas inteligentes que hacían uso de tecnologías digitales para ganar en eficacia y competitividad, revolucionando las cadenas de suministro. La Industria 4.0 implica la completa digitalización de productos y procesos a lo largo de la cadena de suministro, incrementado el valor para los usuarios de productos y servicios. La cuarta revolución industrial se caracteriza por los sistemas inteligentes y autónomos gracias a los grandes volúmenes de datos

que pueden manejarse y a los algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*); es la era de la hiperconectividad y los sistemas ciberfísicos. Hay tres aspectos en los que esta cuarta revolución industrial se diferencia de las anteriores de manera sustancial. En primer lugar, aunque la implantación de todas ha sido gradual, el ritmo al que la industria 4.0 se está afianzando en todos los sectores industriales y profesionales es sensiblemente superior al de las primeras tres revoluciones industriales; la velocidad a la que se desarrollan, maduran y se adoptan nuevas tecnologías es cada vez más vertiginosa. En segundo lugar, la utilización de sistemas inteligentes y autónomos y el tratamiento de grandes volúmenes de datos para generar inteligencia que mejore la toma de decisiones es ubicua. En ese sentido, el alcance de los cambios motivados por la cuarta revolución industrial, que afecta prácticamente a la totalidad de los sectores industriales, se manifiesta en todos los entornos. No hay ámbito que se mantenga inmune a esta nueva revolución industrial. En tercer y último lugar, la capacidad disruptiva de la industria 4.0 es ya una realidad en múltiples sectores, en los que tanto productos como procesos han sido no evolucionados, sino revolucionados. El impacto de esta revolución va mucho más allá que el de las predecesoras.

Diversos autores han abordado la esencia y características de esta revolución industrial. Uno de los pioneros habló de la tercera revolución industrial, aunque la que describió es en esencia la que ahora se denomina industria 4.0 (Rifkin, 2013). El fundador del Foro Davos escribió un importante ensayo sobre esta nueva revolución industrial (Schwab, 2017). Otros autores han hecho también contribuciones relevantes sobre su naturaleza y sus diferencias con las anteriores. (Aitken, 2017; Chen, 2017; Greengard, 2015; Hofmann & Rüschi, 2017; Lasi, Peter, Thomas, & Hoffmann, 2014; Lee, Bagheri, & Kao, 2015; Rodal Montero, 2020; Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015; Xu, Xu, & Li, 2018; Yañez Brea, 2017). Existen ya numerosas aplicaciones de éxito que han sido documentadas, describiendo el estado del arte en distintas industrias (Cheng, Liu, Qiang, & Liu, 2016; Haag & Anderl, 2018; Lee et al., 2015; Li, Xu, & Wang, 2012; Liu et al., 2016; Moghaddam & Nof, 2018; O'Donovan, Gallagher, Bruton, & O'Sullivan, 2018; Panda, Mishra, & Ratha, 2016; Scurati et al., 2018; Tao, Wang, Zuo, Yang, & Zhang, 2016)

---

## Los beneficios de la Industria 4.0

La sociedad se caracteriza por una complejidad creciente de los retos y problemas, que tienen dimensiones técnicas, económicas, medioambientales, éticas, socioculturales y legales, entre otras. La hiperconectividad de la sociedad actual hace que las relaciones causa-efecto sean cada vez más difíciles de detectar tanto en el tiempo como en el espacio. Para resolver un problema o satisfacer una oportunidad o necesidad detectada es necesario primero definirla correctamente, y esa multidimensionalidad e hiperconec-

tividad hacen más difícil que nunca entender y definir esos retos, problemas, necesidades u oportunidades. La industria y el mundo profesional en general necesitan ser más competitivos, eficaces y eficientes que nunca, y la cuarta revolución industrial ofrece una extraordinaria oportunidad de satisfacer esos objetivos. En concreto, permite: aumentar de forma notable la capacidad de la industria a través de la integración de sistemas ciberfísicos en los procesos de diseño, fabricación y apoyo de los sistemas, lo que se traduce en:

**a » Personalización extrema.** Hacer viable la demanda de versiones muy particularizadas de un conjunto amplio de productos a los clientes (*high mix, low volumen*), con tiempos de respuesta muy cortos. Atrás quedaron los días del Ford T negro. La experiencia del usuario se ve reforzada con la personalización extrema de su producto, que es económica y técnicamente viable gracias a las tecnologías posibilitadoras de la cuarta revolución industrial.

**b » Servitización.** Es la posibilidad de ofrecer a los clientes servicios adicionales ligados a un determinado producto o sistema, gracias a la información que proporciona el producto o sistema sobre su estado y uso. La servitización puede requerir un acuerdo con el cliente sobre los datos que serán monitorizados y transmitidos.

**c » Fabricación en la nube.** Si en el ámbito de la computación se habla del *cloud computing* o computación en la nube para referirse al servicio bajo demanda de recursos de computación a través de una red (que normalmente es internet), se puede hablar de *cloud manufacturing* o fabricación en la nube cuando en lugar de usar recursos propios para fabricar se usan, bajo demanda, recursos ajenos disponibles al efecto.

**d » Pago por uso.** Uno de los paradigmas de la sociedad actual es la *gig economy* o economía colaborativa, en la que el usuario no es propietario de un producto o sistema, sino que hace el uso que necesita de ese recurso y paga por la cantidad de utilización. Hay innumerables plataformas de economía colaborativa en todos los sectores (alojamiento, ropa, juguetes, transporte, etc.)

**e » Integración horizontal.** Es la integración de los sistemas de tecnologías de la información empleados en diferentes fases de los procesos de planificación estratégica (recepción de materiales e inspección de calidad, producción, control de calidad y despacho, marketing, etc.) y entre diferentes empresas en las cadenas de suministro.

**f » Integración vertical.** Es la integración de los distintos sistemas de tecnología de la información a diferentes niveles jerárquicos (sensores y actuadores, cadena de producción, sistema de gestión de producción, etc.), para proporcionar una solución completa de principio a fin.

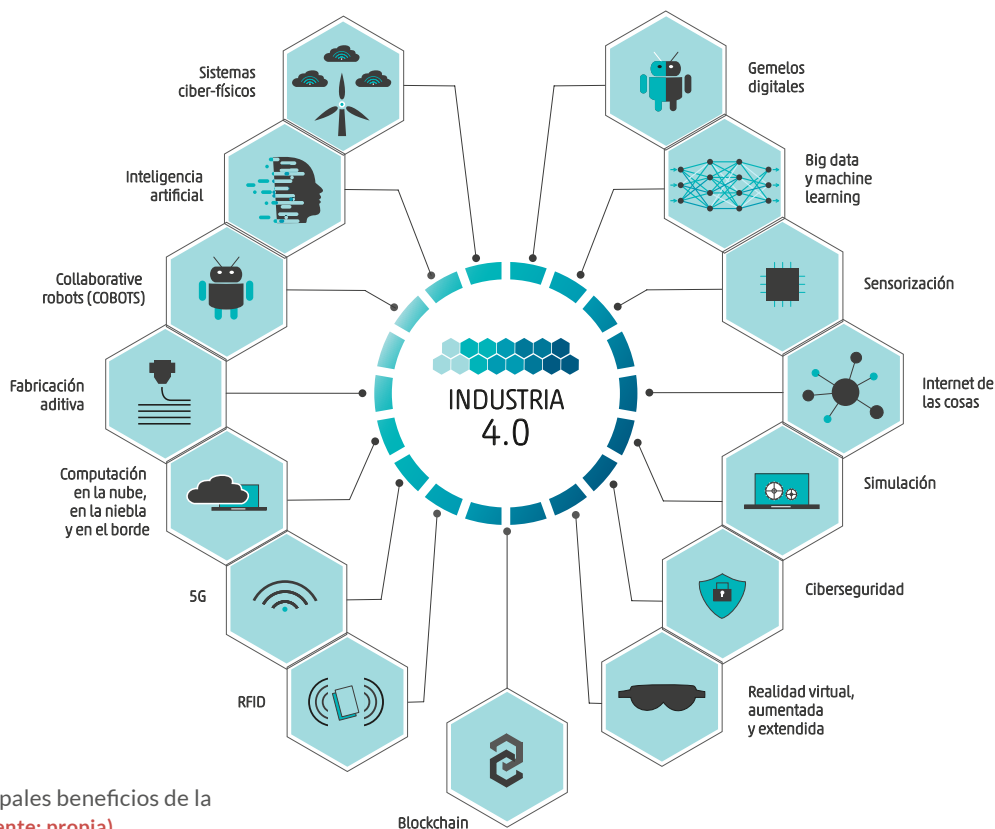


figura 01 » Principales beneficios de la industria 4.0 (Fuente: propia)

**g** » Mantenimiento proactivo. Todos los productos y sistemas se deterioran con el tiempo y con el uso, y necesitan mantenimiento para permanecer adecuadamente operativos. Tradicionalmente el mantenimiento era preventivo o correctivo, y en entornos más avanzados se realizaba el mantenimiento basado en la condición. La monitorización de parámetros críticos permite realizar un mantenimiento proactivo, adelantándose al propio deterioro inaceptable del producto o sistema.

**h** » Mejoras en productividad y en competitividad. Desde todas las perspectivas, la exigencia de ser eficaces y eficientes en la producción, y de ser competitivos, es cada vez mayor. Los usuarios de los sistemas siempre esperan más prestaciones y a menor coste; los propietarios de las empresas esperan mejores resultados económicos, de imagen y de satisfacción de los clientes.

**i** » Mejoras en el diseño de futuros sistemas. Con frecuencia los diseñadores tienen visibilidad limitada del comportamiento de sus sistemas. El acceso a información sobre su estado y comportamiento durante su vida operativa es extraordinariamente valioso para los diseñadores e integradores de sistemas, pues les permite terminar de validar la bondad de sus diseños. Esa realimentación es clave para hacer mejores sus futuros diseños.

Los nueve aspectos indicados son beneficios ya alcanzados, en mayor o menor medida. No obstante, es difícil aventurar cuáles son los límites de esta nueva revolución industrial, pues en muchos casos el verdadero potencial de las tecnologías posibilitadoras está por descubrir y porque al igual que ocurre en los sistemas de sistemas, nuevas tecnologías

pueden surgir e incorporarse a la constelación existente., generando nuevas capacidades emergentes.

### Tecnologías facilitadoras

Los espectaculares avances y resultados que pueden alcanzarse en la industria 4.0 son posibles gracias a la concurrencia de múltiples tecnologías, la mayor parte de ellas con extraordinaria capacidad transformadora. En ingeniería de sistemas se habla de los denominados sistemas de sistemas, que son familias de sistemas capaces de interactuar entre sí de tal manera que los usuarios de alguno de esos sistemas experimentan capacidades nuevas que ningún sistema es capaz de proporcionarles de manera aislada; son las denominadas capacidades emergentes. De manera análoga, hay muchas tecnologías hoy día de extraordinario potencial y capacidad disruptiva que, cuando se usan de manera concurrente, son capaces de producir una profunda transformación del sector industrial incapaz de ser generada por ninguna de esas tecnologías de manera aislada. Estas tecnologías son los elementos que posibilitan la Industria 4.0. Cada una de esas tecnologías está ya generando significativas mejoras en todo tipo de sistemas (productos y procesos); en conjunto dan lugar a la auténtica transformación digital de la industria. Estas son las principales tecnologías, mostradas en la **figura 01**, que permiten el desarrollo de la cuarta revolución industrial:

**1** » Sistemas ciber-físicos. Son dispositivos o mecanismos que están monitorizados y controlados por algoritmos, y que normalmente están integrados en un entorno de internet de las cosas (*internet of things*).

**2 »** Inteligencia artificial. John McCarthy acuñó en 1956 el término *artificial intelligence*, a partir del test de Alan Turing (prueba de la capacidad de una máquina para exhibir un comportamiento inteligente similar al de un ser humano), para denotar software que fuera capaz de emular las capacidades cognitivas del ser humano para aprender y resolver problemas.

**3 »** Gemelos digitales. El término *digital twin* fue acuñado por el Dr. Michael Grieves en 2002 en la presentación del Product Lifecycle Management Center de la Universidad de Michigan. Los *digital twins* son conjuntos de modelos o réplicas digitales de sistemas. El gemelo digital permite simular, experimentar y analizar el comportamiento del sistema, activo físico, proceso o producto, para optimizar su gestión. Se deben sincronizar la realidad física y la realidad virtual (el gemelo digital); el control de la configuración debe ser permanente y bidireccional.

**4 »** Sensorización. Los sensores son dispositivos que captan magnitudes físicas de su entorno. La ampliación del espectro de magnitudes que pueden ser medidas, junto con el abaratamiento de los sensores y la mejora de su fiabilidad, permiten monitorizar innumerables parámetros. Esa captura de datos es esencial para facilitar la toma de decisiones que ayuden a mejorar la efectividad de los sistemas.

**5 »** *Big data* y *machine learning*. *Big data* se refiere a grandes volúmenes de datos, en múltiples formatos, estructurados o no, que colectivamente proporcionan información en bruto sobre un dispositivo, sobre comportamiento humano, o cualquier otro aspecto de interés. Todas las actividades del ser humano, y muy en concreto las profesionales, dejan un rastro de datos que, convenientemente recogidos y analizados, facilitan enormemente la generación de conocimiento y la toma de decisiones. El *machine learning* (aprendizaje automático) es la capacidad de un algoritmo de aprender de manera continua y estructurada a partir de datos que representan la experiencia acumulada de su utilización. En la mayoría de los casos no se requiere la intervención humana para traducir el conocimiento tácito de la experiencia vivida en nuevo conocimiento explícito con el que programar el algoritmo; el algoritmo se perfecciona a sí mismo con la realimentación de su propia utilización.

**6 »** *Collaborative robots* (COBOTs). Los robots colaborativos son robots (normalmente un brazo articulado, aunque los hay también de dos brazos) capaces de interactuar físicamente con seres humanos en un entorno controlado. Los COBOTs tienen la capacidad de percibir lo que pasa en su entorno de trabajo (incluyendo las acciones de operarios) y de actuar en consecuencia. En los COBOTs son importantes, además de los sensores que permiten detectar presencia y comportamiento de seres humanos, la visión artificial para reconocer objetos y la inteligencia artificial

para aprender y perfeccionar de manera sistemática su comportamiento, gracias a la experiencia acumulada por el conjunto de COBOTs en uso.

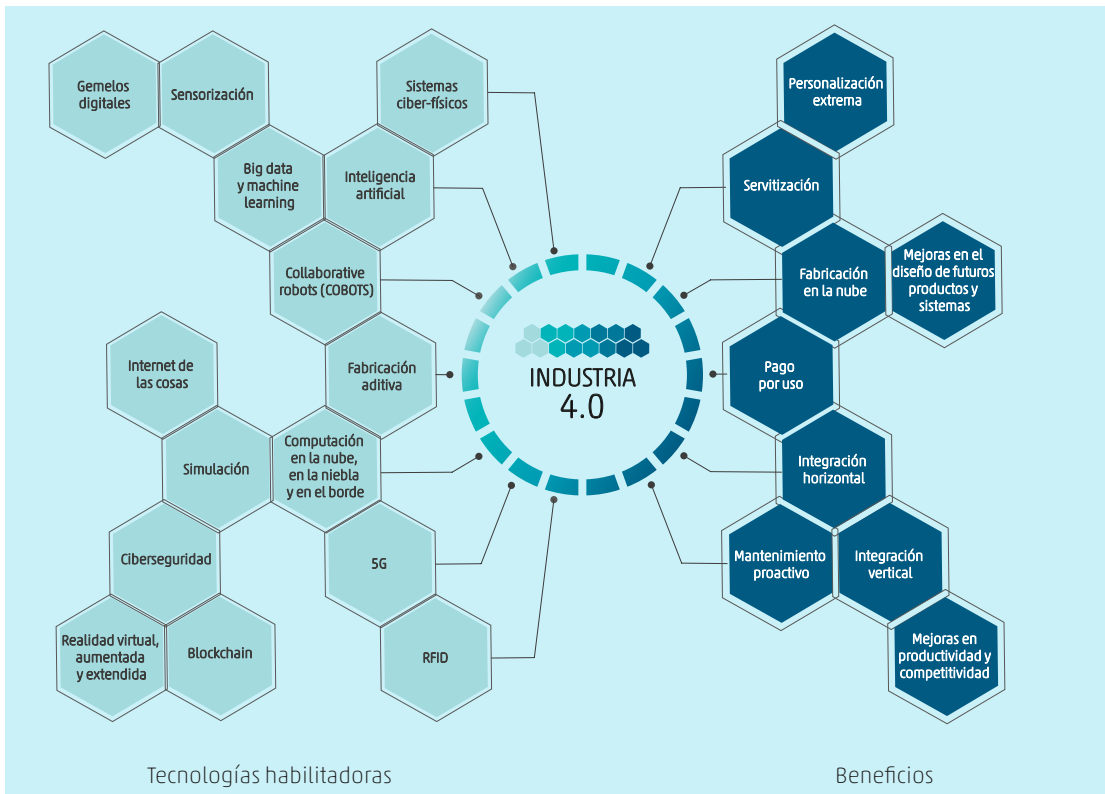
**7 »** Fabricación aditiva. La impresión 3D o *additive manufacturing* consiste en la fabricación de objetos por aporte de material. La tecnología de fabricación aditiva es conocida desde hace varias décadas, pero recientemente es cuando por coste y versatilidad se ha hecho ubicua. Se emplean tanto diferentes materiales (desde plástico a titanio, pasando por polvo y resinas) como procesos para unirlos (calor, laser, adhesivos, etc.). Permite fabricar dispositivos de geometría muy compleja.

**8 »** Simulación. Los modelos de simulación permiten una representación cada vez más fiel de la realidad que emulan, lo que facilita todas las actividades en el ciclo de vida de los sistemas, desde el diseño, a las actividades de producción y a las de retirada de servicio al final de la vida operativa, incluyendo la formación de usuarios y operadores de mantenimiento.

**9 »** Internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT). Dispositivos conectados han existido desde la aparición de las primeras redes de ordenadores, pero la aparición del iPhone (el primer *smartphone*) supuso comunicación masiva punto-a-punto y el inicio de lo que se conoce como internet de las cosas, que puede definirse como el conjunto de objetos o cosas que se conectan a internet y entre sí. Cada objeto o cosa número único de identificación y una dirección *Internet Protocol* única (ahora, en la nueva IPv6 que permite la identificación de un número casi ilimitado de objetos). La consultora McKinsey hablaba en 2010 del internet de los objetos para referirse a sensores y actuadores incrustados en objetos físicos, conectados mediante redes que usan el *Internet Protocol*.

**10 »** Computación en la nube, la niebla y el borde. La computación en la nube (*cloud computing*) es el ofrecimiento de servicios de computación a través de una red (normalmente, internet), bajo demanda y con pago por uso. Cuando esos recursos de computación se encuentran directamente vinculados a los sensores y dispositivos que generan los datos, o en redes conectados a ellos, se habla respectivamente de computación en el borde (*edge computing*) o computación en la niebla (*fog computing*). La cercanía de esos recursos de computación disminuye el tiempo requerido para desplazar tanto los datos como el resultado y recomendaciones de las técnicas de analítica predictiva.

**11 »** Realidad virtual, aumentada y extendida. La realidad virtual es una representación de la realidad mediante la creación de un entorno de escenas u objetos de apariencia real, creados informáticamente. La realidad virtual suprime a la real, y el usuario puede sumergirse en ella para aprender y experimentar. En la realidad aumentada se da un



**figura 02** » Principales tecnologías habilitadoras y beneficios de la Industria 4.0. (Fuente: propia)

paso más y a la recreación del mundo real se le superpone información relevante sobre lo que el usuario ve o hace, lo que aumenta el valor de su experiencia. La realidad mixta consiste en añadir al mundo físico que percibimos con nuestros sentidos lo que la realidad virtual y aumentada ofrecen. Las aplicaciones son innumerables, pero destacan el uso en tareas de formación de operadores y como apoyo a la realización de todo tipo de tareas, incluyendo las de mantenimiento.

**12** » 5G. La quinta generación de tecnologías de telefonía móvil se conoce como 5G. Se diferencia de las anteriores en una mayor velocidad de transmisión de datos, una mayor capacidad de conexión de múltiples usuarios, y una menor latencia (tiempo de respuesta). Dada la ingente cantidad de datos que gracias a los sensores pueden capturarse para monitorizar aspectos críticos del estado y funcionamiento de los sistemas, la transmisión de esos datos es crucial para el éxito de la industria 4.0.

**13** » *RFID*. *Radio Frequency Identification (RFID)* o identificación por radiofrecuencia es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa etiquetas para transmitir la identidad del objeto al que van ligadas. Las etiquetas pueden ser pasivas (no tienen alimentación eléctrica propia y son activadas por el dispositivo interrogador, al que responden) o activas (disponen de alimentación propia y emiten su identificación sin necesidad de ser interrogadas).

**14** » *Blockchain*. La cadena de bloques o *blockchain* es un sistema con el cual se pueden hacer transacciones seguras entre personas en todo el mundo sin necesidad de intermediarios. Es como un gran libro contable en el que se

registran transacciones, que son múltiplemente validadas; eso significa que no pueden luego alterarse registros.

**15** » Ciberseguridad. Es el conjunto de medios y recursos que permiten proteger los activos digitales de una organización. Los principios de la ciberseguridad son la confidencialidad (protección de la información contra el acceso no autorizado), la integridad (protección de la información contra modificaciones no autorizadas) y la disponibilidad (acceso fiable y en el momento requerido a los datos necesitados).

La **figura 02** muestra las principales tecnologías en las que se sustenta la cuarta revolución industrial, junto con los principales beneficios esperados. Más que existir una relación 1:1 entre las diferentes tecnologías y los beneficios o valor añadido, es la concurrencia del uso de las tecnologías la que genera un efecto emergente que se traduce en los diferentes beneficios esperados.

## Retos y riesgos

Si la Industria 4.0 es una iniciativa con un potencial extraordinario, no son menos significativos los retos que conlleva. Es necesario prestarles adecuada atención para abordarlos y resolverlos de manera razonable; de lo contrario, la cuarta revolución industrial no llegará a desplegar todo su potencial y, lo que es peor, podrá generar efectos indeseados. Los principales retos que deben ser tenidos en cuenta se resumen en la **Tabla 01**; la **Tabla 02** recoge los principales riesgos asociados a la industria 4.0.

<b>VISIÓN DE CONJUNTO</b>	La hiperconectividad de personas y sistemas, la concurrencia de múltiples tecnologías disruptoras y sus efectos emergentes, y la separación temporal y espacial de causas y efectos, hace que sea más necesaria que nunca la visión holística o de conjunto para gestionar esta cuarta revolución industrial y materializar con éxito las posibilidades que brinda.
<b>CONTINUA FORMACIÓN DE LOS PROFESIONALES</b>	Es cada vez mayor la velocidad a la que las nuevas tecnologías se desarrollan, maduran, se vuelven obsoletas y son reemplazadas por otras nuevas. Eso requiere una continua formación de los profesionales, que deben actualizar sus conocimientos de manera continua y sistemática, para poder seguir aportando valor. De poco sirven nuevas tecnologías si los profesionales que deben usarlas no poseen adecuada formación y destreza en ellas.
<b>SISTEMAS HEREDADOS</b>	Muchas empresas tienen antiguos sistemas de tecnologías de la información que no están preparados para adaptarse a un entorno digital que busca integración en la empresa y a lo largo de la cadena de suministro. No todos los sistemas heredados podrán ser fácilmente adaptados (en sentido tanto técnico como económico) y las inversiones necesarias en nuevos sistemas no estarán, al menos a corto plazo, al alcance de muchas pequeñas y medianas empresas. El verdadero poder de la Industria 4.0 radica en un nivel muy elevado de integración, que para algunos sistemas heredados podrá ser inviable técnica y/o económicamente.
<b>ESCALABILIDAD</b>	Algunas tecnologías están mostrando un potencial extraordinario, pero para que la industria 4.0 despliegue todo su potencial es necesario que algunas de las aplicaciones que se van implantando sean realmente escalables y aplicables a gran escala. A medida que más sistemas se van conectando, la viabilidad de algunas soluciones puede verse comprometida; es necesario asegurar la adecuada escalabilidad.
<b>CIENCIA DE DATOS</b>	La enorme cantidad de dispositivos conectados y la cantidad de parámetros monitorizados de cada sistema supondrá ingentes cantidades de datos tomados en tiempo real. Para que sean de utilidad en la toma de decisiones será necesario analizarlos, lo que requiere el desarrollo de técnicas de analítica predictiva basada en big data.
<b>INSUFICIENTE ESTANDARIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS</b>	Internet de las cosas es un red muy heterogénea, en la que se necesita mucha más estandarización en aplicaciones y protocolos de comunicación para que se puedan alcanzar, a gran escala, las deseadas integraciones horizontal y vertical.

**tabla 01 »** Principales retos de la Industria 4.0

<b>SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN</b>	La hiperconectividad aumenta la vulnerabilidad, en todos los sentidos. La ciberseguridad es más importante y necesaria que nunca en el entorno de conectividad extrema que supone la industria 4.0. Es necesario impedir el acceso de terceros no autorizados tanto a los datos de los sistemas como a los sensores y a los dispositivos que controlan el funcionamiento de esos sistemas.
<b>PRIVACIDAD DE DATOS</b>	La captura masiva de datos de los sistemas presentará inevitables cuestiones sobre la propiedad de los datos y el derecho a la privacidad. Es necesario reconciliar la conveniencia de disponer de grandes cantidades de datos para su análisis y toma de decisiones,

**tabla 02 »** Principales riesgos de la Industria 4.0

---

## CONCLUSIÓN

La industria 4.0 está transformando el mundo empresarial y la sociedad con un alcance y profundidad nunca vistos hasta ahora. Las tres revoluciones industriales anteriores conllevaron profundos cambios en la sociedad, pero la transformación que está propiciando la industria 4.0 no tiene parangón. La simultaneidad de múltiples tecnologías disruptoras y las capacidades emergentes que surgen de su aplicación concurrente están permitiendo alcanzar ob-

jetivos hasta hace poco inconcebibles. Sin embargo, esta nueva revolución industrial no se sustenta sólo en las tecnologías que la posibilitan; es necesario que los profesionales estén adecuadamente formados, y que actualicen su formación y competencias de manera estructurada y sistemática durante su vida profesional, para que se alcance el verdadero potencial de esta revolución industrial.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- » Aitken, A. (2017). Getting Started with Industry 4.0. *Quality*, 56(5), 30-33.
- » Chen, H. (2017). Theoretical Foundations for Cyber Physical Systems - A Literature Review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2 (3): doi: 10.1142/S2424862215700130.
- » Cheng, G., Liu, L., Qiang, X., & Liu, Y. (2016, 24-26 June 2016). *Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing*. Paper presented at the 2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISA).
- » Greengard, S. (2015). *The Internet of Things*. Cambridge (MA), USA: The MIT Press.
- » Haag, S., & Anderl, R. (2018). Digital Twin – Proof of Concept. *Manufacturing Letters, February*, 64-66. doi:10.1016/j.mfglet.2018.02.006
- » Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.
- » Lasi, H., Peter, F., Thomas, F., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering, Vol. 6* (No. 4), 239-242.
- » Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A Cyber-physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, 3 (18-23).
- » Li, S., Xu, L. D., & Wang, X. (2012). Compressed Sensing based Signal and Data Acquisition in Wireless Sensor Networks and Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 9(4), 2177-2186. doi:10.1109/TII.2012.2189222
- » Liu, Y., Han, W., Zhang, Y., Li, L., Wang, J., & Zheng, L. (2016). An Internet-of-Things Solution for Food Safety and Quality Control: A Pilot Project in China. *Journal of Industrial Information Integration*, 3. doi:10.1016/j.jii.2016.06.001
- » Moghaddam, M., & Nof, S. Y. (2018). Collaborative service-component integration in cloud manufacturing. *International journal of production research*, 56(1-2), 677-691. doi:10.1080/0207543.2017.1374574
- » O'Donovan, P., Gallagher, C., Bruton, K., & O'Sullivan, D. T. J. (2018). A fog computing industrial cyber-physical system for embedded low-latency machine learning Industry 4.0 applications. *Manufacturing Letters*, 15, Part B. 139-142. doi:doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.01.005
- » Panda, A. R., Mishra, D., & Ratha, H. K. (2016). Implementation of SCADA/HMI system for real-time controlling and performance monitoring of SDR based flight termination system. *Journal of Industrial Information Integration*, 3, 20-30. doi:doi.org/10.1016/j.jii.2016.07.001
- » Rifkin, J. (2013). *The third industrial revolution : how lateral power is transforming energy, the economy, and the world* (1st Palgrave Macmillan pbk. ed. ed.). New York :: Palgrave Macmillan.
- » Rodal Montero, E. (2020). *Industria 4.0: Conceptos, tecnologías habilitadoras y retos*. Madrid: Ediciones Pirámide.
- » Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution* (First U.S. edition. ed.). New York :: Crown Business.
- » Scurati, G. W., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M., & Uva, A. M. (2018). Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0. *Computers in Industry*, 98, 68-79. doi:https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.001
- » Tao, F., Wang, Y., Zuo, Y., Yang, H., & Zhang, M. (2016). Internet of Things in product life-cycle energy management. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 26-39. doi:doi.org/10.1016/j.jii.2016.03.001
- » Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOn-Line*, 48 (3), 579-584. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143
- » Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, Vol. 56 (No. 8), 2491-2962.
- » Yañez Brea, F. (2017). *Las 20 tecnologías clave de la industria 4.0*. Poland: Amazon Fulfillment.

---

## BIOGRAFÍA

Alberto Sols es Ingeniero Naval (ETSIN); Ingeniero de Sistemas (Virginia Tech); y Doctor Ingeniero de Sistemas (Stevens Institute of Technology). Es Certified Professional Logistician y Certified in Production and Inventory Management. Desde Enero de 2018 es Decano de la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid. De 2009 a 2017 fue profesor de la University College of South-East Norway (Noruega), donde dirigió el Master in Systems Engineering. De 1992 a 2017 colaboró a tiempo parcial con la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, dirigiendo los cursos de postgrado 'Master en apoyo logístico integrado' y 'Máster en gestión integral de proyectos'. Es autor de los libros: *Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad: un enfoque sistémico; Systems Engineering - Theory and Practice; Requirements Engineering and Management: A Systems Approach; Integrated Logistics Support*; co-editor y co-autor del libro *Gestión integral de proyectos* y co-autor del libro *The 8 Essential Skills of the Systems Engineer*. Es co-editor de la serie de monografías de Ingeniería de Sistemas publicada por ISDEFE, y es autor de más de 40 artículos



técnicos publicados en revistas indexadas. Antes de pasar a la docencia a tiempo completo en 2009 trabajó 25 años en la industria, ocupando cargos de responsabilidad en CONSTRUNAVES, Aries Industrial y Naval, ISDEFE y ELECTROOP.

**Agradecimiento ::** Quiero expresar mi agradecimiento a Markus Schroll por las fantásticas figuras que ha realizado, que aumentan notablemente la calidad de este artículo.