

FABRICACIÓN INTELIGENTE (INDUSTRIA 4.0)

Libro 100. zDoc Trabajo.03.Industria 40

Esteban Fernández Sánchez

Borrador actualizado: Julio 2019

La revolución agrícola –la transición del forrajeo a la agricultura– ocurrió hace alrededor de diez mil años y fue posible gracias a la domesticación de animales. Este primer cambio profundo en nuestra manera de vivir combinó los esfuerzos de los animales con los de los seres humanos con vistas a la producción, el transporte y la comunicación.

La revolución agrícola fue seguida por una serie de revoluciones industriales que comenzaron en la segunda mitad del siglo XVIII. La primera revolución industrial abarcó desde aproximadamente mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX. Tuvo su origen en Gran Bretaña y se inició en el sector textil. Marcó el comienzo de la producción mecánica y el hito más importante fue la invención de la máquina de vapor (patentada en 1769 por James Watt). La construcción del ferrocarril y el barco de vapor permitieron mejorar el transporte de mercancías y pasajeros. La segunda revolución industrial, entre finales del siglo XIX y principios del XX, fomentada por el advenimiento de la energía eléctrica y la cadena de montaje, hizo posible la producción en masa. La tercera revolución industrial se inició en la década de 1960. Generalmente se la conoce como la revolución digital o del ordenador, porque fue catalizada por el desarrollo de los semiconductores, la computación mediante servidores tipo *mainframe* (en los años sesenta), la informática personal (década de 1970 y 1980) e internet (década de 1990). La cuarta revolución industrial comenzó a principios de este siglo y está impulsada por la transformación digital. Las tecnologías digitales que en su núcleo poseen *hardware* para computación, *software* y redes no son nuevas, pero, a diferencia de la tercera revolución industrial, son cada vez más sofisticadas e integradas y están, de resultas de ello, transformando las sociedades y la economía mundial. En esta era de transformación digital muchas empresas proveen «bienes de información» con costes de almacenamiento, transporte y replicación que son prácticamente nulos, lo que significa que las empresas no sufren una reducción de sus rendimientos a escala (Schwab, 2016). La cuarta revolución industrial también se conoce como Industria 4.0, expresión que se utilizó por primera vez en la Feria de Hannover (Alemania) en el año 2011.

Las tecnologías digitales operan a velocidades impensables para otras tecnologías, arrastradas básicamente por cuatro leyes (Baldwin, 2019): a) el aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores (según la ley de Moore, se duplica cada año y medio), b) el ritmo de transmisión de datos (según la ley de Gilder, los ritmos de transmisión de datos crecerán tres veces más deprisa que la potencia de los ordenadores), c) el crecimiento en la utilidad de las redes digitales (según la ley de Metcalfe, el valor de una red crece de forma proporcional al cuadrado del número de sus integrantes) y d) el ritmo descabellado de la

innovación (según la ley de Varian, los componentes digitales son gratuitos mientras los productos digitales son muy valiosos, lo que permite a todo el mundo trabajar en las casi infinitas combinaciones de componentes en busca de productos digitales válidos).

La cuarta revolución industrial (o industria 4.0) se concreta en la «fábrica inteligente», donde los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de una manera flexible por todo el planeta. Todo ello, además de permitir monitorizar las máquinas y los procesos, proporcionar mayor seguridad y fabricar con la máxima calidad, contribuye a la absoluta personalización de los productos en un tiempo mínimo y con unos costes aceptables, así como a la creación de nuevos modelos de negocios. También facilita el aprovechamiento de los recursos primando la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos (lo que se conoce como economía circular). Quienes consiguen llevar sus iniciativas digitales a buen puerto, se apoyan en cinco palancas (Frank *et al.*, 2018): a) automatizar el proceso de negocio (empezando por los internos, ocultos a los clientes), b) hacer más valioso un producto gracias a los datos que los rodean, c) aumentar la eficiencia humana con herramientas digitales, d) abrirse a mercados masivos y e) ofrecer algo totalmente nuevo a partir de la invención tecnológica.

TECNOLOGÍAS FACILITADORAS DE LA FÁBRICA INTELIGENTE

Además de la velocidad de su despliegue y la profundidad de su desarrollo, la fábrica inteligente es única debido a la creciente armonización e integración de muchas disciplinas y descubrimientos distintos. La fábrica inteligente no solo consiste en máquinas y sistemas inteligentes y conectados, también incluye avances en ámbitos que van desde la secuenciación genética hasta la nanotecnología, y de las energías renovables a la computación cuántica. Es la fusión de estas tecnologías y su interacción lo que hace que la fabricación inteligente sea fundamentalmente diferente de las anteriores. La fusión de estas tecnologías está creando (e incluso cultivando) objetos que mutan y se adaptan continuamente (características de los reinos vegetal y animal). Existen múltiples tecnologías habilitadoras que están propiciando la transformación digital de las empresas hacia el desarrollo de la fabricación inteligente. Algunas de las más importantes las comentamos a continuación.

Robótica colaborativa. Hasta hace poco, la robótica se limitaba a tareas muy controladas en industrias específicas como la automotriz. Hoy, sin embargo, los robots son cada vez más utilizados en todos los sectores en una amplia variedad de tareas, desde la agricultura de precisión hasta la enfermería. Los robots son cada vez más adaptables y flexibles, con un diseño estructural y funcional inspirado en estructuras biológicas complejas (una extensión de un proceso llamado «biobimético», que imita los patrones y las estrategias de la naturaleza). Los avances en materia de sensores permiten a los robots comprender y responder mejor a su entorno. Al contrario de lo que sucedía en el pasado, cuando tenían que ser programados por medio de una unidad autónoma, los robots pueden ahora tener acceso a la información de manera remota mediante la nube y conectarse así con una red de otros robots.

Sin embargo, quizá uno de los factores más importantes de la revolución robótica sea la «robótica en la nube», es decir, la migración a potentes sistemas informáticos centralizados de gran parte de la inteligencia que anima a los robots móviles. La robótica en la nube ha sido posible gracias a la espectacular rapidez que ha alcanzado la transmisión de datos; hoy es

posible dejar gran parte del procesamiento exigido por la robótica avanzada en manos de grandes centros de datos y así dar a los robots acceso a toda una red de recursos. Esto permite construir robots menos costosos por estar dotados de menos potencia y memoria, y también permite actualizar el *software* de muchas máquinas a la vez. Si un robot emplea esta inteligencia informática centralizada para aprender y adaptarse a su entorno, ese aprendizaje estará instantáneamente a disposición de cualquier otra máquina que acceda al sistema, y será fácil extenderlo a un gran número de robots (Ford, 2015).

Los robots de hoy en día son mucho más inteligentes y móviles, gracias a las mejoras en software de inteligencia artificial. Estas mejoras han dado un salto cualitativo tremendo en los últimos cinco años gracias a su capacidad de aprendizaje. Gracias al uso de técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) necesitan menos supervisión humana y son, por lo tanto, más capaces de operar de manera autónoma. La incorporación de avances en materia de sensores y hardware de movilidad los hacen mucho más aptos para compartir espacio con trabajadores humanos, puesto que son conscientes del entorno en el que se encuentran, y son capaces de entender qué es lo que hay que hacer, y de actuar y aprender de la experiencia. Los robots de hoy siguen encargándose de tareas tediosas que a los humanos les plantean problemas –como el trabajo repetitivo. Pero también están comenzando a realizar otras tareas, como aprender del análisis de grandes bases de datos para adaptarse y mejorar su trabajo. Varían en forma, tamaño y niveles de inteligencia según las necesidades. Por ejemplo, el sistema del superordenador *Watson* de IBM puede ayudar a recomendar, en pocos minutos, tratamientos personalizados para pacientes con cáncer mediante la comparación de los historiales de la enfermedad y su tratamiento, exploraciones y datos genéticos con el universo (casi) completo de conocimiento médico actualizado. De hecho, la ciencia avanza tan rápido que las limitaciones son ahora menos técnicas que jurídicas, regulatorias y éticas.

El rápido progreso en robótica pronto hará que la colaboración entre seres humanos y máquinas sea una realidad cotidiana. En la Industria 4.0 hay que hablar de cobot (*collaborative robot*) o robótica colaborativa. Un cobot es un robot creado para interactuar físicamente con humanos en un entorno colaborativo de trabajo en condiciones seguras. Este entorno puede ser una fábrica, pero también un quirófano o cuidando a personas de edad avanzada (Rodal, 2020). El cobot trabaja como ayudante del trabajador y no como sustituto. En este contexto, la seguridad es un aspecto central a resolver cuando los operarios y robots comparten el mismo espacio de trabajo, ya que se pueden ocasionar lesiones en los operarios en caso de colisión. De esta forma los cobots están equipados con sensores que les permiten detenerse en caso de obstrucción o necesidad. Así como el robot industrial tradicional trabaja de manera masiva y suele mantenerse en una posición fija, en cambio, el cobot es compacto y ocupa poco espacio, lo que permite ubicarlo en distintos lugares con facilidad. Cabe destacar, además, que los cobots están diseñados para trabajar e, incluso, interactuar con personas.

Fabricación aditiva. La fabricación aditiva (o impresión tridimensional, 3D) consiste en crear un objeto tridimensional mediante la impresión capa por capa de un modelo o dibujo digital en 3D. Esto es lo contrario a la fabricación sustractiva, que es la forma en la que se han hecho las cosas hasta ahora, sustrayendo capas de una porción de material hasta obtener la forma deseada.

La impresión 3D emplea un cabezal de impresión controlado por un ordenador que fabrica objetos sólidos depositando repetidamente capas delgadas de material. Este método de

construcción «capa por capa» permite a las impresoras 3D crear fácilmente objetos con curvas y huecos que pueden ser difíciles o incluso imposibles de producir utilizando técnicas de fabricación tradicionales. El plástico es el material de construcción común, pero algunas máquinas también pueden imprimir con metal o con otros cientos de materiales disponibles, incluyendo compuestos de alta resistencia, sustancias flexibles similares a la goma e incluso madera. Las impresoras más sofisticadas son capaces de construir productos que contengan hasta una docena de materiales distintos. Quizá lo más notable es que las máquinas pueden imprimir como una sola unidad complejos diseños que contienen partes entrelazadas o que pueden tener movimiento, eliminando cualquier necesidad de ensamblaje (Ford, 2015).

Con la aparición de equipos de bajo coste, algunos prevén una era de fabricación distribuida, en la que prácticamente todo el mundo poseerá una impresora 3D y la utilizará para producir lo que necesita. Otros proyectan el surgimiento de una nueva economía en la «artesanía» (o *maker*¹), donde pequeñas empresas desplazarán la producción a gran escala en las fábricas con productos más personalizados y de producción local. Sin embargo, el verdadero impacto es muy probable que se dé a escala industrial. En lugar de desplazar la fabricación tradicional, la impresión 3D se integrará en ella. De hecho, esto ya está sucediendo. La tecnología ha realizado avances significativos en la industria aeroespacial, donde a menudo se utiliza para crear equipos más ligeros. La división de aviación de General Electric (GE) tiene previsto utilizar la impresión 3D para producir al menos 100.000 piezas en 2020 que potencialmente eliminarán 453,5 kilos de peso en cada motor de avión. Uno de los componentes que GE tiene previsto imprimir, una boquilla de combustible, normalmente requiere el montaje de veinte piezas separadas (Ford, 2015). Una impresora 3D permitirá que todo el componente se imprima como una sola unidad y esté totalmente ensamblado. Con el paso del tiempo, la impresión 3D probablemente termine siendo otra forma de fabricación automatizada.

La fabricación aditiva permite unificar conjuntos de piezas y fabricarlas en una sola pieza, limitando la necesidad de posprocesos o eliminando muchos ensamblajes y, por tanto, acortando los plazos de producción. También permite un mayor aprovechamiento del material y una fabricación más veloz que en la fabricación sustractiva (Rodal, 2020). Facilita la personalización de productos y procesos, con la posibilidad de reproducir cualquier geometría imaginable, con un desperdicio de materiales cercano a cero (*net-shape*) y permitiendo prescindir de herramientas y utillajes de fabricación. Su vinculación con las tecnologías de la información y las comunicaciones permite ofrecer una respuesta inmediata a las necesidades del mercado, atendiendo a la creciente demanda de diferenciación y personalización de los productos por parte de los consumidores. Además, juegan un importante papel en el mantenimiento industrial, permitiendo la eliminación de stocks gracias a la posibilidad de fabricar únicamente la pieza que es necesaria en un momento dado (como, por ejemplo, sustitución de piezas de barcos en alta mar)

Nuevos materiales y aplicaciones biológicas. Se conoce como «nuevos materiales» a las formas de materia producidas por la humanidad en laboratorios, aplicando la tecnología contemporánea y el saber científico, en la producción de sustancias inexistentes en la naturaleza y dotadas de sorprendentes propiedades físico-químicas².

¹ El «movimiento maker» se compone de personas, equipos y empresas entusiasmadas por fabricar dispositivos nuevos que conjugan la introducción de nuevas funcionalidades con el bajo coste.

² <https://www.caracteristicas.co/materiales/>

Al igual que ocurre en la actualidad con la industria tradicional, los nuevos materiales suponen una tecnología habilitadora transversal con impacto en una enorme pluralidad de sectores industriales. Los materiales adaptados a la Industria 4.0 deben aportar nuevas funcionalidades con respecto a los materiales utilizados en la fábrica tradicional, pero además deben ser materiales inteligentes, los cuales mediante la incorporación de elementos tales como sensores, procesadores, actuadores, etc. serán capaces de monitorizar o incluso actuar frente a ciertos estímulos o eventos, uniendo así el mundo físico con el digital. En general, los nuevos materiales son más ligeros, reciclables y adaptables. En la actualidad existen aplicaciones para materiales inteligentes que se autorreparan o se limpian a sí mismos, metales con memoria que vuelven a sus formas originales, cerámicas y cristales que convierten la presión en energía, y así sucesivamente. El grafeno es unas doscientas veces más fuerte que el acero y un conductor eficiente del calor y la electricidad. Cuando tenga un precio competitivo podría tener un impacto significativo en las industrias de fabricación e infraestructura. Los polímeros termoestables reciclables llamados “polihexahidrotiazinas” (PHT) es un gran paso hacia la economía circular.

La lista de posibles aplicaciones de las innovaciones biológicas es prácticamente ilimitada, y va desde la capacidad de modificar animales de tal forma que puedan ser criados mediante una dieta más económica o adecuada a las condiciones locales, hasta la creación de cultivos capaces de soportar temperaturas extremas o sequías. Por ejemplo, en Estados Unidos han sido concedidas patentes de vacas que han sido modificadas genéticamente con genes humanos para producir «leche humana» (Shiva, 2001).

En los últimos años se han logrado considerables progresos en reducir costos y aumentar la secuencia genética, y más recientemente para activar o modificar genes. La biología sintética nos proporcionará la posibilidad de personalizar los organismos mediante la configuración del ADN. Al margen de las consideraciones éticas, tales avances no solo tendrán un impacto profundo e inmediato en la medicina, sino también en la agricultura y la producción de biocombustibles. En principio, las plantas y los animales podrían ser potencialmente diseñados para producir productos farmacéuticos y otras formas de tratamiento.

Fabricación sostenible. El nuevo paradigma productivo se apoya en tres principios: reducir, reutilizar y reciclar. Se trata de un proceso de fabricación que maximiza la productividad de los recursos, reduciendo el uso de recursos naturales no renovables y reutilizando en el ciclo de producción los materiales contenidos en los residuos como materias primas secundarias. Esta fabricación impulsa el análisis del ciclo de vida de los productos y la incorporación de criterios de ecodiseño, reduciendo la introducción de sustancias nocivas en su fabricación, facilitando la reparabilidad de los bienes producidos, prolongando su vida útil y posibilitando su valorización al final de ésta. La sostenibilidad se puede aplicar tanto al proceso industrial como al producto y viene determinada por numerosos factores, como el uso eficiente de los recursos, el uso optimizado de las materias primas y el adecuado tratamiento de los residuos.

El nuevo paradigma digital deja atrás la industria poco sensible al impacto generado en su

entorno, para dar paso a una industria integrada en él. Por ello, la sostenibilidad se enfoca sobre los siguientes desafíos:

- Sostenibilidad económica de la fabricación mediante la implementación de plantas reconfigurables, adaptativas y escalables capaces de llevar a cabo una fabricación en lotes cortos con una amplia gama de referencia de productos, de una manera eficiente en coste – fabricación flexible e inteligente—.
- Sostenibilidad social: Integrando y complementando las habilidades del operario con las tecnologías. El operario juega un papel central en el modelo productivo.
- Sostenibilidad ambiental de la fabricación mediante aplicación de tecnologías que favorezcan la eficiencia energética y de recursos, reduciendo el volumen de desperdicios generados.

Sistemas ciberfísicos. El concepto de fábrica de futuro se encamina a dar respuesta a un nuevo paradigma de fabricación, basado en un modelo de customización masiva, que requiere de nuevos modelos de fabricación flexibles y altamente reconfigurables, capaces de reaccionar eficientemente en coste y calidad ante variaciones en la demanda. Este nuevo modelo de fabricación no sólo requiere de sistemas reconfigurables interconectados, sino también del desarrollo de un nuevo concepto de Fabrica Cognitiva que permita disponer de nuevos sistemas de control y planificación de procesos con capacidad de reacción ante situaciones impredecibles, extendiendo, de esta forma, el rango de operación de la fábrica de forma autónoma.

Un sistema ciberfísico (*cyber-physical system*, CPS) es un mecanismo (sistema físico) controlado o monitorizado por algoritmos basados en computación y estrechamente integrados con internet. Bajo este concepto, la fábrica, mientras realiza sus tareas, estaría continuamente adquiriendo los modelos de los procesos de fabricación, las capacidades de las máquinas, piezas y sus propiedades. Estos modelos se actualizarían continuamente con el objetivo de adaptarse a cambios en el entorno y se usarían en parametrizaciones y optimizaciones del proceso. Esto implica equipar a la planta con percepción, aprendizaje, razonamiento y capacidades de gestión. Bajo este concepto, una máquina inteligente sería capaz de aprender de las tareas realizadas previamente y, por tanto, sería capaz de adaptarse a nuevos productos de manera más sencilla, lo que permitiría afrontar la fabricación de productos individualizados de forma competitiva. Esta capacidad de aprendizaje no será 100% autónoma, si no que tendrá también en cuenta las capacidades cognitivas de los operarios, capaces de reaccionar más fácilmente ante situaciones no predecibles y/o sin información detallada.

Este desarrollo está íntimamente ligado al desarrollo de sistemas de sensorización y percepción, control, integración y cooperación entre máquinas. Esto permitirá disponer de un modelo de fabricación inteligente capaz de:

- Adaptarse a cambios en el proceso productivo, bien a través de la reconfiguración autónoma del proceso de control, bien a través de un procedimiento centrado en la experiencia del operario de la línea.
- Extracción, gracias a una sensorización del proceso y/o parámetros de la máquina, de las reglas de conocimiento y control que gobiernan el proceso de fabricación.
- Dotar al sistema de gestión de la fábrica de información de diagnosis referente a la calidad del proceso productivo (Fabricación encaminada a cero-defectos).

Internet de las cosas (IoT). Una de las principales conexiones entre las aplicaciones físicas y

digitales que ha sido habilitada para la cuarta revolución industrial es el Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things). El Internet de las Cosas (IoT) es una red de cosas identificables de manera inequívoca que se comunican mediante interconectividad basada en «protocolos de internet» (IP) sin interacción humana. Por tanto, el término describe la informatización –y posterior conexión a internet– de dispositivos y objetos que antes no tenían esa capacidad. En su forma más simple, se puede describir como una conexión entre las cosas³ (productos, servicios, lugares, etc.) y la gente, que resulta posible mediante internet. Los objetos, máquinas, sensores o dispositivos tienen la capacidad de cómputo, almacenamiento y comunicación para recopilar, procesar y distribuir información por la red a la que están conectados, pudiendo ser analizada posteriormente para tomar mejores decisiones y optimizar múltiples procesos como los de fabricación, transporte, distribución energética o servicios públicos (Krantz, 2015). A medida que el IoT se consolida, todo se irá tecnologizando, conectando y haciéndose inteligente.

IoT nació entre 2008 y 2009 y representa el momento en el que se conectaron a internet más cosas y objetos que personas; según estimaciones, el número de dispositivos conectados por persona era de 6,25 en 2010. Cisco Internet Business Solutions Group prevé que habrá 50 mil millones de dispositivos conectados para 2020 (Evans, 2011). En este sentido, podría decirse que internet ha pasado por dos etapas: en la primera conectaba a personas con redes, datos, procesos y otras personas; ahora, con el IoT, cualquier cosa puede conectarse a cualquier cosa o, lo que es lo mismo, todo se conecta con todo. En pocas palabras, cualquier cosa digitalizable puede formar parte del IoT. No deja de ser el mismo mundo digitalmente conectado que ya conocemos, sólo que está aún más conectado. Ahora que los sensores se han miniaturizado y su curva de precio/rendimiento se ha «Moore-izado», es factible tecnológica y económicamente instalarlos en objetos cada vez más pequeños (Frank *et al.*, 2018). De hecho, no solo es factible, sino imperativo. Al fin y al cabo, si quieres saberlo todo sobre todo, tendrás que digitalizarlo todo. Básicamente es el resultado de aprovechar la nube como ya hacemos, pero añadiendo una infraestructura inteligente en la que cada dispositivo está digitalizado y es accesible desde una red basada en protocolos de internet común.

En estos momentos existe una robusta y estandarizada infraestructura de red global y una mirada de dispositivos conectados de todo tipo: sensores, contadores, propulsores, coches, autobuses, robots, perforadoras, máquinas de IRM, edificios de oficinas, ciudades enteras y hasta cubos de basura. Todos estos dispositivos no solo pueden comunicarse, sino que también generan e incluso procesan datos e interfaces con una cantidad colosal de aplicaciones. Ahora las personas están empezando a hablar del IoT para referirse a este fenómeno, así como a su magnitud y posibilidades.

Pese a que la convergencia de las tecnologías de la información (TI) y de las tecnologías de las operaciones (TO) mejora la comunicación y favorece la eficiencia, es ahora cuando se está empezando a acometer. La apertura del IoT puede multiplicar las conexiones entre personas, procesos, datos y cosas hasta tal punto que la convergencia de los mundos TI/TO acabe imponiéndose por necesidad. Pero el factor decisivo para que eso ocurra será la necesidad de que los datos fluyan entre las fábricas, la infraestructura de la empresa y la nube (Krantz, 2015).

³ El término cosa (thing) se refiere a cualquier objeto físico que cuenta con un dispositivo con su propia dirección IP (protocolo de internet) y que puede conectarse, enviar y recibir información a través de la red.

En las últimas décadas del siglo XX la industria manufacturera atravesó la denominada «guerra de bus de campo», en la que varios fabricantes se disputaban la supremacía de sus respectivas tecnologías como el estándar de facto de la industria para la comunicación y la seguridad (Krantz, 2015). Como consecuencia surgieron tecnologías semiestructuradas (incluso como extensión de los estándares abiertos) incompatibles entre sí, lo que obligó a los clientes a quedar ligados a un grupo concreto de fabricantes. Así, la industria acabó desviándose de la bienintencionada idea inicial de establecer un estándar común. Por si esto fuera poco, esa gran cantidad de protocolos específicos o propios y heredados trajo consigo caos, incremento de costes, poca innovación y la balcanización del mercado. Sin embargo, desde entonces cada vez fueron más los fabricantes que empezaron a adoptar la tecnología Ethernet e IP, estandarizadas e inalteradas, para integrarlas en sus ofertas. Hoy la mayoría de dispositivos funcionan con interfaces Ethernet y todo apunta a que, efectivamente, se establecerán estándares abiertos y comunes en la industria. Parece que esta misma transición también empieza a producirse en otros mercados, como el del transporte, la sanidad o el minorista. Los clientes demandan cada vez más estándares de uso general e interoperatividad. Además, los proveedores de TI y TO están uniendo fuerzas para adaptar estándares generales en consorcios y organismos de carácter vertical. Antes cualquier fábrica corriente solo disponía de unos pocos dispositivos conectados para toda la ingeniería. Actualmente hay docenas de esos dispositivos y pronto habrá cientos por cada trabajador. La convergencia de todos esos dispositivos en una red estandarizada, unificada y abierta no es solo un modo escalable y rentable de conectar a toda la plantilla, sino la clave que permitirá acceder a todo el potencial de beneficios que trae consigo el IoT (Krantz, 2015).

Una empresa no puede acometer el IoT completamente sola. Es necesario crear un sistema colaborativo en el que aprender unos de otros y el desarrollo sea conjunto. Ningún proveedor puede ofrecer una solución de IoT completa para todos sus clientes, al igual que no tiene sentido que una empresa desarrolle una solución de IoT a medida y solo para ella. Hacer esto quemaría muchos recursos tratando de reinventar ruedas que ya existen. Es mejor desarrollar una solución vertical basándose en módulos, arquitecturas, plataformas ya probadas que puedan adoptarse fácilmente a cada caso (Krantz, 2015).

Los triunfadores cambiarán a modelos de negocio basados en estándares abiertos y construirán ecosistemas colaborativos que proporcionen soluciones verticales con funcionalidad horizontales. Las cuatro vías rápidas hacia la rentabilidad del IoT son las siguientes (Krantz, 2015):

- *Operaciones conectadas.* Conecta dispositivos, sensores o medidores entre sí y a una red. Concretamente cuando se conectan los dispositivos de una instalación, se convierte en una plataforma IP con sensores ubicados en los puntos adecuados. Estos sensores recogen lecturas y analizan los datos que permiten a los operadores identificar problemas con la suficiente antelación para poder remediarlo o para introducir medidas de seguridad a tiempo de salvar vidas o minimizar daños.
- *Operaciones remotas: monitorización, control y gestión de activos.* Una vez conectados todos los dispositivos en una sola red IP, el siguiente paso lógico en el IoT es añadir la monitorización remota a las funcionalidades de gestión de activos. Esto permite lograr una mejor visibilidad desde cualquier punto de la red, comprobar qué uso se hace de los equipos, así como verificar cuáles están sobreexplotados y cuáles

no se aprovechan lo suficiente. Todo ello facilita tomar mejores decisiones. Por ejemplo, en el caso de un dispositivo constantemente sobreexplotado, puede reaprovisionarse y reforzar las capacidades que regularicen su funcionamiento.

- *Análisis predictivo.* Detecta, interpreta y toma las mejores medidas de inmediato. Conectar dispositivos y añadirles sensores o medidores generará rápidamente más información de la que el personal podrá manejar y asimilar. Resulta realmente necesario disponer de análisis predictivos que ayuden a los trabajadores a, como mínimo, clasificar e interpretar la información que les llega para así tomar mejores decisiones. Existen muchas soluciones y algoritmos para los análisis predictivos y muchos se centran en industrias, casos de uso o entornos específicos. Todas estas soluciones analizan los datos conforme llegan, los comparan con lo anterior, establecen las correlaciones del impacto de múltiples variables, incluido el entorno, el tiempo, los materiales o las operaciones, y predicen las tendencias con precisión estadística. Se sabrá que un problema concreto tiene X% de probabilidades de suceder en tal o cual marco de referencia, lo que resulta suficiente para emitir una alerta al personal correspondiente para que tome las medidas oportunas. FANUC comenzó a recoger los datos operativos y diagnósticos generados por los robots que operaban en las plantas de producción de sus clientes (con su permiso, claro), almacenaba los datos en la nube y con ellos generaba análisis predictivos para atajar cualquier posible problema antes de que perjudicara a sus clientes. Al analizar esos datos en tiempo real en comparación con el histórico y las métricas y al mejorar su tiempo de respuesta ante posibles incidentes, FANUC aprovechó las ventajas de la IoT y proporcionó una solución proactiva.
- *Mantenimiento predictivo.* Aumenta el tiempo de actividad ininterrumpida y las horas productivas. Poder anticiparse a las averías, para evitar que ocurran en los momentos más inoportunos resulta esencial. El funcionamiento del mantenimiento predictivo depende de que los recursos estén habilitados con el IoT para recoger y comunicar la información que ellos mismos generan. Esa información se analiza casi en tiempo real y, mediante el análisis predictivo, permite anticipar cuándo se producirá el próximo fallo o cuándo la empresa debe solucionar un problema antes de que ocurra el próximo posible fallo. Esto permitirá programar la producción, los materiales y los recambios, lo que haga falta para mantener los plazos de producción sin incurrir en costes innecesarios y típicos de una mala planificación.

Una capa de aplicaciones opera sobre la superficie de internet, cuyo rol es proporcionar una interfaz que permita utilizar la información que fluye a través de internet. Entre otras, destacan las siguientes: inteligencia artificial, *cloud computing* y *big data*.

Productos personalizados. La personalización de los productos consiste en adaptarlos a las necesidades o preferencias de cada cliente. Tradicionalmente, este concepto se vinculó a un artículo exclusivo al alcance de muy pocos. El reto actual significa ofrecer estos productos personalizados de manera masiva, es decir, sin aumentar sus costes, en grandes volúmenes y no afectando a la calidad. La personalización implica un mayor número de referencias y un menor tamaño de las tiradas y lotes, además de unos tiempos de respuesta reducidos. Todo ello requiere de un esfuerzo adicional de logística y coordinación por parte de todos los actores de la cadena de producción y distribución, además de las capacidades necesarias para llevar a cabo este tipo

de producción.

Una manera de personalizar los productos es a través de la servitización. En la actualidad, cada vez son más las empresas que están modificando sus modelos de negocio, y están dejando de ser meros fabricantes de bienes para convertirse en empresas que agregan servicios a los bienes que producen (Vandermerwe y Rada, 1988). En este sentido, las empresas manufactureras están adoptando un modelo de servitización basando sus negocios de forma creciente en proporcionar servicios y soluciones a sus clientes, creando valor más allá de su capacidad de fabricar un producto (Neely, 2008; Ren y Gregory, 2007). Las empresas manufactureras buscan, pues, un mayor grado de interacción y colaboración con sus clientes, lo que da lugar a formas creativas de pago y nuevos modelos de negocios.

En este sentido, el IoT está impulsando una rápida evolución en la industria hacia un modelo de ecosistemas cooperativos y de cocreación con el consumidor. Muchas empresas trabajan conjuntamente con los consumidores para desarrollar soluciones óptimas mediante módulos reutilizables horizontales, abiertos e interoperativos. Todo ello derivará en un ecosistema abierto en el que cada uno hará contribuciones estandarizadas a las soluciones IoT (Krantz, 2015).

La fábrica debe adaptar su portfolio de productos a la digitalización. Esta adaptación se puede llevar a cabo «digitalizando» productos actuales (incluyendo tecnología digital y enriqueciendo funcionalidades), o produciendo nuevos productos digitales e inteligentes.

Un ejemplo de tecnología aplicada a producto es el tejido inteligente. Nuubo, una empresa española, ya ha creado una camiseta inteligente, con un tejido que detecta y previene las cardiopatías en la persona que la lleva. La prenda permite monitorizar la actividad cardiaca durante largos periodos de tiempo, sin cables ni conectores y en cualquier tipo de condiciones, como las actividades físicas intensas de los deportistas profesionales.

Otra dimensión de este fenómeno son los nuevos modelos de negocios para rentabilizar maquinaria, equipos e infraestructuras intensivas en capital. Por ejemplo, la empresa de tecnología y consultoría IBM ha empezado a alquilar computadoras centrales por un fijo al mes. Alquila solamente la potencia y las funcionalidades que el cliente cree que va a necesitar y el servicio se puede cancelar con muy poco preaviso.

Innovación abierta. La innovación abierta es el uso por parte de las organizaciones de las entradas y salidas del conocimiento para acelerar la innovación interna y expandir el mercado para el uso externo de la misma (Chesbrough, 2009). Combina ideas internas y externas para crear estructuras y sistemas cuyos requerimientos son definidos por un modelo de negocio. Se trata de una innovación colaborativa que implica involucrar en un mismo proyecto de innovación a varias empresas (del mismo o distinto sector), clientes, centros de investigación o cualquier otro actor que pudiera contribuir a la innovación.

Los segmentos de industrias tradicionalmente separadas como maquinaria, electrónica, semiconductores, software, procesamiento de datos y telecomunicaciones, están ahora estrechamente relacionadas, ofreciendo productos y servicios ciberfísicos integrados y empaquetados. La creciente fusión entre los diversos sistemas de la industria 4.0 presenta como singularidad la centralidad de la industria del *software*, que actúa como aglutinador del

ecosistema.

En la industria 4.0 todos los desarrollos de los nuevos productos tienen una característica en común: aprovechan el poder de penetración que tienen la digitalización y las tecnologías de la información. Por tanto, todo tipo de innovaciones son posibles y se mejoran a través del poder digital.

La innovación emerge cuando hay personas que intentan enriquecerse trabajando con las casi infinitas combinaciones de componentes en busca de productos digitales válidos. Hoy en día, los componentes son cosas como *software* de código abierto, protocolos o Interfaz de Programación de Aplicaciones, que se pueden copiar gratis. Los productos digitales creados a partir de esos componentes pueden resultar valiosísimos. Cuando los negocios se basan en *bits* en vez de en átomos, entonces cada nuevo producto se agrega al conjunto de elementos de que dispone el empresario siguiente, sin por ello agotar el *stock* de ideas, y no como ocurre con los minerales o las tierras de cultivo que se agotan cuando se usan. Los nuevos negocios digitales suelen ser combinaciones o recombinaciones de los anteriores.

Dado que el proceso de innovación se basa a menudo en la combinación y recombinación de innovaciones anteriores, cuanto más amplio y profundo sea el acervo de ideas y de individuos disponibles, mayores serán las oportunidades de innovar.

No hay peligro de que nos quedemos sin nuevas combinaciones sin probar. Aunque hoy se paralice la tecnología, hay más posibilidades de configurar diferentes aplicaciones, máquinas, tareas y canales de distribución para crear nuevos procesos y productos que las que nunca podríamos agotar.

La combinatoria es una de las pocas funciones matemáticas que supera la exponencial. Puede que la mayoría de las combinaciones no sean mejores que las que ya tenemos, pero seguramente algunas sí lo serán y algunas serán incluso fabulosas y supondrían importantes mejoras. El truco es encontrar las que dan lugar a una diferencia positiva.

Datos a gran escala (*big data*). Los sensores ubicados en prácticamente cualquier cosa física son los máximos responsables de generar datos. Se trata de capturar, almacenar, analizar y hacer accesibles cantidades masivas de datos. Por eso, se necesitan sistemas de datos grandes y estos han de ser estables, escalables y probados (Frank *et al.*, 2018). Los datos son representaciones de una variable que por sí mismos no tienen valor. Es el análisis de esos datos, a través de su procesamiento con diferentes técnicas, lo que proporcionará información útil que apoye la toma de decisiones. El *big data* engloba infraestructuras, tecnologías y servicios creados para dar solución al procesamiento de enormes conjuntos de datos. Con un número creciente de sistemas ciberfísicos en las fábricas y productos inteligentes en el mercado, la cantidad de datos de que dispondrán los fabricantes se multiplicará. Su análisis permitirá identificar patrones e interdependencias, analizar los procesos y descubrir ineficiencias e incluso predecir eventos futuros. Con ello se abrirán nuevas oportunidades, no solo de la mejora de la eficiencia, sino de descubrimiento de servicios para el cliente, al que se conocerá muchos mejor.

Los conocimientos obtenidos a partir de macrodatos suelen surgir de correlaciones que no dicen nada sobre las causas del fenómeno que se estudia. Un algoritmo puede decidir que si

A es correcto, es probable que B también lo sea. Pero no puede decir si A es causa de B o viceversa, o si A y B se deben a un factor externo. Sin embargo, en muchos casos, y sobre todo en el ámbito de la empresa donde el éxito se mide por la rentabilidad y la eficacia y no por la comprensión de las cosas, las correlaciones pueden tener un valor extraordinario. Los macrodatos pueden ofrecer a la dirección de una empresa un nivel sin precedentes de conocimiento en una gama muy amplia de tareas: es posible analizar, con un nivel de detalles que no tiene precursores, desde el funcionamiento de una sola máquina hasta el rendimiento global de una multinacional (Ford, 2015). Los conocimientos obtenidos a partir del análisis de algoritmos pueden sustituir cada vez más al juicio y a la experiencia humana.

Con todo, también hay una cara oscura en el uso de los datos. La empresa Target ha ofrecido un ejemplo de que los datos muy detallados sobre los consumidores se pueden usar de manera muy polémica. Un científico que trabajaba para Target halló una serie de correlaciones muy complejas relacionadas con la compra de 25 clases de productos para la cosmética y la salud que indicaban un estado incipiente de embarazo. Este análisis incluso podía calcular la fecha aproximada de nacimiento de un bebé. Target empezó a bombardear a mujeres con ofertas para embarazadas en unas etapas tan iniciales del embarazo que, en algunos casos, las interesadas aún no habían dado a conocer su estado a sus familiares más cercanos. En un artículo publicado a principios de 2012 en *The New York Times*⁴, se decía que el padre de una adolescente se había quejado a la dirección de una tienda por haber enviado a la dirección de su hija un correo electrónico con productos para embarazadas; al final resultó que Target sabía más que él (Ford, 2015). La privacidad de las personas, el robo de datos, o la responsabilidad ante un error a causa de la decisión de una máquina son algunos de los problemas que pueden acontecer.

Para ello, se detallarán técnicas Big Data para el procesamiento masivo de datos y la transmisión segura de información, así como técnicas de inteligencia artificial y machine learning para identificar patrones de fallo y avería de las máquinas, y control de los procesos de fabricación. Toda esta información se obtendrá de los diversos tipos de sensores, actuadores, maquinaria y dispositivos desplegados en la planta de producción y se procesará con los algoritmos correspondientes en una plataforma Big Data desplegada en la nube

Inteligencia artificial. La inteligencia artificial es un *software* capaz de copiar las funciones cognitivas de los humanos para aprender y resolver problemas. En la cuarta revolución industrial, la Inteligencia Artificial (IA) está presente por doquier, desde vehículos que se conducen solos y drones hasta asistentes virtuales y *software* de traducción. La IA ha logrado avances impresionantes, impulsada por el aumento exponencial de la potencia de cómputo y por la disponibilidad de grandes cantidades de datos, desde el *software* utilizado para descubrir nuevos fármacos hasta los algoritmos que predicen nuestros intereses culturales. Muchos de estos aprenden del rastro de «migas de pan» que nuestros datos dejan en el mundo digital, lo cual da por resultado nuevos tipos de «aprendizaje de máquina» y el descubrimiento automatizado que les permita a los robots y ordenadores «inteligentes» autoprogramarse y encontrar soluciones óptimas a partir de principios básicos.

Los algoritmos de aprendizaje automático procesan datos de forma rutinaria, revelan nuevas relaciones estadísticas y, en esencia, escriben sus propios programas a partir de lo que

⁴ Charles Duhigg. “How companies learn your secrets”, *The New York Times*, 16 de febrero de 2012. Disponible en <https://www.nytimes.com/2012/02/19/magazine/shopping-habits.html>

descubre. Las máquinas también han empezado a demostrar curiosidad y creatividad. Como dijo Marc Andreessen, cofundador de Netscape, “el software está comiéndose al mundo”. En algún momento se encontrará alojado en la nube, por lo que estará en condiciones de invadir todos los lugares de trabajo.

Computación en la nube (*cloud computing*). La nube ofrece herramientas de almacenamiento de datos, mientras que la computación en la nube comprende aplicaciones e infraestructuras ofrecidas como servicio a través de redes públicas o privadas, a menudo en modelo de pago por uso. Los productos inteligentes y los sistemas ciberfísicos generarán enormes cantidades de datos a almacenar y procesar que deben ser accesibles *on-line* desde cualquier lugar. La nube permite este flujo de datos sin fronteras y elimina la necesidad de inversión en infraestructuras para incrementar la capacidad, permitiendo una flexibilidad sin precedentes. Solo es necesario tener una conexión a internet para acceder a los servicios en la nube y las actualizaciones del *software* las realizan los responsables del servicio en la nube.

La tecnología que adopta actualmente el IoT está orientada a la nube, pero ya se está reencauzando hacia una arquitectura de «computación en la niebla» como extensión de la nube a los dispositivos. La computación en la niebla elimina los tiempos de inactividad y favorece los análisis en tiempo real y la capacidad de respuesta (Krantz, 2015).

Plataformas. Una plataforma conecta a compradores y vendedores para disfrutar de rendimientos crecientes a escala. Las plataformas digitales han reducido mucho los costes de transacción y de fabricación en los cuales se incurre cuando personas u organizaciones comparten el uso de un bien o prestan un servicio. Cada transacción puede ser dividida ahora en incrementos muy pequeños, con beneficios económicos para todas las partes involucradas. Esto alterará radicalmente la manera en la que gestionamos las cadenas de suministros al permitirnos controlar y optimizar los activos y actividades a un nivel muy granular. Las plataformas basadas en la tecnología hacen posible lo que ahora se llama «economía bajo demanda» (o consumo colaborativo). Estas plataformas, que son fáciles de utilizar en un teléfono inteligente, ponen en contacto gente, activos y datos, y crean formas completamente nuevas de consumo de bienes y servicios (Schwab, 2016).

Mediante el monitoreo remoto (una aplicación de IoT) cualquier paquete, palé o contenedor puede estar equipado con un sensor, un transmisor o una etiqueta de identificación por radiofrecuencia (RFID) que permita a una empresa rastrear sus movimientos a través de la cadena de suministros, cómo se comporta el objeto, cómo se está utilizando y así sucesivamente. Del mismo modo, los clientes pueden hacer un seguimiento continuo del trayecto del paquete que están esperando. En un futuro próximo, también se aplicarán sistemas de monitoreo similares al movimiento y rastreo de personas.

Logística avanzada. Aunque la optimización de las cadenas logísticas siempre ha sido un requerimiento para la industria, la novedad está en incorporar la nueva tecnología digital a los procesos logísticos, generando modelos logísticos inteligentes y conectados con otras aplicaciones de negocio. Varios factores hacen de esta un factor clave: la personalización y los canales digitales obligan a una mayor flexibilidad en rutas; el acceso a la información supone una alta competitividad en costes; y el fraccionamiento de la cadena de valor hace necesaria una perfecta coordinación en tiempos. Todo ello hace que la gestión logística avanzada requiera una eficiencia cada vez mayor.

Para afrontar los requerimientos de eficiencia cada vez más exigentes, las empresas industriales tienden a la especialización, dando lugar a la fragmentación de las cadenas de valor. La fragmentación también ha propiciado la localización de cada una de las fases de la cadena de valor en puntos geográficos distintos y/o a la subcontratación de parte de sus procesos. Por ello, la cadena de valor tradicional, basada en una organización lineal de sus actores, se complica y transforma, evolucionando hacia un ecosistema de valor con interacciones multidireccionales entre ellos. En este nuevo contexto, es necesario garantizar la coordinación y la interacción de los diferentes actores que conforman el ecosistema de valor para garantizar un correcto funcionamiento del proceso de diseño, producción y posterior comercialización.

Con el concepto fábrica inteligente, los sistemas de producción se alejarán de las plantas de fabricación centralizadas y en su lugar se crearán redes de unidades de fabricación interconectadas. Esto hará que se muevan materias primas y productos semielaborados de forma mucho más frecuente. La Industria 4.0 añadirá una mayor complejidad a las cadenas de suministro que tendrán que ser capaces de evolucionar en igual medida. Pero las mismas tecnologías que permiten hablar de Industria 4.0 están revolucionando también la Logística, pudiendo hablar de la Logística 4.0.

La Logística evolucionará hacia sistemas cada vez más automatizados. El transporte de mercancía con vehículos autónomos será una realidad en las próximas décadas. Un vehículo autónomo (o robótico) es un vehículo capaz de imitar las capacidades humanas de manejo y control. Estos vehículos serán capaces de trazar las mejores rutas y realizar los trayectos de forma segura. La conectividad y la digitalización de los vehículos han supuesto una verdadera revolución. Los automóviles sin conductor dominan las noticias; no obstante, ahora hay otros muchos vehículos autónomos, incluidos camiones, drones, aviones y barcos. A medida que progresen tecnologías como los sensores y la inteligencia artificial, las capacidades de todas estas máquinas autónomas se incrementarán a un ritmo rápido. Como resultado se optimizarán los trayectos, lo que contribuirá a disminuir el consumo de energía, reducir el tiempo de transporte y aminorar la contaminación ambiental, al tiempo que disminuyen los costes de transporte. Los drones son otra de las apuestas de las empresas logísticas para un futuro próximo. La posibilidad de transportar por aire pequeñas cargas de forma eficiente y económica ya ha dado pie a varios proyectos para distribuir mercancía directamente del almacén al consumidor final.

Simulación y virtualización de procesos. La simulación de procesos de fabricación continuos y discretos, la predicción del comportamiento de los sistemas y procesos de fabricación y el diseño de productos a través de maquetas virtuales y métodos de optimización integrados en las cadenas de diseño y producción son factores clave para el futuro del sector manufacturero.

La realidad virtual es una representación de escenas o imágenes de objetos producidos por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real. Esta realidad se puede visualizarse a través de una pantalla, monitor o mediante unos visores, gafas o cascos especiales. La industrialización virtual implica:

- Modelado de la información: Cada uno de los niveles existentes dentro de una planta de producción representa la información en base a sus propios criterios, muchas veces de carácter cerrado dependiendo del proveedor de los servicios, comunicaciones o maquinaria. Esto provoca el establecimiento de un marco común para la representación de la información con el objetivo de crear una representación virtual homogénea.
- Generación del gemelo virtual: Para disponer de información acerca de lo que está pasando a lo largo de toda la cadena de producción, o incluso acerca de qué elementos conforman un producto, y todos los estados que han seguido, es necesario crear el gemelo virtual (*digital twin*). Se trata de un modelo de almacenamiento de información que permite extraer, de forma rápida, vistas de la información relacionada con el estado actual de cada elemento de la fábrica (máquina, herramienta, operario, etc.), su estado pasado e incluso futuro, el estado de cada producto en fabricación, e incluso toda la historia de un producto cuando ya ha sido comercializado (por ejemplo, disponer de la información de todos los procesos que han pasado cada una de las piezas de un coche, simplemente a partir del número de bastidor del vehículo).
- Simulación y optimización de procesos: desarrollo de herramientas de simulación que predecirán el comportamiento de la planta de fabricación a partir de toda la información generada y procesada bajo diferentes suposiciones para obtener estadísticas de utilidad del comportamiento y el uso de los recursos (tiempos de servicio, utilización de máquinas y personal, etc.) con el objetivo de mejorar y optimizar la gestión y planificación de la producción. Se plantean dos modos fundamentales de operación de los simuladores de eventos discretos:
 1. Predicción: El simulador de eventos se usa para realizar predicciones acerca de cómo se comportará la planta y los diferentes elementos y componentes que la integran durante un intervalo de tiempo elegido por el usuario en la interfaz de configuración. El simulador emplea muestras con información real relacionada con el estado actual de ocupación de cada uno de los nodos del sistema (tomando el ejemplo de una fábrica y una línea de producción; máquinas, cintas transportadoras, autómatas, actuadores, etc.) como punto de partida para simular el flujo de procesos durante un tiempo futuro. De este modo, el usuario podrá detectar posibles cuellos de botella en alguno de los procesos o desviaciones atípicas.
 2. Optimización: El simulador de eventos permite probar diferentes configuraciones en los procesos o bloques que integran e interactúan en el sistema de fabricación, pudiendo detectar de esta manera posibles optimizaciones en la asignación de recursos o en los tiempos de servicio a los usuarios.

La realidad aumentada se refiere a la introducción de elementos virtuales al mundo real que proporcionan conocimiento e información valiosa para la optimización de los procesos. Se trata de un instrumento que muestra información adicional a lo que estamos observando en el mundo real. Los sistemas basados en la realidad aumentada se encuentran actualmente en su infancia, pero en el futuro, permitirán proporcionar a los trabajadores información en tiempo

real para mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo. Por ejemplo, los trabajadores podrán recibir información para una reparación y visualizarla haciendo uso de dispositivos como gafas de realidad aumentada con lo que se incrementará la eficiencia y la seguridad. Para acceder a la realidad aumentada es necesario un dispositivo que reconozca la información del mundo real, como un ordenador, un teléfono inteligente, una tablet o unas gafas 3D. La realidad mixta es un entorno virtual que nos permite interactuar con elementos que existen en la realidad, aunque no estén delante de nosotros.

Seguridad. Con el aumento de la conectividad y el uso de protocolos de comunicación estándar, la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y las líneas de fabricación de las amenazas a la seguridad aumenta dramáticamente. Como resultado, serán necesarias comunicaciones seguras y fiables, así como sofisticados sistemas de gestión de identidades y acceso de las máquinas y usuarios. Según la ISACA (Information Systems and Control Association) la ciberseguridad (o seguridad digital) es la protección de activos de información a través del tratamiento de amenazas que ponen en riesgo la información que es procesada, almacenada y transportada por los sistemas de información que se encuentran interconectados.

Internet of Things (IoT) es un concepto que agrupa a una gran cantidad de dispositivos digitales, personas, servicios y objetos con el potencial para conectarse, interactuar e intercambiar información sobre sí mismos y su entorno de forma continua. Debido a la gran variedad de aspectos que engloba, la seguridad para IoT es un problema crítico que debe ser resuelto para permitir el uso de muchas aplicaciones. En concreto, este problema cobra una mayor importancia en un entorno industrial en el que se debe garantizar en todo momento la fiabilidad de la información a la vez que su confidencialidad y privacidad. El cambio a la cuarta revolución industrial o Industria 4.0 supondrá varios impactos a nivel de seguridad, requiriendo el desarrollo de nuevos mecanismos de protección. Aunque muchos de los conocimientos en materia de seguridad que se emplean para proteger un sistema TI tradicional se pueden transferir a los nuevos sistemas TI de producción, se tienen que tener en cuenta nuevos aspectos como las operaciones en tiempo real, la privacidad de los trabajadores tras aplicar técnicas Big Data sobre los datos de producción y garantizar la fiabilidad de los sistemas para, entre otras cosas, proteger de daños a dichos trabajadores en caso de existir algún problema.

La compartición de información entre objetos inteligentes y sistemas ciberfísicos se encuentra en la actualidad en una etapa inmadura en la que todavía son muchos los retos por resolver. Las políticas de seguridad para objetos inteligentes les asignan un único propietario con control y autoridad completos sobre ellos (por ejemplo, un jefe de línea o de producción que es el único que tiene acceso a los datos de todos los dispositivos relevantes), algo que no es aplicable en un entorno en el que se plantean actividades colaborativas entre dispositivos, personal y diversas entidades como es el caso de un entorno de Industria 4.0. En los modelos actuales, la compartición de información presenta problemáticas tanto a nivel de privacidad como de protección de datos desde el punto de vista del propietario del dispositivo, por ejemplo, que puede monitorizar continuamente las actividades de otros usuarios o dispositivos. Por el contrario, los sistemas ciberfísicos podrían exponer credenciales u otro tipo de información crítica si su seguridad es quebrantada. Estos problemas cobran todavía una mayor importancia cuando los dispositivos involucrados (sistemas ciberfísicos) se implementan en dispositivos con un número de recursos limitados (capacidad de

computación, consumo, uso de ancho de banda, etc.). Por otro lado, este tipo de medidas cobran también una relevancia importante, en especial la gestión de permisos de acceso a la información, al introducir la integración de los diversos actores de la cadena de valor.

Baldwin, R. (2019): *La Convulsión Globótica*, Antoni Bosch, Barcelona.

Chesbrough, H. (2009): *Open Innovation*, Harvard Business School Publishing Corporation, Cambridge.

Evans, D. (2011): “Internet de las cosas”. Disponible en https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf

Ford, M. (2015): *Rise of the Robots*, Basic Books, Nueva York

Frank, M.; Roehrig, P. y Pring, B. (2018): *Que Haremos cuando las Máquinas lo Hagan Todo*, LID Editorial, Madrid

Kranz, M. (2015): *The Internet of Things*, The MIT Press, Cambridge.

Neely, A. (2008): “Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing”, *Operations Management Research*, 1 (2), pp. 103-118.

Ren, G. y Gregory, M. (2007): “Servitization in manufacturing companies: A conceptualization, critical review and research agenda”. University of Cambridge. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/286241814_Servitization_in_manufacturing_firms_a_systematic_literature_review

Rodal, E. (2020): *Industria 4.0. Conceptos, Tecnologías Habilitadoras y Retos*, Pirámide, Madrid.

Schwab, K. (2016): *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Ginebra.

Shiva, V. (2001): *Patents: Myths & Reality*, Penguin Books, London.

Vandermerwe, S. y Rada, J. (1988). “Servitization of business: adding value by adding services”, *European Management Journal*, 6(4), pp. 314-324.