

CAPÍTULO 1

INDUSTRIA 4.0 Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Industria 4.0 ha sido un término acuñado por el gobierno alemán con el soporte de industrias alemanas, para describir la digitalización de sistemas y procesos industriales, y su interconexión mediante el **Internet de las cosas** para conseguir una mayor flexibilidad e individualización de los procesos productivos. Es una visión de la fábrica del futuro o **fábrica inteligente**. La transformación digital de la industria y las empresas con la integración de las nuevas tecnologías disruptivas como **Big Data**, la **Nube** y la **Ciberseguridad**, todo ello enmarcado en las **Ciudades Inteligentes (Smart City)** está produciendo el advenimiento y despliegue de la Cuarta Revolución Industrial.

La conectividad de las máquinas y el análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real dibujan nuevos modelos de producción y sistemas de fabricación¹. En el año 2020 habrá 50.000 millones de dispositivos conectados en un mundo con más de 7.000 millones de habitantes. En este número ya no sólo se cuentan las computadoras personales (*laptops*), las tabletas, los teléfonos inteligentes, videoconsolas... sino todos los objetos conectados entre sí y a través de la red Internet. Las tendencias de conectividad se consolidan en torno al Internet de las cosas (**IoT**, Internet of Things, **IdC** en español). IoT es una plataforma gigantesca en la que confluyen nuevas y potentes tecnologías como **M2M** (conexión máquina a máquina, entre máquinas), **Big Data** (análisis de grandes volúmenes de datos, especialmente en la nube), la fabricación aditiva de modelos digitales (**impresoras 3D**) o los dispositivos ponibles, vestibles o llevables (**wearables**) – relojes inteligentes, anillos inteligentes, ropa inteligente, etcétera.

Los conceptos fundamentales nacen de la digitalización del mundo físico que impulsarán el crecimiento económico; la revolución tecnológica que viene —conocida por muchos como la cuarta revolución industrial— cambiará la industria tanto o más que el internet de consumo ha cambiados los medios, las comunicaciones, el ocio y la publicidad en la última década².

La nueva tecnología fusiona *big iron* (gran hierro) con *big data* (datos grandes) para crear máquinas brillantes, señalaba Jeff Immelt, presidente de General Electric, en un documento industrial publicado a finales de 2012 -actualizado en junio de 2013-, acuñando, a su vez, el término **Internet Industrial**³. Siemens ha denominado a esta nueva industria emergente **Industria 4.0** (el rol de la automatización industrial) y **fabricación inteligente** (*smart facturing*): “un modelo en el que los productos contendrán en sí mismos los requisitos de producción, instalaciones con producción integrada de toda la cadena de valor y flexibilidad de intervenir en el proceso de producción sobre la base de la necesidad real, lo que implicará un cambio en cómo se hacen las cosas”⁴. Texas Instruments también ha recurrido a utilizar el término **Smart Factory**⁵.

LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La **cuarta revolución industrial** (origen del término **Industria 4.0**) hace referencia a las cuatro fases de la revolución industrial:

- *Primera revolución industrial.* Máquinas de vapor y ferrocarril en el siglo XIX.
- *Segunda revolución industrial.* Motores eléctricos y producción en masa a principios del siglo XX. Aparece el motor de combustión, se desarrolla el aeroplano y el automóvil, y como grandes inventos aparece el teléfono y la radio.
- *Tercera revolución industrial.* Automatización y la informática en los años setenta del siglo XX.
- *Cuarta revolución industrial.* Los actuales sistemas ciberfísicos que recopilan y procesan información, toman decisiones inteligentes y ejecutan tareas en entornos cambiantes.

La cuarta revolución industrial ha seguido a los procesos históricos constituidos por las revoluciones anteriores. La primera marcó el proceso de la producción manual a la mecanizada (entre 1760 y 1830) gracias a novedades como el motor de vapor. La segunda, alrededor de 1850, trajo la electricidad que, a su vez, permitió la fabricación masiva de productos con el soporte del teléfono y de la radio. La tercera revolución se produjo con la llegada de la electrónica y las tecnologías de la información y las comunicaciones, consiguiendo la automatización de la fabricación, así como el consumo masivo de la información

por los usuarios a nivel personal y en la empresa, por la aparición del computador personal PC creado por IBM y presentado en 1981. Esta tercera revolución en la que vivimos actualmente y que está dando paso a la cuarta revolución industrial que apenas estamos comenzando a vivir.

En la transición entre la tercera y la cuarta revolución industrial que analizaremos en el capítulo, han surgido en los primeros años de la segunda década del siglo XXI (y antes de consolidarse la iniciativa Industria 4.0 en Alemania y su consiguiente cuarta revolución industrial, que como veremos más adelante, surgieron entre 2011 y 2013, fecha de consolidación de ambos términos) dos propuestas con denominación de “Tercera Revolución Industrial” que, en realidad, entendemos coinciden con la actual cuarta revolución industrial. Estas dos propuestas fueron lanzadas por dos influyentes autoridades. Una de ellas, Jeremy Rifkin, conocido gurú de la sociología y la tecnología que, en 2011 publicó una de sus obras emblemáticas y de gran impacto mundial: “La Tercera Revolución Industrial”; y la otra autoridad, en este caso no humana sino medio de comunicación, la revista *The Economist* —la referencia mundial en el ámbito de la economía y los negocios— que publicó un dossier en abril de 2012 en el que pronosticaba *La tercera revolución industrial: la fábrica del futuro*. Es decir, si unimos las dos publicaciones de Rifkin y *The Economist*, en realidad tenemos las bases de la cuarta revolución industrial cuya iniciativa lanzó Alemania, como veremos más adelante, y que ha consolidado el Foro de Davos al principio de 2016 en su edición anual, en que ubicó como tema principal de debate “El dominio de la cuarta revolución industrial”, donde se terminaron de asentar los principios y tecnologías que soportan esta nueva revolución industrial.

La cuarta revolución industrial trae consigo una tendencia a la automatización total de la manufactura (fabricación). Su nombre proviene de la estrategia de alta tecnología que Alemania lanzó como idea importante en 2011 y que se consolidó en 2013 con el lanzamiento oficial, apoyado por su Gobierno Federal, de la Cuarta Revolución Industrial con el soporte de Industria 4.0 y que veremos con más detalle en los próximos apartados. La estrategia de alta tecnología propone llevar, como líder mundial que es en fabricación, su producción a una total independencia de la mano de obra humana.

La automatización se basa en los **sistemas ciberfísicos** facilitada por la **Nube** (*cloud computing*) y el **Internet de las Cosas**, con la ayuda indispensable de la **fabricación aditiva** mediante las **impresoras 3D** y, además, el soporte indispensable de la **inteligencia artificial** y de **big data**, como tecnologías clave para la conversión de los grandes volúmenes de datos que se comenzaban a generar en conocimiento y su uso eficiente en la toma de decisiones.

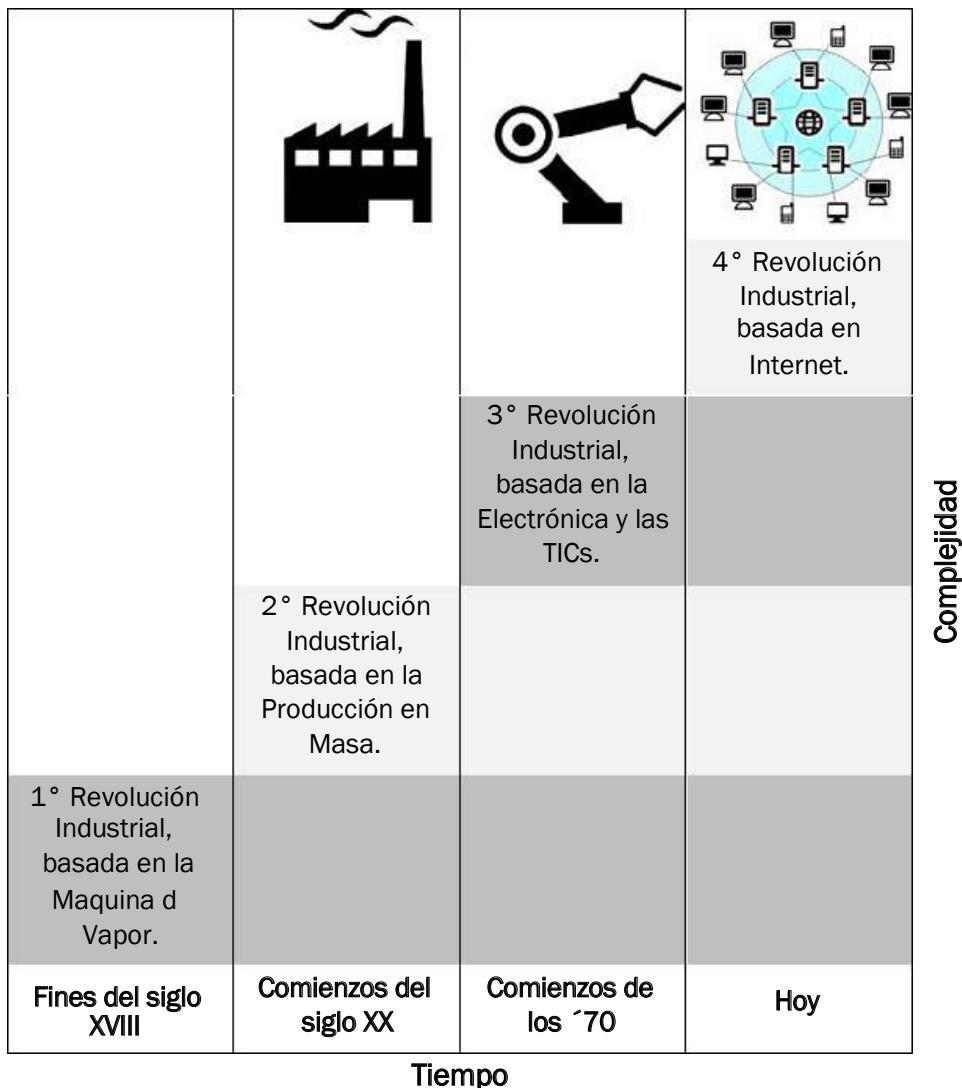


Figura 1.1 Las cuatro etapas de la revolución industrial.

Fuente: DFKI 2011, citada en ACATECH (abril, 2013: 13).

Los sistemas ciberfísicos combinan máquinas físicas y tangibles con procesos digitales, y son capaces de tomar decisiones descentralizadas y de cooperar entre ellos y con los humanos mediante el citado Internet de las Cosas. Con estos soportes tecnológicos nos dirigimos hacia las fábricas inteligentes y las empresas podrán crear redes inteligentes capaces de controlarse a sí mismas, a lo largo de toda la cadena de valor.

La **Industria 4.0** es el producto más tangible de la cuarta revolución industrial y está favoreciendo la **fabricación inteligente** en un marco revolucionario para diseñar, implantar y gestionar ecosistemas complejos que proporcionan

información en tiempo real y posibilitan las interacciones autónomas entre máquinas, sistemas, objetos y cosas. Este modelo permite sacar el máximo partido y rendimiento del *Internet de las cosas (IoT)*, la *nube*, los *big data* y la analítica de datos, la inteligencia artificial, las aplicaciones de última generación y la ciberseguridad.

PRIMERA Y SEGUNDA REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La **Revolución Industrial** o **Primera Revolución Industrial** según la define la enciclopedia Wikipedia⁶ es «el proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en Reino Unido y que se extendió unas décadas a gran parte de Europa Occidental y Norteamérica, y que concluyó entre 1820 y 1840». Lógicamente no hay unanimidad en las fechas, pero sí aproximadamente en esas décadas, aunque también se suele prolongar sobre todo el impacto hasta principios de la década de los setenta del siglo XIX, que también suele ser el origen de la segunda revolución industrial.

La **primera revolución industrial** supuso posiblemente el mayor cambio socioeconómico, tecnológico y cultural en la historia de la humanidad desde el neolítico. La economía basada en el trabajo manual fue reemplazada por otra dominada por la industria y la manufacturera. Se caracteriza porque la tecnología celebra: 1) el nacimiento del ferrocarril, que revoluciona y comienza a permitir el transporte de personas y mercancías en grandes dimensiones; 2) la máquina de vapor, que incrementa notablemente la capacidad de producción con el carbón como materia prima, ya que era el combustible de la máquina de vapor, descubierta por James Watt (1785); 3) la principal fuente de energía será el carbón, aunque va naciendo también el petróleo como materia prima. Un factor de impacto es el éxodo de personas del campo a la ciudad y el surgimiento del sector obrero.

La **segunda revolución industrial** se convierte en un proceso de innovaciones tecnológicas, científicas, sociales y económicas producidas en paralelo con la consolidación del capitalismo como sistema económico. Aparece el motor de combustión, se desarrolla el aeroplano y el automóvil, y como grandes inventos aparece el teléfono y la radio. Las principales fuentes de energía son el gas y el petróleo. Aparecen materias primas derivadas del petróleo y otras que no proviene de la naturaleza tales como el plástico y otros tipos de tejidos que se van a usar en la industria textil; la madera deja de usarse en profusión y la utilización de minerales aumenta⁷.

En esta época cobra protagonismo el movimiento obrero y surge la primera Internacional en 1864 y la segunda en 1889, con lo que el concepto de clase obrera se consolida.

LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (RIFKIN)

La tercera revolución industrial es conocida también como revolución de la inteligencia (RCT)⁸ y es un concepto creado por Jeremy Rifkin, uno de los grandes pensadores actuales y consultor tecnológico y de futuro de gobiernos de países occidentales como Estados Unidos o Alemania. Este concepto fue avalado por el Parlamento Europeo en una declaración formal aprobada en junio de 2006.

Jeremy Rifkin publicó en 2011 *La Tercera Revolución Industrial*⁹ y supuso el detonante de un nuevo concepto acuñado para representar el impacto de la digitalización en la sociedad, junto a los cambios, sociales, económicos y tecnológico que está trayendo consigo. Su visión global de una era económica poscarbono sostenible ha sido refrendada por Naciones Unidas¹⁰ y por la Unión Europea y ha sido adaptada por dirigentes mundiales como la canciller alemana Angela Merkel, el presidente francés François Hollande o el premier chino Li Keqiang.

Rifkin plantea que la Segunda Revolución Industrial, alimentada por el petróleo y otros combustibles fósiles, está entrando en una espiral que conduce a un final peligroso, los precios de la energía y los alimentos están subiendo, el desempleo se mantiene alto, las deudas de los consumidores y el gobierno están disparándose y la recuperación se está ralentizando. Y lo que es peor, el cambio climático derivado de la actividad industrial basada en los combustibles fósiles se cierne sobre el horizonte. Mientras nos enfrentamos a la posibilidad de un segundo colapso de la economía global, la humanidad está desesperada por una nueva visión económica y un plan de desarrollo económico sostenible que nos lleve hacia el futuro¹¹.

También plantea Rifkin que la tecnología de Internet y las energías renovables están a punto de fundirse para crear una potente nueva infraestructura para una Tercera Revolución Industrial (TRI) que cambiará el mundo en el siglo XXI. De gran interés es el pensamiento de Rifkin que debido a que la energía renovable (solar, eólica, térmica, hidráulica y de biomasa) está ampliamente distribuida, una Tercera Revolución Industrial es más proclive a despegar más rápido en los países en desarrollo¹². Sin duda, si se cumplen estas previsiones, supondrá un gran impacto social y económico en los países en desarrollo y se podrá llegar a una era sostenible post-carbón a mediados de siglo.

La tercera revolución industrial se caracteriza en cuanto a tecnología por: microelectrónica como bases, computador como la máquina más destacada, Internet el gran dinamizador del cambio y el uso de la energía atómica y energías renovables¹³. En cuanto a sociedad y economía, se caracteriza por: comportamientos globales de los medios de comunicación, un incremento demográfico, un incremento del consumo y la mercadotecnia (marketing) y por la generalización de la formación universitaria¹³.

Helena Herrero, en la presentación en Bilbao “Digitalizar la empresa” en el Congreso Nacional de Directivos de apd “Reindustrializar para ganar”, planteaba que el mundo 4.0 se caracteriza por: mayor población, clases medias, megaciudades, escasez de recursos y ciberconexiones, y las tecnologías 4.0 están marcadas por cuatro tendencias muy diferenciadas: *Nuevo estilo de las tecnologías de la información* (TI) representadas por *Big Data, Cloud, Movilidad y Seguridad; Internet de las cosas y de los servicios; el mundo digital 3D* y por la *sostenibilidad* ya que la tecnología se preocupará más que nunca de ser sostenible y velar por la escasez de recursos.

LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: LA FÁBRICA DEL FUTURO (*THE ECONOMIST*)

La prestigiosa revista *The Economist*, referencia mundial en temas de economía, publicó el 21 de abril de 2012 un informe titulado *Social Manufacturing (“A Third Industrial Revolution”)*¹⁴, el cual se centró en la producción manufacturera mundial y que afectará a la economía global. Este fenómeno lo denominó *Fabricación Social* y cambiará radicalmente la forma en que se fabrican los productos. Esta revolución se sustentará en la *digitalización de la fabricación*, y *The Economist* consideró que se estaba a las puertas de un cambio social gigantesco. En la práctica la impresión 3D es la espina dorsal de esta nueva fabricación. Así en el proceso industrial, los diseñadores e ingenieros crean objetos tridimensionales con sus computadores. Cuando se hace “clic” en el botón “imprimir”, en una sala contigua o en una sala que puede estar en otro país, una impresora 3D empieza a moverse y, capa a capa, el objeto se crea. En lugar de tinta, la impresora utiliza materiales con base en plástico o nailon. *The Economist* anunció que ya en esa época había empresas y emprendedores fabricando calzado listo para llevar, piezas especiales para vehículos o fundas para teléfonos iPhone personalizados. La revista sostiene que la fabricación aditiva (nombre más fiel de impresión en 3D) es la punta de lanza de la revolución actual, o como la denominó, tercera revolución industrial o la era de la impresión 3D.

La fabricación digital o fabricación aditiva es una nueva forma de diseñar y fabricar productos, y también el concepto que se tiene de fábrica. En esencia, la fábrica del futuro se apoya en la fabricación digital. Pero entonces, ¿qué es la fabricación digital? Bajo esta denominación nos estamos refiriendo a la forma en que fabricamos los productos. Felgueroso¹⁵ explica que “el concepto de fabricación, desde la época de Atapuerca, que ha seguido la humanidad ha sido el mismo: hemos partido de materiales que nos ofrecía la naturaleza, como el tronco de un árbol o una piedra para mediante herramientas de corte, “eliminar” material hasta obtener el producto final (una canoa, un hacha...). En esencia, han evolucionado las tecnologías, pero el concepto no ha variado: “se elimina el

material que tanto le costado a la naturaleza unir para obtener mediante métodos subtractivos el producto final deseado”¹⁵.

Por primera vez en la historia y desde hace unos años, existe la posibilidad de fabricar de un modo diferente, aditivamente y semejando a la naturaleza, lo cual cambia radicalmente la manera de diseñar y fabricar los productos. Los diseñadores e ingenieros de productos, sigue resaltando Felgueroso, tienen hoy limitadas sus capacidades creativas por las restricciones que imponen los procesos productivos convencionales. Por el contrario, la fabricación aditiva (impresión 3D) ofrece libertad en la concepción de un nuevo producto. En definitiva “lo que puede imaginar lo puede fabricar”¹⁶.

Todo en las fábricas del futuro, señala *The Economist*, funcionará con software inteligente. La digitalización en la fabricación (el sector manufacturero) tendrá un efecto disruptivo casi de tanto impacto como en otras industrias que se han digitalizado tales como equipos de oficina, telecomunicaciones, fotografía, música, edición y el cine, y los efectos no se limitarán a los grandes fabricantes; realmente, gran parte de lo que viene potenciará a pequeñas y medianas empresas y a los emprendedores individuales. El lanzamiento de nuevos productos se volverá más fácil y más barato. Las comunidades que ofertan impresión en 3D y otros servicios de producción serán un poco como Facebook y se están formando en línea, es decir un nuevo fenómeno que se podría llamar fabricación social (*social manufacturing*)¹⁷.

Las fábricas del futuro, ya en 2012, no eran ciencia ficción. Son una realidad del presente. En muchos países de Europa (Alemania entre otros) y en Estados Unidos existen ya empresas diseñando, fabricando y vendiendo productos de alto valor para sectores como el aeronáutico, médico, implantes... creando un gran valor añadido y generando unos resultados en calidad y en rentabilidad francamente muy positivos. La fábrica del futuro —sigue pronosticando *The Economist*— no dependerá de costosos utilajes de fabricación y, al contrario, la actividad de alto valor añadido permite estar cerca del consumidor final y responder ágilmente a los cambios de la demanda de manera local.

Existen ya empresas surgidas de la combinación de la fabricación aditiva con las inmensas posibilidades que ofrece Internet y las redes sociales. El potencial de ambas es inmenso, pero si se unen, se comprueba que con un poco de imaginación estamos ante nuevos modelos de negocio muy interesantes que permitirán transformar la forma en que hacemos las cosas y, con ello, nuestra economía. Hoy ya es posible, por ejemplo, enviar por Internet un avatar personalizado generado por su videojuego preferido y recibirla físicamente en una semana en tu casa¹⁸.

EL PUENTE A LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La digitalización puede afectar y transformar muchos sectores. Las *fábricas inteligentes* que están utilizando las nuevas ventajas tecnológicas permiten incorporar personalización de las características de cada producto para un cliente en el diseño, la configuración, la producción, la operación e incluso en el reciclado del producto. Herrero¹⁹ plantea que no solo afecta a la industria de la fabricación, sino que está también revolucionando la forma en que entendemos los negocios¹⁹. Hoy empresas tecnológicas están cambiando diversas industrias, como es el caso de la hotelera y la del taxi. La industria hotelera donde las reservaciones se realizan en su mayoría por Internet, y la industria del taxi, donde una aplicación como Uber está revolucionando el servicio: prueba de ello es que, a finales de noviembre de 2015, esta joven empresa estadounidense había sido valorada en unos 20.000 millones de euros, cifra mucho más alta que grandes empresas españolas.

Las tecnologías rompedoras (disruptivas) actuales nos encaminan hacia una economía colaborativa, en la que se crean comunidades de usuarios y proveedores, transformando completamente sus sectores.

La digitalización viene acompañada de innovaciones tecnológicas que cambiarán la industria tanto o más de lo que internet lo está haciendo con los medios, los negocios, la empresa y sociedad en general. La digitalización implica un proceso de transformación digital en las organizaciones y empresas que será necesario asumir por la alta dirección y todo su cuerpo de empleados y que, por su importancia en la cuarta revolución industrial, le dedicaremos un capítulo completo (capítulo 3).

INDUSTRIA 4.0: ORIGEN, EVOLUCIÓN Y FUTURO

La cuarta revolución industrial, conocida comúnmente como Industria 4.0, toma su nombre de una iniciativa lanzada en Alemania en 2011, liderada por hombres de negocio, políticos y académicos que la definieron como “un medio para aumentar la competitividad de la industria manufacturera (de fabricación) de Alemania a través de la creciente integración de los sistemas ciberfísicos (CPS, *Cyber-Physical Systems*) en los procesos de fabricación”.

CPS es un término genérico utilizado para representar la integración de las máquinas inteligentes, conectadas a Internet, y la mano de obra humana. Esta iniciativa se plasmó en la publicación en 2013 del informe *Industria 4.0 Working Group*, realizado por un gran conglomerado, en cantidad y calidad, de profesionales de la industria, expertos de inteligencia artificial, economistas y profesores universitarios, impulsados por la ACATECH (Academia de Ciencias e Ingeniería de Alemania). El gobierno alemán aprobó con rapidez la idea y anunció

que adoptaría una Estrategia de Alta Tecnología (High Tech Strategy) para preparar a la nación para esta nueva revolución industrial.

El proyecto original de Industria 4.0 de Alemania y su visión de la Cuarta Revolución Industrial fue presentada a Wulff, presidente federal de la República Alemana, durante la visita que realizó al DFKI (German Research for Artificial Intelligence). La presentación provista de tendencias y sistemas actuales en la industria y en la inteligencia artificial, incluyó las tendencias del sector TI (IT), especialmente Internet de las cosas e Internet 3D y servicios que conectan el material y los mundos digitales a través de sensores inalámbricos y memorias digitales de productos. En la presentación se comentó que “de modo similar a los servicios de *social media* en los cuales las personas intercambian información, ahora los productos manufacturados y los objetos de la vida diaria pueden comunicar información entre ellos sobre su estado, entorno, procesos de producción o planificación de mantenimiento”.²⁰

La iniciativa Industria 4.0 no solo encontró un apoyo masivo en Alemania, sino que también se le ha prestado atención en muchas otras partes del mundo. Los Estados Unidos siguieron pronto la iniciativa y estableció un consorcio industrial de Internet, en 2014, que fue liderado por gigantes de la industria tales como General Electric, AT&T, IBM e Intel. En España, la comunidad autónoma de Euskadi (País Vasco) fue la pionera en lanzar su iniciativa de Industria 4.0; y a nivel nacional, el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo anunció en julio de 2015, en colaboración con las empresas multinacionales españolas, Banco de Santander, Telefónica e Indra, la iniciativa **Industria Conectada 4.0** que fue presentada oficialmente, en octubre del mismo año, ya como proyecto oficial del estado, con ayuda presupuestaria dirigida a empresas que afrontasen la iniciativa.

El objetivo final que pretende el término Industria 4.0 acuñado por el gobierno alemán, era describir la digitalización de sistemas y procesos industriales y su interconexión mediante la Internet de las Cosas; en otras palabras, conseguir la transformación digital de la industria. Pese a todo el esfuerzo de propagación del término, en el caso alemán como origen del mismo, todavía muchas empresas de ese país siguen sin saber bien qué hacer con ese nuevo paradigma industrial y cómo posicionarse²¹. Uno de cada dos directivos de las industrias alemana, austriaca y suiza desconocen el término Industria 4.0; sólo una cuarta parte sí dice conocer el término, sin saber bien qué entender del mismo, y sólo la cuarta parte restante conoce bien los cambios que traerá consigo la Industria 4.0.

En España, el País Vasco está siendo pionero y el gobierno vasco lanzó una iniciativa para impulsar la Industria 4.0 haciendo propio el concepto y poniéndose un objetivo: que la industria vasca vuelva a alcanzar el 25% del PIB²². Más tarde comentaremos la iniciativa a nivel nacional, de *Industria Conectada 4.0*.

El término Industria 4.0 ha hecho fortuna y tanto en Europa como en Asia y América, ya existen iniciativas sobre el mismo. En realidad, el significado

inherente al término es la creación del concepto de **fábrica inteligente** que ha sido impulsado por las empresas industriales alemanas Siemens y Bosch.

Industria 4.0 viene asociado con el nacimiento de la **Cuarta Revolución Industrial** y se corresponde con una nueva manera de organizar los medios de producción utilizando las tecnologías digitales y la información inteligente de datos a partir del *Big Data* –las enormes cantidades de datos que se podrán transmitir entre objetos inteligentes a través del Internet de las Cosas.

El concepto fue utilizado por primera vez en 2011 en la Feria de Hannover (Salón de Tecnología Industrial). Posteriormente en 2013, el gobierno alemán encargó a una comisión de trabajo e investigación de la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería de Alemania (ACATECH) un informe que detallara el significado y el posible poder del término.

Las tecnologías disruptivas tales como *Cloud Computing* (La nube), Computación Ubicua, Internet de las cosas (*IoT, Internet of Things*), *Big Data* y *Analytics*... o las tendencias de consumo como **BYOD** (*Bring Your Own Device*) están revolucionando la forma de entender la tecnología y el modo en que interactuamos las personas con ella. A la industria están llegando las tecnologías anteriores unidas a otras que ya se apoyan en el campo de los sensores, las redes inalámbricas, los objetos inteligentes... Así tecnologías ya clásicas como **M2M** (*Machine to Machine*) soporte de la comunicación entre máquinas y dispositivos, redes inalámbricas de sensores **WSN** (*Wireless Sensor Networks*) y la evolución de la Internet de las cosas en el Internet Industrial de las Cosas, **IIoT** (*Industrial Internet of Things*) o **IoE**, Internet de Todo (*Internet of Everything*), como prefiere denominarlo Cisco –el gigante mundial de las telecomunicaciones.

INFORME FINAL INDUSTRIA 4.0 WORKING GROUP

La ya citada Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería (ACATECH) de Alemania, presentó en abril de 2013 el informe final de Industrie 4.0 Working Group titulado *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, que fue patrocinado por el Ministerio Federal de Educación e Investigación alemán. En este informe, en el que colaboraron miembros de grupos de trabajo, numerosos autores y expertos técnicos, se presentó un amplio panorama de la visión de Industria 4.0 como parte de un mundo interconectado e inteligente; luego se expusieron cinco casos de estudio que mostraron aplicaciones y ejemplo reales del impacto de la Industria 4.0 en el sector de la fabricación inteligente.

El informe comienza con una exposición de los antecedentes de cómo se ha llegado a la cuarta revolución industrial con un gráfico explicativo (Figura 1.1) de las cuatro etapas de la revolución industrial que, a su vez, ya había sido publicado en el informe original del Centro de Investigación DFKI en 2011.

Constata el informe que el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación (ICT, Information and Communication Technology) en las cuatro últimas décadas ha producido una revolución que ha conducido a una transformación radical del mundo en que vivimos y trabajamos, con un impacto comparable a lo que supuso la mecanización y la electrificación en la primera y segunda revolución industriales.

La evolución del PC en dispositivos inteligentes ha venido acompañada, continúa el informe, por una tendencia creciente de infraestructuras y servicios de TI proporcionados a través de servicios inteligentes (*cloud computing*). De igual forma, los potentes microcomputadores autónomos (sistemas embebidos) están creciendo mediante la interconexión mutua de redes inalámbricas, entre sí y con la red Internet. El resultado ha sido la convergencia del mundo físico y del mundo virtual (ciberespacio) en los sistemas ciberautomáticos (Cyber Physical Systems, CPS).

A las tecnologías anteriores ha contribuido también la creciente introducción y penetración del entonces nuevo protocolo IPv6, que ofrece una cantidad enorme de direcciones de Internet disponibles y suficientes para permitir la conexión directa y universal de objetos inteligentes (50.000 millones de objetos interconectados para el año 2020 prevén las predicciones más optimistas).

El informe avanza en el concepto de Internet de las Cosas y Servicios que ahora permiten enlazar recursos de red, informaciones de objetos y personas. Los efectos de este fenómeno afectan también a la industria y a la evolución tecnológica que se ha definido como la cuarta etapa de la industrialización o Industria 4.0.

INDUSTRIA CONECTADA 4.0

La iniciativa **Industria Conectada 4.0** —proyecto lanzado por el Ministerio de Industria del Gobierno de España para promover la Industria 4.0 en este país— es la extensión del concepto Industria 4.0 a la realidad nacional española y se lanzó a finales de julio de 2015, habiéndose presentado ya el programa oficial y todo el proyecto el 8 de octubre de ese mismo año. El proyecto busca impulsar la **transformación digital** de la industria española mediante la actuación conjunta y coordinada del sector público y privado. Por parte oficial, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y por parte privada, las empresas multinacionales españolas, Banco de Santander, Telefónica e Indra.

El proyecto Industria Conectada 4.0 contempla los denominados habilitadores digitales, que son el conjunto de tecnologías que hacen posible esta nueva industria que explota el potencial del Internet de las cosas. Estos habilitadores se agrupan en tres grandes categorías²³ (Figura 1.2).

Clientes/usuarios Empleados Colaboradores			
	Proceso	Producto	Modelo de negocio
Aplicaciones de gestión intraempresa	Aplicaciones de gestión interempresas	<ul style="list-style-type: none"> • Soluciones de negocios • Soluciones de inteligencia (Big Data & Analytics) y control • Plataformas colaborativas 	
Comunicaciones y tratamiento de datos		<ul style="list-style-type: none"> • Ciberseguridad • Computación y cloud • Conectividad y movilidad embebidos 	
Hibridación mundo físico y digital		<ul style="list-style-type: none"> • Impresión 3D • Robótica avanzada • Sensores y sistemas 	

Figura 1.2 Marco conceptual de habilitadoras digitales.

Fuente: Informe original “Industria Conectada 4.0”. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (8 de octubre, 2015).

<http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/Index.aspx#inicio>

- **Hibridación del mundo físico y digital** que permiten poner en relación el mundo físico en el digital mediante sistemas de captación de información o de materialización de la información digital en el mundo físico. Los habilitadores de mayor relieve en la actualidad según el informe:
 - Impresión 3D (impresión aditiva)
 - Robótica avanzada
 - Sensores y sistemas embebidos
- **Comunicaciones y tratamiento de datos.** La información anterior se canaliza y procesa. Son las tecnologías que permiten trasladar la información en forma segura desde los habilitadores de hibridación del mundo físico y digital hasta el siguiente grupo. Esos habilitadores son indispensables para que todos los restantes puedan funcionar de manera adecuada y son fundamentalmente:
 - Computación y cloud (computación en la nube)
 - Conectividad [*hiperconectividad*] y movilidad

- Ciberseguridad
- **Aplicaciones de gestión *intraempresa/interempresa*.** La información alimenta a la tercera capa de habilitadores aplicando la inteligencia a los datos recibidos en aplicaciones de gestión. Conforman la capa de inteligencia o procesamiento de la información obtenida de los dos primeros bloques. Se consideran:
 - Soluciones de negocio
 - Soluciones de inteligencia (*Big Data y Analytics*) y control
 - Plataformas colaborativas

En el citado informe oficial presentado se insistía en la necesidad de la digitalización para mantener posiciones competitivas y hacía hincapié en la *hiperconectividad* y las nuevas tecnologías ya implantadas: la computación en la nube, el internet de las cosas, el big data y la sensorización (sensores, contadores inteligentes...) que permitirían que la industria pueda alcanzar la cuarta revolución industrial.

La industria 4.0 está soportada en cuatro grandes pilares, los tres citados del Internet de las cosas, la nube (*cloud*) y *Big Data*, y un cuarto: la Ciberseguridad. Son numerosos los estudios publicados desde el año 2015 sobre las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0. Deseamos resaltar uno que ha tenido gran impacto en el mundo de la empresa e industria. Ha sido realizado por la consultora multinacional *Boston Consulting Group* y posteriormente lo ampliaremos. Este estudio define nueve pilares o parámetros de la industria 4.0. A los cuatro citados anteriormente añade:

- Robots autónomos [colaborativos, inteligentes,]
- Simulación 3D
- Sistemas integrados
- Realidad aumentada [geolocalización]
- Fabricación aditiva (impresión en 3D)

EL MODELO CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DE DAVOS/SCHWAB

El influyente Foro de Davos (*World Economic Forum*) en su edición de 2016 celebrado en enero del mismo año en la ciudad suiza de Davos, tuvo como tema central de conferencias y debates «La Cuarta Revolución Industrial»²⁴ en su agenda global. Algunas cifras significativas del Foro de Davos de 2016 que reflejan su impacto global de las diferentes jornadas son: 2.500 participantes,

300 líderes mundiales destacados, 40 jefes de Estado y de gobierno, más de 140 países representados. Con ocasión del Foro de 2016 se presentó el libro *The Fourth Industrial Revolution*²⁵ escrito por Klaus Schwab, director y fundador del Foro de Davos. Esta obra se ha convertido en una referencia para el estudio de la cuarta revolución industrial y nosotros así la utilizaremos.

Al principio de su introducción, Schwab nos anticipa que: «Nos encontramos al principio de una revolución que está cambiando de manera fundamental la forma de vivir, trabajar y relacionarnos unos con otros. En su escala, alcance y complejidad, la transformación que producirá la cuarta revolución industrial no se parece a nada que la humanidad haya experimentado antes». La cuarta revolución industrial se caracteriza por el protagonismo tecnológico y la impresionante confluencia de avances tecnológicos que abarcará amplios campos: la inteligencia artificial (IA), la robótica, el internet de las cosas (IoT), los vehículos autónomos, la impresión 3D, la nanotecnología, la biotecnología, la ciencia de materiales, el almacenamiento de energía y la computación cuántica, entre otras. A estas tecnologías referidas añadiremos otras tecnologías clave que comentaremos con detalle más adelante, tales como big data, cloud computing y ciberseguridad, como pilares de la cuarta revolución industrial.

Schwab reconoce también que algunos académicos y profesionales consideran la evolución no como una nueva revolución industrial, sino parte de la tercera revolución industrial, al igual que lo hicimos en los apartados que titulamos «La tercera revolución industrial de Rifkin y *The Economist*».

Asimismo, Schwab considera que hay tres razones principales para pensar que las transformaciones actuales no representan una tercera revolución industrial, sino una nueva y cuarta revolución industrial que ya está en marcha y desplegándose:

- *Velocidad.* Los avances tecnológicos evolucionan a una velocidad exponencial en lugar de a una velocidad lineal como suele suceder en las transformaciones anteriores. Las razones se deben a la interconectividad del mundo actual en el que una nueva tecnología genera a su vez otras nuevas y más potentes tecnologías.
- *Amplitud y profundidad.* La combinación de múltiples tecnologías está produciendo la revolución digital e irrumpiendo en todo tipo de industrias, en la economía y negocios, así como en las personas y la sociedad.
- *Impacto de los sistemas.* La transformación de los sistemas complejos se está produciendo entre países, empresas, industrias y la sociedad en su conjunto.

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS (MEGATENDENCIAS)

La selección de tecnologías clave -megatendencias- que ha realizado Schwab y que recomienda observar se basa en la investigación realizada por el Foro Económico Mundial y en el trabajo de varios de los Consejos para la Agenda Global que pertenecen al Foro. Las tecnologías de la **4RI** tienen una característica clave en común: «aprovechan el poder de penetración que tienen la digitalización y las tecnologías de la información [...]. La secuenciación genética, por ejemplo, no podría ser posible sin los avances en la potencia de cómputo y el análisis de datos [*big data*]. Del mismo modo, los robots avanzados no existirían sin la inteligencia artificial que, en sí misma, depende en gran medida de la potencia de cómputo».

Las megatendencias examinadas son agrupadas por Schwab (2016: 29-42) en tres grandes grupos, cada uno a su vez compuesto de impulsores o facilitadores tecnológicos: «físicos, digitales y biológicos, que se encuentran profundamente interrelacionados y las diferentes tecnologías se benefician entre sí, gracias a los descubrimientos y avances que cada grupo va logrando». Los avances en el campo tecnológico se enriquecen al fusionarse con otras áreas de conocimiento. La integración de los mundos físicos, biológicos y digitales afectan a todas las disciplinas y su impacto alcanza a la economía e industria, y están estrechamente relacionadas entre sí. En los próximos apartados y en los capítulos 2 y 3, examinaremos más en profundidad las tecnologías facilitadoras de la cuarta revolución industrial, varias de las cuales —sobre todo las tendencias físicas y digitales— coinciden, por lo que en este apartado sólo destacaremos aquellas tecnologías más centradas en el mundo físico y biológico.

Tendencias físicas

Las cuatro tendencias físicas destacadas por Schwab (2016: 30-33) son:

- Vehículos autónomos
- Impresión 3D (fabricación aditiva)
- Robótica avanzada
- Nuevos materiales

En lo relativo a nuevos materiales, Schwab menciona los diferentes tipos de materiales que están llegando al mercado y que considera tendrá gran impacto en amplios sectores industriales y sociales, aunque como muy bien señala, será difícil saber adónde conducirán los avances en nuevos materiales tales como: *nanomateriales* —el grafeno—, plásticos termoestables, nuevas clases de polímeros termoestables reciclables llamados «polihexahidrotriazinas» (PHT) que facilitarán la economía circular.

Tendencias digitales

Las tendencias tecnológicas reseñadas en el Foro de Davos —de las que ya hemos hablado y dedicaremos apartados y capítulos específicos— son: Internet de las Cosas y tecnologías financieras **blockchain** (cadenas de bloques o *libro de contabilidad distribuido*), con su aplicación más conocida, la moneda digital (*criptomoneda*) **bitcoin**. Analiza también el nuevo modelo de «economía bajo demanda» o de «consumo colaborativo» [o **economía colaborativa**, término más popular] en el que se recogen nuevos negocios colaborativos como Uber, Airbnb, etcétera.

Tendencias biológicas

«Las innovaciones en el campo biológico —y la genética en particular— son cuando menos impresionantes». Menciona Schwab los avances en el Proyecto Genoma Humano, biología sintética (ADN), ingeniería genética.

También señala cómo las diferentes tecnologías se funden entre sí para enriquecerse mutuamente como el caso de la fabricación 3D, que se combinará con la edición genética con el propósito de producir tejidos vivos para la reparación y regeneración de tejidos (bioimpresión).

En cualquier forma, Schwab advierte de los grandes retos sociales, médicos, éticos y psicológicos que plantean todas estas tendencias y que, por consiguiente, han de resolverse o al menos ser abordadas apropiadamente.

RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Una lectura detenida de la obra de Schwab, así como de las intervenciones en el Foro de Davos, edición 2016, de otros ponentes, permite deducir algunos de los muchos beneficios, retos, oportunidades e inconvenientes que podrían limitar el potencial de la cuarta revolución industrial.

Beneficios

Algunos de los beneficios más destacados de la 4RI son:

- Asegurar el potencial para conectar miles de millones de personas a las redes digitales.
- Mejorar drásticamente la eficiencia de las organizaciones.
- Gestionar los activos en forma más sostenible, ayudando incluso a regenerar el medio natural.
- Creciente armonización e integración de muchas disciplinas y descubrimientos diferentes.

- Innovaciones tangibles fruto de las interdependencias son una realidad; por ejemplo, las tecnologías de fabricación digital pueden interactuar en el mundo biológico.
- Otro ejemplo de interdependencia: «diseñadores y arquitectos están ya combinando el diseño por computador, la fabricación aditiva, la ingeniería de materiales y la biología sintética para crear sistemas que involucran la interacción entre microorganismos, nuestro cuerpo, los productos que consumimos e incluso los edificios que habitamos» (Schwab 2016:24).
- Creación de nuevos productos y servicios, tanto para los consumidores como para los proveedores.

Riesgos

Las ventajas de la nueva transformación que trae la cuarta revolución industrial son innumerables, pero también existen inconvenientes en forma de riesgos, privacidad... ya que vivimos en una época de grandes promesas y grandes peligros.

- La desigualdad como un desafío sistémico.
- Dificultad de las organizaciones para adaptarse al nuevo ritmo y los nuevos métodos.
- Necesidad de una transformación digital de una empresa.
- Cambio de posicionamiento de los gobiernos con respecto a los avances tecnológicos que podrían dejar de centrarse en tratar de regular para limitarse a capturar sus beneficios.
- Traslado del poder a quienes tienen mayores posibilidades de innovación y más recursos.
- Aparición de nuevos e importantes problemas de seguridad.
- Crecimiento de las desigualdades y fragmentación de las sociedades.

Oportunidades

- La cuarta revolución industrial está marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas y está sucediendo a gran escala y gran velocidad.
- La revolución afectará al mercado del empleo, el futuro del trabajo, la desigualdad, los marcos éticos, impactos en la seguridad geopolítica, etcétera.

El World Economic Forum tiene un gran número de Consejos sobre los temas de impacto mundial en la economía y la sociedad en general. Uno de ellos es relativo a la Cuarta Revolución Industrial (4RI) y engloba en su Consejo a los

copresidentes de todos los consejos relativos a los facilitadores de la 4RI para explorar y moldear sus implicaciones globales en gobierno, industria y sociedad.

<https://www.weforum.org/communities/the-fourth-industrial-revolution>

LAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS «PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0»

El citado estudio²⁶ de The Boston Consulting Group publicado en abril de 2015, identifica nueve áreas básicas (pilares del avance tecnológico) que componen los bloques fundamentales de la Industria 4.0 (Figura 1.3).

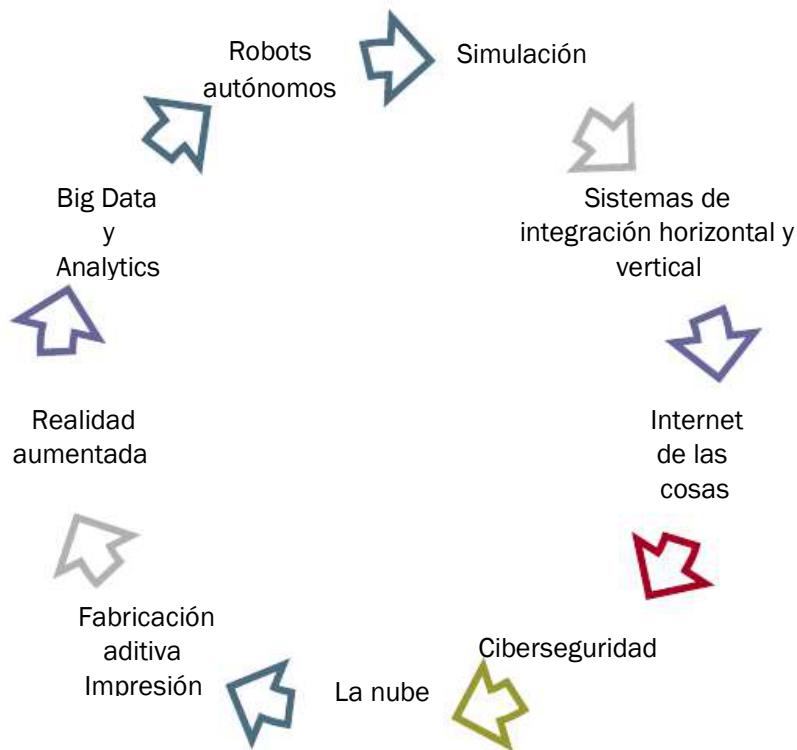


Figura 1.3 Nueve pilares del avance tecnológico en la Industria 4.0: la visión de la producción industrial del futuro.

Fuente: The Boston Consulting Group. The Nine Pillars of Technological Advancement

https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/ [traducción adaptada]

La mayoría de estas nueve tecnologías ya se usan actualmente en las fábricas, sin embargo, es en la Industria 4.0 donde estas tecnologías transformarán la producción: células aisladas y optimizadas se unirán conjuntamente para formar flujos de producción totalmente integrados, automatizados y optimizados, lo que conllevará mayor eficiencia y un cambio en las relaciones tradicionales de producción entre distribuidores, productores y clientes, así como entre máquinas y humanos. Un extracto en traducción libre del estudio se describe a continuación.

Robots autónomos. «Muchas industrias han usado robots desde hace mucho tiempo para abordar tareas complejas, pero es ahora cuando los robots industriales están evolucionando para alcanzar una mayor utilidad. Cada vez son más autónomos, flexibles, colaborativos y cooperativos hasta tal punto que interactuarán con otros robots y trabajarán lado a lado con humanos en forma segura, aprendiendo de ellos en un nuevo modelo de robot humanoide, denominado **cobot**. Estos robots costarán menos y tendrán más capacidades que los usados actualmente en la fabricación». La inteligencia artificial aplicada a la industria de la robótica ha generado en los últimos años, los **robots virtuales (asistentes virtuales)** representados en los *bots* y *chatbots* cuya presencia en empresas e industrias de todo tipo es cada día mayor, en los diferentes sectores de las organizaciones, así como en aplicaciones de gestión empresarial y para la toma de decisiones.

Simulación. «En la fase de ingeniería ya se usan hoy día simulaciones 3D de productos, materiales y procesos de producción. Pero en el futuro las simulaciones se usarán también en forma más extensa en operaciones de planta. Estas simulaciones explotarán datos en tiempo real que reflejarán el mundo físico en un modelo virtual, el cual incluirá máquinas, productos y humanos. Esto permitirá a los operadores realizar pruebas y optimizar las configuraciones de las máquinas para el producto siguiente en la línea de producción virtual antes de cualquier cambio en el mundo físico, reduciendo así los tiempos de configuración de las máquinas y aumentando la calidad».

Sistemas de integración horizontal y vertical. «La mayoría de los sistemas TI (tecnologías de la información) no están plenamente integrados actualmente. Las compañías, los distribuidores y los clientes no suelen estar estrechamente vinculados; tampoco los departamentos como los de ingeniería, producción o servicio. Las funciones desde la empresa hasta el nivel de planta no están totalmente integradas. Incluso el departamento de ingeniería en sí (producto-planta-automatización) carece de completa integración. Sin embargo, con la Industria 4.0 las compañías, los departamentos, las funciones y las capacidades estarán mucho más cohesionados. Redes universales de integración de datos evolucionarán y permitirán cadenas de valor verdaderamente automatizadas».

Internet industrial de las cosas. «Al día de hoy, solo algunos sensores y máquinas trabajan en red y hacen uso de computación empotrada (embebida). Generalmente están organizados en una pirámide de automatización vertical en

la cual los sensores, los dispositivos de campo con inteligencia limitada y los controladores de automatización están gobernados por un sistema de control global. Con el Internet Industrial de las Cosas, un mayor número de dispositivos (a veces, incluso productos no terminados) se enriquecerán de la computación empotrada y se conectarán a través de estándares tecnológicos. Esto permitirá a los dispositivos de campo comunicarse e interactuar tanto con otros iguales a ellos como con controladores más centralizados, según sea necesario. También descentraliza el análisis y la toma de decisiones, lo que permitirá respuestas en tiempo real».

Ciberseguridad. «Muchas compañías todavía dependen de sistemas de gestión y producción desconectados o cerrados, pero con la creciente conectividad y uso de protocolos de comunicación estándar que conlleva la Industria 4.0, la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y líneas de fabricación de las amenazas de ciberseguridad aumentan dramáticamente. Como resultado, son esenciales tanto comunicaciones seguras y fiables como sofisticados sistemas de gestión de identidad y acceso de máquinas y usuarios».

Computación en la nube. «Las compañías ya usan software basado en la nube para algunas aplicaciones de empresa y de análisis, pero con la Industria 4.0 un mayor número de tareas relacionadas con la producción requerirán mayor intercambio de datos entre lugares y compañías. Al mismo tiempo, el rendimiento de las tecnologías en la nube mejorará, alcanzando tiempos de reacción de sólo unos milisegundos. Como resultado, los datos y la funcionalidad de las máquinas irán poco a poco haciendo uso cada vez más de la computación en la nube, permitiendo más servicios basados en datos para los sistemas de producción. Incluso los sistemas de monitorización y control de procesos podrán estar basados en la nube».

Fabricación aditiva. «Las compañías empiezan a adoptar la fabricación aditiva, por ejemplo, la impresión 3D, la cual se usa principalmente para crear prototipos y producir componentes individuales. Con la Industria 4.0 estos métodos de fabricación aditiva serán ampliamente usados para producir pequeños lotes de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como son los diseños ligeros y complejos. Los sistemas de fabricación aditiva descentralizados, de alto rendimiento, reducirán las distancias de transporte y el stock de productos».

Realidad aumentada. «Los sistemas basados en realidad aumentada soportan una gran variedad de servicios, como por ejemplo la selección de piezas en un almacén y el envío de instrucciones de reparación a través de dispositivos móviles. Estos sistemas se encuentran aún en sus primeros pasos, pero en el futuro las compañías harán un uso mucho más amplio de la realidad aumentada para proporcionar a los trabajadores información en tiempo real con el objetivo de mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo. Por ejemplo, los trabajadores podrían recibir instrucciones de cómo sustituir una pieza en particular mientras están mirando el propio sistema bajo reparación, a través de

unas gafas de realidad aumentada. Otra aplicación podría ser la formación de trabajadores en forma virtual».

Big Data y Analytics. «El análisis de grandes cantidades de datos ha surgido recientemente en el mundo industrial, permitiendo optimizar la calidad de la producción, ahorrar energía y mejorar el equipamiento. En la industria 4.0, la obtención y exhaustiva evaluación de datos procedente de numerosas fuentes distintas (equipos y sistemas de producción, sistemas de gestión de clientes...) se convertirá en norma para el apoyo en la toma de decisiones en tiempo real».

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Aunque el estudio de *The Boston Consulting Group* no cita expresamente la inteligencia artificial como tecnología disruptiva de impacto en Industria 4.0, en esta década y sobre todo en los últimos años la inteligencia artificial aplicada ha adquirido una gran relevancia al comenzar a llegar a la empresa y a las organizaciones y su impacto práctico es ya una realidad. El advenimiento de *big data* y la posibilidad de procesar y dar inteligencia a grandes volúmenes de datos, ha facilitado que numerosas aplicaciones de computación sean específicamente diseñadas con técnicas de IA o bien integradas o embebidas en otras aplicaciones. Su impacto en la robótica virtual ha hecho despegar a los **bots** y **chatbots**, popularizados por Apple en su asistente virtual Siri, como asistentes virtuales especializados en empresas o específicos de ellas, o bien mediante interfaces API integrados en las redes sociales propias de las entidades.

A lo largo de los años 2016 y 2017 se han consolidado y popularizado -como se verá en el capítulo 9 dedicado a Inteligencia Artificial- asistentes virtuales (de voz) tales como **Alexa** de Amazon, **Assistant** de Google, **Cortana** de Microsoft, y el más reciente de Samsung, **Bixby**, presentado el 20 de marzo de 2017 para su conexión con dispositivos móviles inteligentes y electrodomésticos de Samsung y presentado ya integrado en el nuevo teléfono inteligente Galaxy S8 unos días más tarde (29 de marzo, 2017) coincidiendo con la presentación mundial de dicho teléfono. Y, naturalmente, Siri de Apple que continúa siendo líder en asistentes virtuales de voz, para los dispositivos iPhone y iPad.

La inteligencia artificial desde el advenimiento de *Big Data* está llegando a numerosos sectores que hasta hace unos años prácticamente era impredecible, y que en la actualidad están impactando en la ciberseguridad de las organizaciones y empresas. Una nueva generación de plataformas de negocio están surgiendo en la convergencia del **aprendizaje automático** (*machine learning*) -y recientemente el **aprendizaje profundo** (*deep learning*)- y *big data*, lo cual traerá un gran cambio en materia de ciberseguridad. Los algoritmos de aprendizaje automático, unidos al uso de las redes neuronales artificiales con el aprendizaje profundo, están comenzando a utilizarse en un gran número de

campos, desde los negocios y la administración de empresas, hasta la industria, el sector de la salud, el sector de la ciberseguridad, etcétera.

La computación cognitiva –representada fundamentalmente por **IBM Watson**– ha iniciado un despegue que en los próximos años tendrá un gran impacto mediático y económico. IBM decidió hace varios años cambiar su modelo de negocio principal y centrarse en las tecnologías cognitivas a través de su supercomputador Watson, la referencia central del fabricante.

Watson se hizo famoso al competir en 2011 en un famoso concurso de TV estadounidense de preguntas, *Jeopardy!*, al derrotar a sus dos oponentes humanos, como ya lo hiciera en 1977 el supercomputador *DeepBlue*, que ganó a Gary Kasparov –campeón mundial– jugando al ajedrez.

IBM Watson es el primer sistema cognitivo diseñado de tal forma que los computadores no se programan, sino que son capaces de entender el lenguaje natural de las personas y aprender. Se ha convertido, desde el 2011, en una tecnología comercial accesible a través de la nube y que cuenta con clientes en numerosos sectores y países del mundo, entre ellos España, donde gracias a la colaboración con CaixaBank ha aprendido, además de técnicas financieras, el lenguaje español.

LA ERA DE LA INTERNET DE LAS COSAS Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Jeremy Rifkin en su último libro ya citado, publicado en 2014 (en español, septiembre 2014) no plantea la cuarta revolución industrial como tal, sino sigue insistiendo en la Tercera Revolución Industrial producto de una plataforma tecnológica nueva y poderosa que acelera el final del capitalismo al acentuar su contradicción actual²⁷. La idea fundamental que subyace la nueva teoría de Riftkin es que la Internet de las comunicaciones, una internet de la energía y una internet de la logística [o del transporte], incipientes en una infraestructura inteligente del siglo XXI, perfectamente integrada –la llamada Internet de las cosas, **IdC (IoT, Internet of Things)**– está dando lugar a una Tercera Revolución Industrial²⁸. La Internet de las cosas ya está aumentando la productividad hasta el punto de que el costo *marginal* de producir muchos bienes y servicios es casi nulo y esos bienes y servicios son prácticamente gratuitos. El resultado, señala Riftkin, es que los beneficios empresariales se están empezando a evaporar; los derechos de propiedad pierden fuerza y la economía basada en la escasez da paso, lentamente, a una economía de la abundancia.

Sin embargo, a medida que se entró en la segunda mitad de la actual década (2015) se consolidaron nuevos paradigmas tecnológicos de los que sobresalen fundamentalmente *big data*, internet de las cosas, impresión 3D, todos ellas con

el soporte de la computación en la nube, los medios sociales, la movilidad y sus tecnologías móviles asociadas.

El nacimiento de la cuarta revolución industrial se confirmó en la Feria Tecnológica CeBIT 2015²⁹ (16 al 20 de marzo de 2015), uno de los eventos de referencia mundial junto con CES Las Vegas (que se celebró un par de meses antes, enero 2015) y que también abordó esta cuarta revolución industrial. La edición CeBIT 2015 que se llevó a cabo en la ciudad alemana de Hannover (29a. edición) se centró en el concepto “*dijconomy/la cuarta revolución industrial: modelos de negocios disruptivos e innovaciones radicales*”.

En la página principal de la feria se presentaron las tres fases clave a estudiar y desarrollar: siglo XIX (vapor y electricidad), siglo XX (computadoras/informáticas), siglo XXI (digitalización), el tema central *dijconomy* y el país invitado China conformaron los objetivos fundamentales de la feria. Las cuatro tecnologías que se consideraron en CeBIT 2015 fueron: *Datability, Big Data, Cloud, Movilidad y Social Business*. *Datability* o nuevos medios para manipular y almacenar Big Data. Las tendencias se centraron en empresas *star-ups*, *Big Data&Cloud*, Movilidad, Seguridad IT, *Social Business* e Internet de las cosas.

¿VIVIMOS YA EN LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL?

Sí, pensamos que estamos en los albores de la cuarta revolución industrial. Han transcurrido seis años desde que Rifkin nos anunciara su tercera revolución industrial y ahora el mismo reputado autor publicó su ya citada nueva obra (Rifkin 2014), donde si bien no anuncia la cuarta revolución industrial, sí constata en el subtítulo de dicha obra el soporte en que nosotros nos apoyamos: “*El internet de las cosas, el procomún colaborativo y el eclipse del capitalismo*”.

Consideramos que al igual que sucedió con su TRI (*Tercera Revolución Industrial*), ahora anuncia “entre líneas” ya que no la define explícitamente. Han comenzado a surgir informes a nivel internacional tanto de autores muy reconocidos³⁰, como de organismos, empresas, consultoras³¹, institutos de investigación internacionales que publican obras, estudios, informes, sobre esta naciente revolución y avalan este nuevo paradigma. SAP³², el gran fabricante alemán de software de negocios, posiblemente el número uno en ventas de software del mundo, ha comenzado a acuñar la cuarta revolución industrial, Industria 4.0, ofreciendo la promesa de llevar dos palabras juntas: fabricación industrial “*industrial manufacturing*” y siguiente generación de TI (IT) para crear un nuevo nivel de eficiencia y eficacia.

Sí, realmente las señales son inequívocas y la cuarta revolución industrial, estamos convencidos por los numerosos síntomas, algunos ya citados, despegó a partir de 2015. A medida que cada vez mayor número de fábricas se vuelven inteligentes, el anuncio se ha hecho inminente. Si bien, los estudios más rigurosos que hemos consultado también consideran que una adopción global

completa del Internet Industrial impulsado principalmente por el Internet de las cosas, *big data* y la impresión 3D no llegará hasta la próxima década.

Sin embargo, las estrategias de, por ejemplo, empresas alemanas pioneras en la industria mundial como SAP y Siemens, son muy claras. La visión de la fabricación de mañana combina fábricas y máquinas inteligentes, materias primas y productos que se comunican dentro de una “internet de las cosas” y que impulsarán cooperativamente la producción. Un análisis eficiente de los grandes volúmenes de datos (*big data*) compondrán la plataforma de lanzamiento.

En resumen y como caso de estudio, España; Helena Herrera, presidenta de HP España y Portugal, en su excelente artículo publicado en el periódico español *El Mundo*³³ y en una presentación aneja realizada en un evento empresarial de su propuesta de cuarta revolución industrial, concluía: “Una industria 4.0 conectada con una sociedad 4.0 que aborde las necesidades de la sociedad de hoy y de la futura y que marque las pautas de la reindustrialización, y con ello del liderazgo de nuestra economía y nuestro progreso como país”.

INTERNET DE LAS COSAS. LA GRAN OPORTUNIDAD PARA IMPULSAR LA ECONOMÍA Y LOS NEGOCIOS

Existen muchas definiciones de Internet de las cosas (**IoT, IdC**) y hemos optado en primer lugar por exponer la dada por la consultora Gartner en su prestigioso *IT Glossary*: «Una red de objetos físicos que contienen tecnología embebida para comunicar y medir o interactuar con sus estados internet o el ambiente exterior»³⁴. Cada objeto físico podrá tener su identificador propio, su protocolo de Internet (IP), máxime desde que se ha implantado el protocolo IPv6 que permitirá miles de millones de referencias IP, prácticamente sin límites como sucedía con el protocolo anterior IPv4.

La IdC conectará todas las cosas con todas las personas y, por extensión, todas las máquinas. La nueva plataforma IdC que se soportará en la plataforma de la nube, conectará las personas y máquinas, recursos naturales, cadenas de producción, redes de logística, hábitos de consumo, flujos de reciclaje y prácticamente cualquier otro aspecto de la vida económica y social, estarán conectados mediante sensores y programas a la citada plataforma³⁵. Se generarán grandes volúmenes de datos (*big data*) que serán procesados y examinados mediante técnicas de analítica predictiva que podrán ser utilizados en una toma de decisiones muy eficiente y, como señala Rifkin, aumentar la productividad y reducir casi a cero el costo marginal de producir y distribuir toda una gama de bienes y servicios por toda la economía.

La cantidad de objetos que se conectarán a Internet crecerá exponencialmente en los próximos años. No obstante, no hay lógicamente unanimidad en las predicciones futuras, pero los números de las fuentes rigurosas y fiables son

sorprendentes: GSMA (Groupe Special Mobile), la organización mundial que rige los estándares de telefonía celular (móvil), estima que en 2020 habrá 24.000 millones de dispositivos conectados, mientras que Cisco y Ericsson, dos de las grandes empresas de comunicaciones a nivel mundial, calculan que se alcanzará los 50.000 millones³⁶. En cualquier caso, esas mismas fuentes y muchas otras de organizaciones internacionales piensan que podrían ser datos conservadores ya que sólo se está teniendo en cuenta los dispositivos conectados directamente a Internet (un objeto, una dirección IP) sin considerar los dispositivos periféricos que están diseñados para conectarse inmediatamente a través de teléfonos inteligentes, tabletas, las redes WiFi de casa o del trabajo, u otros dispositivos inteligentes como es el caso de las nuevas tecnologías *ponibles* (*wearables*) que ya se conectan y seguirán conectándose a internet, como relojes, pulseras, anillos, ropa, etcétera.

La Internet de las cosas está liderando la cuarta revolución industrial y cada vez más empresas comprueban a diario que IoT aporta grandes beneficios y crea un gran flujo de datos que se pueden almacenar y explotar permitiendo la interconexión de dispositivos con acceso a Internet. Desde los últimos 15 años, las empresas han adoptado una amplia gama de tecnologías basadas en dispositivos inteligentes para mejorar la visibilidad de los procesos y operaciones. Estas tecnologías incluyen códigos de barras, códigos QR, chips de identificación por radiofrecuencia (RFID), sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores de todo tipo, identificadores, sistemas de posicionamiento en tiempo real (RTLS), etcétera.

Los sensores, en particular como principal dispositivo del IoT, son de muy diferentes categorías: logística (registran y comunican la disponibilidad de recursos brutos, informan a la sede central de existencias actuales en los almacenes, detectan averías en la cadena de producción y en la de envío de paquetes), ambientales (medición de temperaturas, humedades, presiones), en la industria eléctrica (contadores inteligentes y comunicación en tiempo real del consumo de electricidad en hogares y empresas, programación de aparatos electrónicos para conexión/apagado con el objeto de reducir el consumo eléctrico), distribución comercial (localizar el paradero de productos enviados a consumidores y minoristas mediante flotas de transporte; en el medio natural, para administrar los ecosistemas de la Tierra (aviso a bomberos de condiciones peligrosas que puedan ocasionar incendios, medición de los niveles de contaminación, incluso medición de la cantidad de desperdicios y residuos que se reciclan, etc.); sector agrícola (comprobación de condiciones meteorológicas, cambios de humedad del suelo, dispersión del polen; o insertados en las cajas de frutas y hortalizas para medición de su estado de conservación y toma de decisiones de aprovisionamiento a clientes, en función de su distancia a los almacenes). El uso de los sensores y sus aplicaciones se puede considerar infinito y difícil, por no decir imposible de cuantificar.

TECNOLOGÍAS WEARABLES(PONIBLES)

Las tecnologías *wearables (ponibles)*³⁷ -o vestibles- son otra de las tendencias que están impactando en que Internet de las cosas se esté convirtiendo en la base de la cuarta revolución industrial, cuya evolución y consolidación continuará sin duda a lo largo de esta década. La Fundación Fundéu opta por la traducción de *ponible* para referirse a la tecnología que incorporan los dispositivos, prendas y complementos, dado que se refiere a una formación regular a partir del verbo poner, que alude al hecho de que estos objetos tecnológicos se pueden llevar puestos.

Tecnología *wearable* hace referencia al conjunto de aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte de nuestro cuerpo interactuando con el usuario y con otros dispositivos (teléfonos inteligentes, por ejemplo) con la finalidad de realizar alguna función específica. Cada día existen más *dispositivos ponibles*: relojes inteligentes (*smartwatches*), pulseras para monitorizar nuestro estado de salud, anillos, zapatillas de deportes con GPS incorporado, camisetas, gafas, pantalones.

Aunque las tecnologías *wearables* datan de la década de los setenta, no ha sido hasta la década del 2010 cuando esta tecnología ha evolucionado lo suficiente como para atraer a los consumidores y fue en la Feria Internacional de Electrónica de las Vegas en enero de 2014 cuando se puede considerar el punto de partida real donde grandes empresas como Intel, Adidas, Sony o Rebook presentaron al público los dispositivos más variados.

Las gafas inteligentes de Google han sido y siguen siendo el estandarte de estas tecnologías, pero existen también accesorios y complementos de moda como relojes, anillos y pulseras que se encienden al identificar la huella dactilar. Estos complementos digitales almacenan toda la información sobre el estilo de vida del usuario, como los kilómetros que se caminan durante el día, el ritmo cardiaco, los ciclos de sueño, etc. Al disponer de tecnología inalámbrica incorporada, pueden interactuar con otros dispositivos electrónicos pudiendo hacer tareas como abrir las puertas de la casa, encender (prender) el motor del coche (carro), pagar las compras en comercios, cargar y descargar todo tipo de archivos como documentos, imágenes, videos, audios, con simples movimientos de la muñeca.

Las aplicaciones de los dispositivos *ponibles* son innumerables; además de las mencionadas, el sector textil fabrica prendas infantiles que pueden indicar y enviar una señal al teléfono inteligente cuando el bebé tiene fiebre, ropa deportiva para ayudar al deportista en el aprendizaje de su deporte favorito, sudaderas con leds que iluminan las calles oscuras, contabilizan los kilómetros recorridos, el ritmo cardiaco, las calorías quemadas y, en general, el rendimiento en la práctica del deporte.

Las áreas de influencia de las tecnologías ponibles también son muy variadas. Por ejemplo, en el campo de la seguridad de los trabajadores y en el caso del cuerpo de bomberos, los cascos pueden monitorizar los niveles de oxígeno y la temperatura que soporta el bombero durante los trabajos de extinción de incendios, además puede llevar incorporado un localizador GPS, el cual permite conocer en todo momento el lugar exacto en que se encuentra.

Las tecnologías *wearables* impactarán notablemente en Internet de las cosas, y a medida que las futuras redes móviles 5G —cuyo despliegue comercial se espera para el año 2020— y se extiendan las impresoras 3D no solo en la empresa y en la industria, sino en ambientes domésticos y de trabajo diario, las ciudades inteligentes y las fábricas inteligentes serán una realidad tangible como reflejo fiel de la revolución que traerá el advenimiento del internet de las cosas.

INTERNET DE LAS COSAS EN EL HORIZONTE 2025

El Centro de Investigación Pew —uno de los más reconocidos a nivel mundial en la investigación de Internet— y la Universidad de Elon publicaron a principios de junio de 2014 un informe³⁸ sobre la evolución de la Internet de las cosas hasta 2025, tras solicitar la colaboración de más de 12.000 expertos de reconocido prestigio internacional. Las observaciones más sobresalientes señalan que la red interconectada de objetos es con creces la “electricidad” menos visible de nuestra vida cotidiana como consecuencia de la rápida expansión de los *wearables* (objetos ponibles/vestibles) y la computación embebida. Se prevé un crecimiento sin precedentes de los dispositivos. Sensores, actuadores... que monitorizarán nuestra salud, nuestras actividades cotidianas, nuestros trabajos, nuestro ocio..., los cuales podrán controlar en forma remota las casas en las que vivimos o gestionar de modo inteligente los principales recursos económicos y sociales. Recordemos cifras de Cisco: en 2013 había 13.000 millones de dispositivos conectados a Internet, 20.000 millones al final de 2015 y se estima 50.000 millones en 2020. Aquí se incluirán teléfonos, tabletas, chips, sensores, actuadores, dispositivos, implantes, etc., junto con muchos otros dispositivos que hoy día ni imaginamos. Otras conclusiones de impacto recogidas en el informe son: los efectos benéficos en nuestra vida en 2025: los expertos creen que el 83% producirá efectos muy beneficiosos por sólo un 17% que consideran no sucederá así.

Los temas sobresalientes que el informe de Pew considera necesarios tener presentes en esta visión del futuro son:

1. La Internet de las cosas y la computación *wearable* progresarán con fuerza hasta 2025. La internet de las cosas llegará a todas partes facilitando la toma de decisiones, la planificación y hasta los movimientos de los inventarios. El tamaño de los dispositivos inteligentes se hará cada vez más pequeño y se fusionarán

lentamente en la parte del cuerpo en la que opere el sentido relacionado a dicho dispositivo. También los expertos consideran que muchos de los dispositivos que utilicemos en nuestro día a día se comunicarán en nuestro nombre al interactuar con otros mundos físicos o virtuales. Aparecerán los chips subcutáneos que vigilen las constantes vitales de los pacientes, aplicaciones que ayuden a los internautas a controlar sus actividades rutinarias –el precalentamiento del horno o la temperatura del agua del baño o de la ducha–, ciudades inteligentes con GPS que contribuyan a gestionar el tráfico; o carreteras, edificios y puentes cuyo estado y desgaste se pueda cuantificar en todo momento. Uno de los expertos consultados por el Pew llegó a sentenciar que “cada parte de nuestra vida será cuantificable”³⁹.

2. *El mundo estará inundado de datos; tal vez el Big Data actual se volverá pequeño, pequeño y, en cualquier caso, suscitará preocupaciones sustanciales de privacidad.* El riesgo de renuncia a la privacidad será muy elevado y las organizaciones nacionales e internacionales responsables deberán preocuparse por velar por ella, pese a los riesgos reales que existirán de su vulneración.
3. *Las interfaces de información progresarán de modo espectacular.* Los comandos táctiles y de voz, mejores sensores y algoritmos avanzados permitirán a los sistemas de cómputo aprender de las capacidades y limitación de los usuarios. La información recogida en el análisis de gestos, movimientos o conversaciones, ofrecerá mucha flexibilidad a los usuarios mediante la automatización de los citados sistemas. En 2025 seremos capaces de escribir en los móviles tan rápido como lo hacemos en un teclado y pantalla completa, estemos donde estemos. La interacción cerebro-máquina, sin embargo, no será posible para los usuarios físicos. *Se podrá vivir en un mundo totalmente conectado, pero donde muchas cosas no funcionarán y lo que es peor, nadie sabrá arreglarlas.* Esta circunstancia se deberá a la alta complejidad de la internet de las cosas.
4. *Los marginados serán las personas no conectadas y los que no deseen estar conectados.* Se podrá producir una nueva brecha digital, ahora los nativos digitales serán nativos conectados. Los países desarrollados serán los primeros testigos de esta impresionante evolución de la tecnología, pero ¿qué sucederá con los ciudadanos de países menos desarrollados? Sin duda, se producirá una mayor brecha entre los que dispongan de tecnología y aquellos que no.
5. *Las interacciones infinitas del IoT cambiarán las relaciones entre las personas y sus grupos.* Se producirá una redefinición de las

relaciones. La organización de los asuntos y negocios se hará a través de nubes cada vez más extendidas. Estas nubes podrán ser más sociales que las propias redes sociales que conocemos hoy día y habrá empresas que se encarguen de proporcionarlas y programarlas en nombre o de parte de las personas y de las cosas.

LAS CIUDADES INTELIGENTES (*SMART CITIES*)

La **ciudad inteligente** (*smart city*) es, sin género de dudas, el exponente más claro y notorio de la revolución que entraña la Internet de las cosas. La definición de ciudad inteligente ha ido variando y seguirá variando a medida que la IoT avance y evolucione en beneficio del ciudadano. Las ciudades inteligentes, o al menos las que mayor impacto están produciendo, son aquellas pioneras en el desarrollo y mejora de variables de sostenibilidad y eficiencia energética, movilidad y transporte, atención ciudadana y seguridad o competitividad y economía, que sin duda mejoran y cambian la forma de vivir y trabajar de sus ciudadanos. Las plataformas de IoT, *Big Data* y *Open Data* son las que impulsan a las ciudades para su conversión en ciudades digitales.

En España, la compañía Telefónica está liderando y apoyando la transformación de las ciudades con el objetivo de hacerlas más eficientes, responsables, sostenibles y, en definitiva, inteligentes⁴⁰. Así, ciudades en las que trabaja la compañía al lado de los responsables de sus corporaciones locales (ayuntamientos o municipalidades) y otras empresas de diferentes ámbitos son: Santander, Barcelona, Zaragoza, Málaga, Logroño, Sevilla o Valencia, además de otros proyectos de ciudades inteligentes en otras ciudades europeas. En este proyecto, Telefónica proporcionará la red de comunicaciones *multitecnológica* – WiFi, Wimax, satélite, fibra óptica 4G y en su día la futura 5G – que integra el transporte de la información recogida por los sensores instalados en los contenedores, buques, trenes y sistemas automatizados de gestión de tráfico y una plataforma horizontal basada en estándares Fi-Ware (de la Unión Europea en el Futuro de Internet) cuyo objetivo es la recopilación, análisis y exposición de la información agregada de los distintos sensores y subsistemas que componen la solución.

En el programa de la Smart City Expo World Congress 2014 de Barcelona (18 al 24 de noviembre, 2014) se definió “Smart City” como: «un concepto amplio que integra muchas de las áreas de interacción de una ciudad, desde la movilidad, la energía o el medio ambiente hasta la gobernanza. El concepto se ha demostrado tan potente que ‘smart city’ ha llegado más allá de su punto de partida hasta cómo reaccionar a ellos, el control remoto, internet, la nube y muchos otros conceptos»⁴¹. En la página principal del congreso se destacaban -en aquellas fechas- las áreas de interés a considerar en el desarrollo de la ciudad inteligente:

- Energía (EG)
- Tecnologías de la Información (TI)
- Ciudad Colaborativa y Sociedad Inteligente (CC)
- Medio urbano sostenible (SB)
- Movilidad (MO)
- Resiliencia y seguridad urbana (CR) (La resiliencia urbana se refiere a la capacidad de la ciudad para reaccionar ante situaciones inesperadas, como desastres naturales o accidentes que podrían causar interrupciones a los servicios o redes de transporte).

Las ciudades inteligentes se caracterizan esencialmente por el despliegue de sensores que miden las vibraciones y el estado de los materiales de edificios, puentes, vías de comunicación y otras infraestructuras para evaluar su salud estructural y saber cuándo se deben hacer reparaciones. Otra infinidad de sensores se despliegan por las ciudades para medir los niveles de contaminación acústica de los distintos barrios, para optimizar las rutas de vehículos y peatones, y también avisar al público en caso de peligro por agentes tóxicos. Se han popularizado los sensores colocados en los bordes de las aceras para señalar a los conductores los sitios libres para estacionarse; sensores en los vehículos para obtener datos sobre las horas del día en que se utilizan, los lugares donde se encuentran y las distancias recorridas en un periodo dado de tiempo, datos que se proporcionan a las compañías de seguros con el objetivo de predecir riesgos y así determinar las tarifas de las pólizas de un modo más preciso. Los sensores instalados en el alumbrado público hacen que éste se encienda (prenda) y se apague en respuesta a la luz del entorno que los rodea. Cada vez más los ayuntamientos comienzan a instalar sensores en los cubos y contenedores de basura para determinar la cantidad de residuos y así optimizar la recolección.

INICIATIVAS DE *SMART CITIES* Y DE IOT

Además del Congreso Mundial de Ciudades Inteligentes de Barcelona, han surgido infinidad de iniciativas a nivel mundial que impactan en el futuro de las ciudades y, por ende, son extensibles a los ecosistemas de la Tierra.

El European Research Cluster on the Internet of Things (IoT IERC European Research Club) es un organismo creado por la Comisión Europea para facilitar la transición hacia una nueva era caracterizada por la computación ubicua, mediante el desarrollo de múltiples aplicaciones del IoT que ya conectan el planeta en una red mundial distribuida. El proyecto *Smarter Planet* de IBM (www.ibm.com/smarterplanet/us/en), el “Internet Industrial” de General Electric, el “Internet de todo” de Cisco, “las Ciudades Sostenibles” de Siemens, etc., son algunas de las muchas iniciativas actuales cuyo objetivo es crear una

infraestructura inteligente para la Tercera Revolución Industrial (TRI) preconizada por Rifkin⁴², que puede conectar barrios, ciudades, regiones y continentes en lo que los observadores de este campo llaman “red neural mundial”. Es –como señala Rifkin– una red diseñada para que sea abierta, distribuida y colaborativa de modo que cualquier persona en cualquier momento y lugar (ubicuidad) tenga la oportunidad de acceder a ella y usar sus datos para crear aplicaciones nuevas con las que administrar su vida diaria con un costo marginal casi nulo.

La Comisión Europea además de promover el IERC ha lanzado el programa FIWARE⁴³ Accelerator a través del cual ofrece 80 millones de euros para que PYMES y emprendedores puedan crear servicios innovadores utilizando la plataforma europea Fi-Ware de aplicación a procesos industriales y *smart cities*.

La Comisión Europea (CE) y las principales empresas TIC europeas emprendieron en 2011 un ambicioso programa de Colaboración Público-Privada (Public&Private Partnership-PPS) con el objetivo de definir una plataforma que represente una opción abierta para el desarrollo y despliegue global de aplicaciones en la Internet del futuro. Las especificaciones de las APIs (Application Program Interfaces) ofrecidas por los componentes de la ya citada plataforma FI-WARE son abiertas y completamente libres de *royalties*. FI-WARE es una nueva infraestructura para la creación y despliegue de servicios y aplicaciones en Internet. Está ubicada en la nube y quiere ser una alternativa abierta para los desarrolladores y usuarios de los servicios en Internet.

En 2008 IBM lanzó su proyecto ya citado *Smarter Planet*⁴⁴, que tenía presente la experiencia de numerosas empresas, ciudades y comunidades para construir un planeta más inteligente, el cual se apoyaba en el uso de grandes volúmenes de datos para transformar las empresas e instituciones a través de *big data* y *analytics*, tecnologías móviles, negocios sociales (*social business*) y la nube (*cloud*). Es decir, Datos (el nuevo recurso natural), Social (la nueva línea de producción), la Nube (el nuevo motor de crecimiento) y lo Móvil (el nuevo espacio de la oficina).

Cisco, la empresa número uno mundial en comunicaciones, lanzó también en 2013 la idea de la **Internet de todo** (*Internet of Everything*) y recientemente ha creado un **Índice de valor de IoE (IdT)** de Cisco, un estudio global que mide cuánto valor crean las empresas en todo el mundo como resultado del Internet de todo. Cisco anunció a finales de noviembre de 2014, con ocasión de la reunión anual de Cisco Networking Academy, el lanzamiento de un programa específico de *internet of everything* que constará de cinco cursos de dificultades progresivas y, en un principio, totalmente gratuitos, en inglés primero y en otros cinco idiomas (español, chino, francés, portugués y ruso) a partir de 2015.

EL NUEVO MODELO DE FABRICACIÓN ADITIVA: LA IMPRESIÓN EN 3D

La fabricación tradicional de hacer productos tomando un montón de piezas y atornillarlas o soldarlas juntas está pasando una nueva fase, futurista, pero es ya una realidad tangible. Un producto puede ser diseñado en una computadora e “impreso” en una impresora 3D que crea un objeto sólido mediante la acumulación (construcción) de capas sucesivas de material. El diseño digital puede ser ajustado con unos pocos clics de ratón (*mouse*). La impresora 3D puede funcionar sin supervisión y puede hacer muchas cosas que son demasiado complejas para una fabricación tradicional. En no mucho tiempo, estas máquinas podrán hacer cualquier cosa, desde cualquier lugar, sea nuestra casa, sea su oficina o un apartamento de vacaciones en la playa⁴⁵. Las aplicaciones de la impresión en 3D son alucinantes, sentenciaba *The Economist* en su informe de la tercera revolución industrial: piezas de alta tecnología en aviones militares se están imprimiendo de forma personalizada. La geografía de las cadenas de suministros va a cambiar radicalmente. El informe comentaba el hecho de que un ingeniero que trabajara en medio del desierto y le faltara cierta herramienta, ya no tendría que preocuparse por solicitar el envío de la citada pieza desde la ciudad más cercana, sino que bastaría descargar el diseño e imprimirla, obteniendo la pieza física requerida. Los días en que un proyecto podía quedar suspendido por la falta de una pieza del equipo o por la inexistencia de una pieza de repuesto, pueden pasar a la historia en beneficio de la cadena de construcción o de montaje.

Hoy día ya existen numerosas empresas que fabrican productos físicos con un software similar al que produce información en formato de video, audio, fotografía o texto. Este proceso es la *impresión en 3D* o *fabricación aditiva* y es el modelo de “manufacturación” o “fabricación” que ha traído el internet de las cosas. En esencia, el software –en la mayoría de los casos de código abierto (*open source*), aunque también existirá código propietario– envía una orden a una impresora que deposita capas de plástico, material fundido u otros materiales, hasta crear un objeto físico totalmente formado e incluso –ya es posible– con partes móviles. Estas impresoras se pueden programar para crear una variedad infinita de productos.

Con impresión en 3D ya se están fabricando desde joyas hasta piezas de aviones, prótesis humanas o casas, como la empresa asiática Winsum New Materials que puede fabricar hasta diez viviendas de 200 metros cuadrados en un solo día y a un precio de 4.000 euros. Esta empresa china Winsum es la pionera que logra imprimir casas y cambia el concepto de casa prefabricada mediante una impresora 3D que tiene 6,6 metros de alto, 150 metros de largo y 10 metros de profundidad. En 2002 comenzó el proyecto y tras 12 años de investigación y 20 millones de yuanes invertidos –unos 2,3 millones de euros– ha

logrado su objetivo. *The Wall Street Journal* publicó imágenes del proceso de ensamblaje de las piezas que forman la casa.

Las impresoras 3D existen desde mediados de los años ochenta, pero hasta hace apenas un lustro sólo las grandes compañías de sectores muy punteros podrán acceder a la tecnología necesaria. Empresas estadounidenses como 3D Systems y Stratasys fabrican desde hace tres décadas impresoras capaces de producir prototipos y moldes de una gama de materiales bastante amplia, desde polímeros como el nailon hasta metales como el titanio⁴⁶.

La impresión en 3D comenzó a llegar al gran público cuando Chris Anderson⁴⁷, redactor jefe de la revista *Wired* –tal vez la publicación más influyente del mundo en innovaciones tecnológicas–, sorprendió a sus millones de lectores al abandonar su trabajo en la revista para centrarse en su empresa de fabricación de drones 3DRobotics y asegurando como visionario que es, que: “la impresión 3D será algo más grande que la Web”. Poco después y al igual que hizo con la teoría de la larga cola, publicó en un libro sus ideas: “*Makers: The New Industrial Revolution*”.

Rifkin, en su última obra tantas veces comentada, explica los aspectos más importantes que diferencia la impresión en 3D de la fabricación o manufacturación centralizada convencional⁴⁸:

1. Hay poca intervención humana aparte de la creación del software, y por eso recomienda describir el proceso como “infofacturación” en lugar de “manufacturación”.
2. Los pioneros de la impresión 3D han sentado las bases para que el software usado para programar impresoras 3D e imprimir productos físicos sea de código abierto para que los *prosumidores* compartan sus diseños de redes de usuarios de esta tecnología.
3. La *infofacturación* se organiza de una manera totalmente distinta a la manufacturación de la primera y segunda revolución industrial. La fabricación tradicional en las fábricas es un proceso sustractivo ya que las materias primas se someten a distintos tratamientos antes de la elaboración del producto final y se malgasta mucho material que no acaba en el producto. La impresión 3D, por el contrario, es un proceso aditivo. El software se encarga de que el material fundido se añada capa tras capa hasta conseguir el producto final.
4. Las impresoras 3D pueden imprimir sus propias piezas de recambio sin necesidad de invertir en piezas nuevas y caras ni sufrir retrasos por la espera. También se pueden crear productos a medida o en cantidades pequeñas por encargo y con un costo mínimo.

5. El movimiento de la impresión 3D está profundamente comprometido con una producción sostenible, teniendo presente la durabilidad, el reciclaje y el uso de materiales no contaminantes.
6. Dado que el IoT es distribuido, colaborativo y de escala lateral, las impresoras 3D pueden abrir un negocio, conectarse a cualquier lugar donde exista infraestructura adecuada y disfrutar de unas eficiencias termodinámicas muy superiores a las de las fábricas centralizadas y con una productividad mucho mayor.
7. Conectarse a una infraestructura IdC local otorga a los pequeños *infoproductores* una ventaja definitiva sobre las empresas centralizadas, porque pueden alimentar sus vehículos con energía renovable y con un costo marginal cero [insiste Rifkin], reduciendo considerablemente los costos logísticos de la cadena de suministro y los del envío de su producto al comprador.

El costo de las impresoras 3D era muy elevado. La citada empresa Stratasys sacó al mercado en 2002 la primera impresora comercial 3D *low cost* con un precio de 30.000 dólares. Hoy se pueden adquirir impresoras 3D de alta calidad sólo por 1.500 dólares.

EL FUTURO DE LA IMPRESIÓN 3D YA CASI PRESENTE

La integración de la impresión 3D en la infraestructura de la IdC plantea un inmenso panorama de posibilidades de negocio aún por explotar. Cuando esta innovación se integre completamente en la vida diaria de personas y empresa, algunos sectores como el *retail*, el gran consumo y el de bienes de consumo reimpulsarán ellos mismos su modelo de negocio. La impresora 3D puede ser una herramienta de gran impacto ya que cualquier persona puede convertirse en un *prosumidor* que *infofabrica* productos tanto para un uso personal o compartido, y permitirá la creación de nuevos productos o servicios que a su vez contribuyen al desarrollo de formatos de negocio y al crecimiento de las empresas gracias al incremento de la competitividad y de su diferenciación.

La capacidad de producir, comercializar y distribuir productos físicos, dondequiera que exista una infraestructura IoT a la que conectarse, tendrá una influencia enorme en la organización espacial de la sociedad. La impresión 3D es local y global al mismo tiempo, insiste Rifkin, ya que al ser muy transportable permite que los infoproductores puedan trasladarse con facilidad a cualquier lugar donde haya una infraestructura IoT a la que conectarse. Cada vez más habrá más *prosumidores* que fabricarán productos sencillos en su casa. Empresas y corporaciones internacionales de primer nivel como Google, Nike, Nokia, Disney, Qualcom o Microsoft, ya están dando los primeros pasos a nivel experimental en el área de la *co-creación*. “Son todavía experimentos, pero las

marcas están buscando que la gente pueda imprimir en su casa cosas relacionadas con sus productos”⁴⁹. La tendencia social en la impresión en 3D es a la democratización de la fabricación, lo que significa: “que cualquier persona y con el tiempo todo el mundo –pueda tener acceso a los medios de producción haciendo que la pregunta de quién debe poseer y controlar esos medios sea tan irrelevante como lo acabará siendo el capitalismo”⁵⁰.

La impresión 3D es una tecnología disruptiva para el 2015 y en adelante, según la consultora Gartner. En su informe anual (octubre 2014) de tendencias para 2015, consideró que la impresión 3D –aunque su origen está en 1984, comenta en el informe– se dirige hacia la madurez gracias al incremento de ventas. Gartner anima a no perder de vista el desarrollo de la impresión en 3D en este y los próximos años, y destaca que, no obstante, los usuarios finales comenzarán a comprar impresoras 3D, serán las empresas las que desarrollen el valor real para el mercado. Gartner informa también que mientras que han existido dispositivos terriblemente caros durante 20 años, el actual mercado que va desde los 500 a los 50.000 dólares y con capacidades y materiales adecuados, se ha convertido en un mercado naciente, pero de rápido crecimiento. La consultora –que ya a finales de 2013 también consideró la impresión 3D como una tendencia tecnológica y ya aventuraba que la impresión en 3D era un medio real, visible y efectivo para reducir costos en los prototipos y en la fabricación de series cortas –ha visto cumplidas sus expectativas y es de esperar que en los próximos años se consolide la impresión 3D.

CASO DE ESTUDIO

“Un equipo liderado por el Instituto Smithsonian (www.si.edu) ha creado el primer busto de un presidente estadounidense partiendo de una imagen digital en tres dimensiones que, posteriormente, una impresora 3D transformó en escultura”⁵¹. El busto ha sido creado por un equipo liderado por Adam Metallo y Vicent Rossi y pasará a formar parte de la colección de retratos de presidentes estadounidenses que guarda la Galería de Retratos Nacional del Instituto Smithsonian.

EL FUTURO CERCANO. EL INTERNET DE TODO

Cisco, líder mundial en soluciones de redes de comunicaciones y con más de 70.000 empleados ha lanzado el concepto *Internet of Everything* (IoE, internet de todo, IdT) como una evolución y un concepto más amplio de IoT. Cisco define la internet de todo como la conexión de cuatro elementos: “cosas” o dispositivos, personas, datos y procesos. De los cuatro elementos, los datos son clave en el concepto o futura plataforma. El 12 de diciembre de 2014 y con ocasión de su conferencia anual en San José (California) el presidente de Cisco, John Chambers, presentó a nivel mundial la estrategia Cisco de Internet de Todo y de qué modo

este nuevo paradigma y futura plataforma va a cambiar la vida de todas las personas del mundo, además de que crecerá rápidamente de manera que su implantación supondrá cambios dramáticos.

Para soportar la estrategia de IoE, Chambers confirmó la cifra que ya conocíamos, de que en 2020 se estimaba en 50.000 millones el número de dispositivos conectados en el mundo y puso un ejemplo de lo que ocurriría a quien no se adapte a estos cambios: aseguró que en base al análisis de los datos que están en su poder, 40% de las empresas de la lista *Fortune* que no se adapten a estos cambios habrán dejado de existir. En la práctica, lo que se planea Cisco es proveer soluciones para acercar los datos adonde se producen, en lugar de conservarlos en las bases de datos, bancos o almacenes de datos tradicionales, de modo que el usuario pueda disponer de ellos cuando y como quiera. Se prevé que el impacto de IoE cambiará el mundo del trabajo y, en particular, tendrá un gran impacto en áreas como la industria manufacturera, la administración de la ciudad y también la educación y servicios de salud.

Una simple reflexión de impacto en la vida diaria. El incremento del número de dispositivos utilizados para la comunicación a través de la red global entraña preguntarse: ¿qué pasa con el consumo de energía que esta cantidad de dispositivos conectados o por conectar requiere? El Internet de Todo, que abarca sistemas y personas, ligado a la demanda global de energías limpias y sustentables, han motivado que la industria mire ahora hacia la red eléctrica mundial, con el objetivo de atender las necesidades energéticas del IoE. Con el objetivo de poder satisfacer los requerimientos energéticos de esta cuarta ola de Internet –soporte de la cuarta revolución industrial–, las redes eléctricas en todos los países tendrán también que evolucionar y adaptarse a fin de poder integrarse también dentro del ecosistema de IoE.

El futuro de la década próxima seguirá la evolución de la *internet de las cosas* y su extensión en la *internet de todo*, paradigmas de una nueva plataforma que configurarán un nuevo mundo social y tecnológico, y harán que “el futuro ya no será lo que era”, como diría el genial Groucho Marx, sino que “el futuro vivirá en el día a día como una ‘cosa’ más de la vida diaria”.

RESUMEN

La cuarta revolución industrial es la continuación de las tres primeras revoluciones industriales (1RI, máquinas de vapor y ferrocarril; 2RI, motores de combustión y eléctricos; desarrollo de aeroplanos y automóviles; aparición del teléfono y de la radio; 3RI, automatización, computación e informatización). Su despliegue se ha producido después del lanzamiento de la iniciativa Industria 4.0 promovida por el gobierno y empresas de Alemania.

Industria 4.0 es el soporte de la cuarta revolución industrial y los pilares tecnológicos recogidos en los documentos oficiales son: Sistemas Ciberfísicos, Internet de las Cosas y la Impresión 3D (fabricación aditiva). Estos pilares tecnológicos se apoyan en otras tecnologías clave: la nube (*cloud computing*), *big data* y la ciberseguridad.

Existen dos tendencias de la tercera revolución industrial auspiciada por el gurú tecnológico y social Jeremy Rifkin, en su conocida obra *La tercera revolución industrial*, y la revista *The Economist*, con su dossier “*La fábrica del futuro*”. Consideramos que en la práctica ambas predicciones coinciden con la iniciativa la *Cuarta Revolución Industrial*.

Conceptos clave de Industria 4.0

- El concepto de Industria 4.0 nació en 2011 en Alemania para describir la digitalización y procesos industriales mediante la interconexión de Internet de las Cosas
- El informe final del proyecto Industria 4.0 fue publicado en abril de 2013 por la Academia Nacional de Ciencias e Ingeniería (ACATECH) de Alemania. Enumera y explica las recomendaciones para implementar la iniciativa estratégica Industria 4.0.
- En el Foro de Davos de 2016 se trató como tema central la cuarta revolución industrial, y se presentó el libro de igual título escrito por Klaus Schwab, su director y fundador, que se ha convertido en una referencia en esta nueva revolución industrial.
- Industria Conectada 4.0. Es una iniciativa lanzada en julio de 2015 por el gobierno de España apoyada por tres grandes empresas multinacionales españolas: Banco de Santander, Indra y Telefónica.
- El Internet de las Cosas es el motor de Industria 4.0 y la cuarta revolución industrial, y permite la conexión de los miles de millones de objetos inteligentes (electrodomésticos, relojes, pulseras, gafas...) existentes en la actualidad, y los muchos que se prevén para los próximos años. La conectividad global aumentará gracias a los objetos inteligentes (mediante sensores, etiquetas RFID, NFC...) con la posibilidad de conectarse entre ellos a través de Internet.
- Las ciudades inteligentes son uno de los exponentes de mayor impacto de la Internet de las Cosas y la cuarta revolución industrial.
- La fabricación aditiva y la impresión 3D son espinas dorsales de la fabricación inteligente.

Tecnologías disruptivas soporte de la Industria 4.0

- Sistemas ciberfísicos

- Internet de las cosas
- La nube (*cloud computing*)
- *Big Data*
- Inteligencia Artificial
- Robots autónomos y colaborativos
- Robots virtuales (asistentes virtuales)
- Impresión 3D
- Realidad aumentada y realidad virtual (la integración de ambas, conocida como realidad fusionada o realidad mixta)
- Ciberseguridad
- Tecnologías wearables
- Drones

BIBLIOGRAFÍA

- **ACATECH** (2013). *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0.* Final report of the Industrie 4.0 Working Group. ACATECH/Ministerio de Educación e Investigación. Gobierno Federal de Alemania. [en línea]: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- **BSC** (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.* Cap. 2. The Nine Pillars of Technological Advancement. The Boston Consulting Group. [en línea] https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/
- **COTEC** (2015). *La fabricación inteligente.* Fundación COTEC, Madrid: 2015.
- **EOI /PwC** (2015). *Las tecnologías IoT dentro de la Industria Conectada 4.0.* Madrid: EOI.
- **GÓMEZ** González, Sergio (2016). *Impresión 3D.* Barcelona: Marcombo.

- **RIFTKIN**, Jeremy (2011). *La Tercera Revolución Industrial. Cómo el poder lateral está transformando la energía y cambiando el mundo.* Barcelona: Paidós.
- **RIFTKIN**, Jeremy (2011). *La sociedad de coste marginal cero. El Internet de las cosas, el procomún colaborativo y el eclipse del capitalismo.* Barcelona: Paidós.
- **SCHWAB**, Klaus (2015). «The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond». *Foreign Affairs*. Diciembre 2015. [en línea] <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. Este artículo también está publicado en el sitio web del WEF y disponible para su descarga: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>.
- **SCHWAB**, Klaus (2016). *La cuarta revolución industrial.* Barcelona: DEBATE. Prólogo de Ana Patricia Botín.
- **WEF** (2016). World Economic Forum Annual Meeting 2016 Mastering the Fourth Industrial Revolution. (Davos, Suiza). World Economic Forum.

NOTAS:

¹ Mar Galtés en la sección de Economía del periódico *La Vanguardia*, “La revolución tecnológica industrial”, 6 de julio de 2013, [disponible en: <http://www.lavanguardia.com/economia/20130707/54377301482/la-revolucion-tecnologica-industrial.html>] [consultado 8 de abril de 2016].

² *Ibid*, *La Vanguardia*.

³ *Industrial Internet: A European Perspective: Pushing the Boundaries of Minds and Machines* (empujando los límites de mentes y máquinas). Junio 2013. [en línea] [//www.ge.com/europe/downloads/IndustrialInternet_AEuropeanPerspective.pdf](http://www.ge.com/europe/downloads/IndustrialInternet_AEuropeanPerspective.pdf) [consultado 27 de noviembre de 2016].

⁴ Siemens, el fabricante industrial de hardware y software alemán.

⁵ Texas Instruments, “Advancing the Smart Factory through technology innovation”. Avanzando la inteligencia fabril con innovación tecnológica, 2014. Texas Instruments es una de las grandes compañías y tradicionales líderes en fabricación de chips electrónicos.

⁶ https://es.wikipedia.org/wiki/Revolución_Industrial

⁷ http://www.lafaco.com/apuntes/historia/etap_revo_indice.
Documento muy utilizado en el que se sintetiza en una tabla las “etapas de la revolución industrial”, las características de cada revolución industrial (primera a tercera).

⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Tercera_revolución_industrial . Definición de la enciclopedia Wikipedia [consultada 20 de noviembre de 2016].

⁹ Jeremy Rifkin. *La Tercera Revolución Industrial. Cómo el poder lateral está transformando la energía y cambiando el mundo*. Barcelona: Paidós Ibérica, 2011.

¹⁰ En la contraportada del libro de Rifkin, “La sociedad de coste marginal cero. El Internet de las cosas, el programa colaborativo y el eclipse del capitalismo”, Barcelona: Paidós, 2014. 1a. ed. de septiembre, 2014.

¹¹ Página oficial de Naciones Unidas.
www.un.org/es/sustainablefuture/rifkin.shtml [consultado 27 de noviembre 2016].

¹² Ibíd., Naciones Unidas.

¹³ Helena Herrero, “Digitalizar la empresa”, presentación en Bilbao, 30 de octubre de 2014, presidente de HP, España y Portugal. [en línea]
<http://www.acefam.org/wp-content/uploads/Programa-Congreso-APD-Bilbao-30-y-31-de-octubre.pdf>

¹⁴ The Economist. “Manufacturing: The Third Revolution”, 21 de abril, 2012.
www.economist.com/node/21553017

¹⁵ Iñigo Felgueroso, “La fábrica del futuro”, El Comercio. La Voz de Avilés, núm. 11759, 1 de mayo de 2012, Sección de opinión.

¹⁶ Guía sobre fabricación aditiva, Fundación Cotec.

¹⁷ www.economist.com/node/21552901

¹⁸ <http://www.sintetia.com/la-tercera-revolucion-industrial-la-fabrica-del-futuro> También consultar en Guía sobre Fabricación Aditiva de la Fundación para la Innovación Tecnológica (COTEC).

¹⁹ Ibid, p. 6.

²⁰ DFKI Newsletter núm. 2-2011. DFKI GmbH (German Research Center for Artificial Intelligence), 2011.

²¹ Resultados de la encuesta realizada por el proveedor de servicios informáticos CSC entre 900 altos directivos de empresas en Alemania, Austria y Suiza. Ver “Industria 4.0: hacia el futuro de la producción industrial” en *Economía Hispano-Alemana*, núm. 2, 2015, pp. 7-8.

²² Eneko Ruiz Jiménez, “La cuarta revolución industrial llega desde Alemania”, *El País*, 2 julio de 2015.

http://www.elpais.com/ccaa/2014/10/15/paisvasco/1413383975_967198.html [consultado 2 de octubre, 2015].

²³ Informe “Industria Conectada 4.0. La transformación digital de la industria española”.

²⁴ WEF (2016). *World Economic Forum. Annual Meeting 2016 Mastering the Fourth Industrial Revolution*, 20-23 de enero, 2016.

²⁵ La edición en español fue publicada en noviembre de 2016 con el título “La cuarta revolución industrial” en la editorial española Debate.

²⁶ Michael Rüßmann, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, y Michael Harnisch. *The Boston Consulting Group. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Cap. 1. The Nine Pillars of Technological Advancement*, 9 de abril, 2015.

https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_4_0_future_productivity_growth_manufacturing_industries/#chapter1

²⁷ Op. cit. p. 23.

²⁸ Ibidem.

²⁹ <http://www.cebit.de/home> [consultado 8 diciembre, 2015].

³⁰ John Micklithwait y Adrian Wooldridge (editores de *The Economist*), *The Fourth Revolution. The Global Race to Renovate the State*. Penguin, 2014 (mayo 2014). Jeremy Averous. *The fourth Revolution. How to thrive through the world's transformation*. Fourth Revolution Publishing (2011, thefourthrevolution.org).

³¹ Jaap Bloen et al. Informe “The Four Industrial Revolution Things to Tighten the Link Between IT and OT” Sogeti/CAP Gemini, 2014 (vint.sogeti.com). Sogeti es una empresa subsidiaria de Cap Gemini, especializada en desarrollo de soluciones de software.

³² <http://scn.sap.com/community/business-trends/blog/2013/04/10/be-prepared-for-the-4th-industrial-revolution> [consultado 29 de noviembre, 2014].

³³ Op. cit. Helena Herrera.

³⁴ <http://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things>

³⁵ Jeremy Rifkin, op. cit., p. 24. La sociedad de coste marginal cero.

³⁶ El informe de CISCO, realizado en abril de 2011, por Dave Evans: Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo, fue un estudio preliminar sobre Internet de las Cosas y que posteriormente en años sucesivos, fue ampliado y ratificado con cifras estadísticas similares (nuevo nombre para los siguientes informes anuales: Cisco Visual Networking Index). En este informe previo se señalaba que Internet de las Cosas "nació" entre los años 2008 y 2009, y que el número de habitantes de la población mundial para 2020 sería 7.600 millones de habitantes y el número de dispositivos conectados en ese mismo año, serían 50.000 millones. [en línea] www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executiva/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

³⁷ Traducción recomendada por la Fundación Fundéu BBVA (Fundación del Español Urgente, www.fundeu.es).

www.fundeu.es/recomendacion/tecnologia-posible.mejor-que-wearable-technology [consultada 3 de diciembre, 2015].

³⁸ Digital Life in 2025. The Internet of Things will Thrive by 2025. 14 de mayo, 2014. Pew Research Center.

<http://www.pewinternet.org/2014/14/internet-of-things> [consultado 30 agosto 2014].

³⁹ Ibid. Lauren Papworth, educadora en redes sociales.

⁴⁰ Nota de prensa de Telefónica, de la conferencia de Luis Miguel Gilpérez, Presidente de Telefónica en la Smart City Expo World Congress, de Barcelona (14 de noviembre, 2014)-

⁴¹ www.smartcityexpo.com/congress_program [consultado 30 noviembre, 2014]

⁴² Op. Cit. Rifkin, 2014: 27.

⁴³ www.fi-ware.org/eventomultisede; www.fi-ware.org; lab.fi-ware.org

⁴⁴ www.ibm.com/smarterplanet/us/en/overview/ideas/?re=spf

⁴⁵ Op. cit., The Third Industrial Revolution. The Economist, 21 de abril de 2012.

⁴⁶ Juan Manuel García Campos. "Imprimir el mundo". La Vanguardia, 28 de febrero, 2014 [consultado el 20 de noviembre, 2014].

⁴⁷ Autor del libro de referencia “*The Long Tail: Why the Future of Business is Sellingg Less of More*” (La teoría de la larga cola).

⁴⁸ Op. cit., Rifkin, pp. 118-124.

⁴⁹ Jon Bengoextxe, CEO de Tumaker –fabricante de impresoras 3D para uso personal–, en declaraciones a *El Mundo*, en sección Innovadores, 4 de noviembre de 2014.

⁵⁰ Rifkin, op. cit., p. 123.

⁵¹ Miguel Pérez García, “Un busto de Obama con impresora 3D”. *El País*, elpais.com/elpais/2014/12/03/videos/1417616892_825582.html [Consultado 3 diciembre, 2014].