



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE GRADO

Título
Industria 4.0
Autor/es
Carolina Castresana Sáenz
Director/es
Idana Salazar Terreros y Pilar Vargas Montoya
Facultad
Facultad de Ciencias Empresariales
Titulación
Grado en Administración y Dirección de Empresas
Departamento
Curso Académico
2015-2016



Industria 4.0, trabajo fin de grado
de Carolina Castresana Sáenz, dirigido por Idana Salazar Terreros y Pilar Vargas Montoya
(publicado por la Universidad de La Rioja), se difunde bajo una Licencia
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.
Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los
titulares del copyright.

© El autor
© Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones,
publicaciones.unirioja.es
E-mail: publicaciones@unirioja.es



FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

INDUSTRIA 4.0

Autor: D^a Castresana Sáenz, Carolina
Tutor/tutores: Prof. D^a Salazar Terreros, Idana
Prof. D^a Vargas Montoya, Pilar

CURSO ACADÉMICO 2015-2016

RESUMEN

La eclosión de la tecnología en las últimas décadas, en especial de las denominadas TICs (Tecnologías de la Información), y su aplicación a los procesos de producción de la industria ha conducido al surgimiento de la denominada Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial.

El objetivo del presente trabajo consiste en proporcionar una visión clara, lo más precisa posible, acerca de qué es Industria 4.0. Igualmente, se busca identificar y transmitir la trascendencia de las implicaciones derivadas de esta transformación a todos los niveles, especialmente en lo económico, industrial y social.

Para ello se ha analizado pormenorizadamente este nuevo paradigma, explicando su propósito, los desafíos a superar y, sobre todo, dando una descripción detallada de las diversas tecnologías que lo integran. Su aplicación dota de inteligencia a los procesos productivos y permite la interacción entre máquinas, personas y sistemas. De esta forma aparecen factorías inteligentes (*smart factories*) capaces de fabricar productos también inteligentes (*smart products*).

Por último, se ha estudiado cómo las instituciones gubernamentales están afrontando este reto, y en concreto, las iniciativas y actuaciones en materia de empleo, valor añadido industrial, I+D, clima/energía y educación. El apoyo de estas instituciones es imprescindible para conseguir la adopción de las nuevas tecnologías y la reconversión de la industria nacional.

ABSTRACT

The hatching of technology in recent decades, especially the called ICT (Information Technology), and its application to production processes in the industry has led to the emergence of the so-called Industry 4.0 or Fourth Industrial Revolution.

This study aims to provide a clear vision, as accurate as possible, about what Industry 4.0 is. It also seeks to identify and convey the significance of the whole implications that involves this transformation, especially in the economic, industrial and social levels.

For this we have thoroughly analyzed this new paradigm, explaining its purpose, challenges to overcome and, above all, giving a detailed description of the various technologies that comprise it. Its application gives intelligence to production processes and enables interaction between machines, people and systems. So, they appear intelligent factories (*smart factories*) capable of manufacturing also *smart products*.

Finally, we studied how government institutions are facing this challenge, in particular, initiatives and actions concerning employment, industrial added value, R & D, climate / energy and education. The support of these institutions is essential for the adoption of new technologies and the restructuring of domestic industry.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. UN ACERCAMIENTO A LA INDUSTRIA 4.0	9
2.1.Retrospectiva	9
2.2.Horizonte 2020	10
2.3.Actualidad económica - ¿Dónde nos encontramos?	11
3. ¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?	12
3.1.Objetivos	12
3.2.Retos y desafíos	14
4. FÁBRICAS INTELIGENTES	17
4.1.Características de las Fábricas Inteligentes	17
4.2.Factores Críticos	20
5. TECNOLOGÍAS HABILITADORAS	21
6. ACTUACIONES GUBERNAMENTALES	36
7. CONCLUSIONES	45
8. BIBLIOGRAFÍA	47

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

Figura 1: Industria 4.0: objetivos, retos y elementos	8
Figura 2: Producto inteligente indica cómo deber ser procesado	13
Gráficos 1 y 2: Distribución por sectores del consumo final de energía (2010 y 2014) ..	15
Figura 3: Relación de flexibilidad	18
Figura 4: Cadena tradicional de montaje	19
Figura 5: Dispositivos conectados por persona y momento en que nace IoT	22
Tabla 1: Porcentaje de usuarios de Internet para el periodo 2006 – 2014.....	22
Figura 6: Interrelación entre el IoT y los CPS	24
Figura 7: Uso ocioso de Realidad Aumentada	24
Figura 8: Uso profesional de Realidad Aumentada.....	25
Figura 9: Simulación de una planta productiva	26
Gráfico 3: Suministro anual de robots industriales a nivel mundial	27
Figura 10: Ejemplo de Robots Colaborativos YuMi (ABB) y Sawyer (Rethink Robotics)	28
Gráfico 4: Uso de la Fabricación Aditiva por sectores de actividad	30
Gráfico 5: Aplicaciones de la Fabricación Aditiva	30
Tabla 2: Motivos para la implementación de soluciones <i>Cloud Computing</i>	33
Figura 11: Ciberataques contra Estados Unidos.....	35
Gráfico 6: Evolución del PIB industrial europeo de 2000 a 2014 (en %)	37
Gráfico 7: Evolución del nivel de desempleo europeo de 2006 a 2014 (en %)	37
Gráfico 8: Comparación del PIB industrial europeo y de sus principales países (en %) ..	38
Figura 12: Visión general de las iniciativas europeas en la digitalización industrial.....	39
Tabla 3: Posicionamiento de Alemania respecto a los indicadores europeos	40
Tabla 4: Posicionamiento de Francia respecto a los indicadores europeos	41
Tabla 5: Posicionamiento de Reino Unido respecto a los indicadores europeos	42
Tabla 6: Posicionamiento de España respecto a los indicadores europeos	43
Tabla 7: Posicionamiento de Estados Unidos respecto a los indicadores europeos	44
Tabla 8: Posicionamiento de China respecto a los indicadores europeos	44

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Acatech: Academia alemana de Ciencias e Ingeniería

CPS: Sistemas Ciberfísicos

IoT: Internet de las Cosas

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

DFKI: Centro alemán de Investigación en Inteligencia Artificial

NSF I/UCRC: Centros de Investigación Cooperativa Industrial/Universidad de la Fundación Nacional de Ciencias

OEE: Eficiencia General de los Equipos

IFR: Federación Internacional de Robótica

CAD: Diseño Asistido por Computadora

NIST: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología

ISACA: Asociación de Auditoría y Control de Sistemas de Información

CCN-CERT: Capacidad de Respuesta e incidentes de Seguridad de la Información del Centro Criptológico Nacional

BIS: Departamento de Negocios, Innovación y Habilidades de Reino Unido

AMP: Asociación de Fabricación Avanzada de Estados Unidos

NNMII: Red Nacional de Institutos de Innovación de la Fabricación

1. INTRODUCCIÓN

“La fábrica del futuro tendrá dos empleados: un humano y un perro. La labor del humano será dar de comer al perro y la del perro, evitar que el humano toque los sistemas automatizados” (Ors, 2014).

Esta ingeniosa, aunque ciertamente exagerada, definición de Warren Bennis¹ - una de las estrellas del “management” actual- sobre la Industria 4.0 fue uno de los detonantes que despertaron en mí una viva curiosidad por conocer a fondo este fascinante fenómeno. A medida que me iba familiarizando con el increíble mundo tecnológico que se abría ante nuestros ojos -mientras apenas alcanzaba a intuir las infinitas posibilidades que se dibujaban en el horizonte del futuro, pero también del presente más inmediato-, comprendí la importancia vital que tendrá, tanto a nivel individual como sobre todo colectivo, saber adaptarse a esta nueva Revolución Industrial y también social.

Mi motivación, por tanto, al inclinarme por este tema para mi Trabajo Fin de Grado radica en ser pionera en dar a conocer, al menos a nivel local, este nuevo paradigma que, en muy breve lapso de tiempo, va a revolucionar nuestras vidas. Pero junto a esta motivación personal, coexiste también, cual si fuera un símil de la realidad físico-virtual que configura el mundo industrial 4.0, un objetivo meta personal: intentar sembrar el germen de esta revolución tecnológica entre las instancias que tienen en sus manos los medios y la capacidad de decidir si queremos enganchar, de una vez por todas, nuestro vagón al tren de los países desarrollados o si, al final, tenemos que resignarnos una vez más a ser *“quienes den de comer al perro...”*

Es una decisión de tal calado y con tales implicaciones que, a mi juicio, bien merecía la pena poner todo mi esfuerzo a favor de la causa, con la esperanza de haber sabido transmitir con exactitud y acierto conceptos que no siempre son fáciles de comprender.

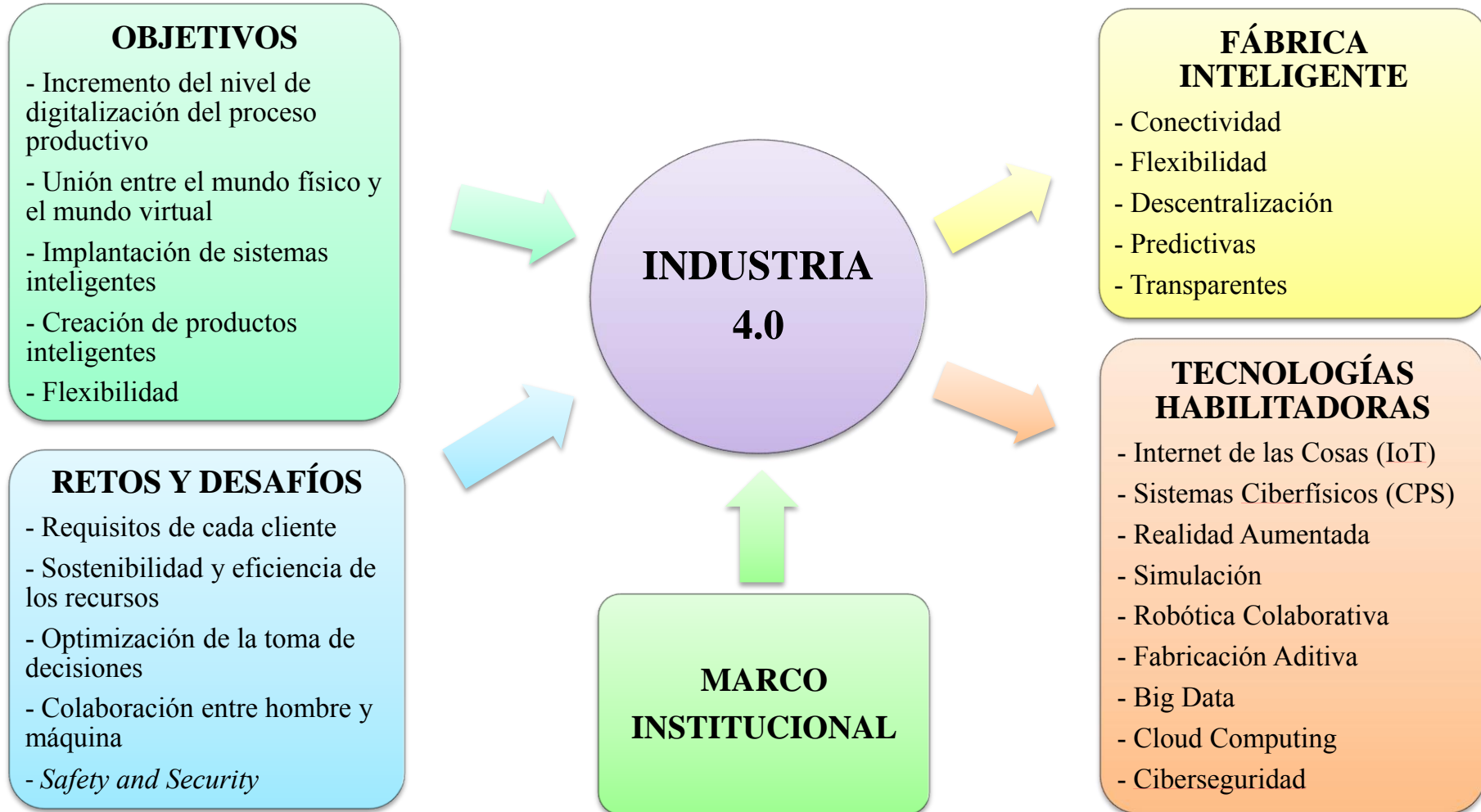
Por este motivo, se ha tratado de elaborar el documento con la máxima coherencia y lógica en cuanto a la sucesión de sus apartados se refiere. En primer lugar, se comienza por contextualizar históricamente este fenómeno, haciendo un breve recorrido por las tres revoluciones predecesoras, e identificando el momento en que nos encontramos actualmente, ayudando a comprender la situación de partida para alcanzar el horizonte que se vislumbra. A continuación se aborda la definición de Industria 4.0 y se profundiza, tanto en los objetivos que ésta pretende lograr, como en los desafíos a los que se enfrenta esta Revolución. Posteriormente se explican las características que definen las fábricas del futuro -así como una serie de factores críticos sobre los que se deberá actuar decisivamente-, y se continuará con una exposición individual y detallada de las tecnologías que habilitarán este nuevo escenario. Para finalizar el trabajo, se presentan las distintas actuaciones que las instituciones gubernamentales (de los

¹Warren Bennis: distinguido profesor de Administración de Negocios y Presidente fundador del Instituto de Liderazgo de la Universidad del Sur de California.

principales países del mundo), están llevando a cabo para afrontar este reto de Industria 4.0. Como punto de clausura al documento se exponen unas breves conclusiones que permitan recoger las principales ideas y efectos que implica esta nueva Revolución Industrial.

Invito al lector a navegar conmigo poniendo rumbo hacia esta nueva aventura que se presenta, y para guiarnos en esta singladura hacia la Industria 4.0, se adjunta una “brújula” que nos orientará y servirá de referencia en todo momento.

Figura 1: Industria 4.0: objetivos, retos y elementos



Fuente: elaboración propia

2. UN ACERCAMIENTO A LA INDUSTRIA 4.0

2.1. Retrospectiva

La evolución experimentada por la industria -entendida como el conjunto de procesos y actividades que permiten transformar materias primas en productos elaborados o semielaborados-, se ha visto afectada por el surgimiento de avances tecnológicos (invención de maquinarias, medios de transporte, técnicas y nuevas fuentes de energía) que han marcado un antes y un después en la historia.

Estos hitos se denominan “Revolución Industrial”, la cual podría definirse como aquella sucesión de cambios, caracterizados por su profundidad y rapidez, que afectan al conjunto de una sociedad. Estos cambios abarcan desde los modos de producción hasta la estructura de la población, las relaciones entre comunicaciones, personas, y esquemas de vida; es decir, que sus efectos y repercusiones alcanzan a todos los sectores de la realidad económica y social (Jutglar, 1999).

Y es que hablar de Revolución Industrial significa hablar de puntos de inflexión, de transformación y de evolución. O dicho de otra forma, significa hablar de crecimiento y desarrollo. El fenómeno que vamos a estudiar es conocido de varias formas, principalmente como Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial porque encuentra sus antecedentes en las tres revoluciones industriales anteriores.

Corría el año 1760 cuando, en tierras británicas, la primera etapa de este gran fenómeno comenzaba su andadura. Fueron dos hombres, Thomas Newcomen y, posteriormente, James Watt, quienes inventaron y perfeccionaron – respectivamente – uno de los inventos que se convertiría en icono de la Primera Revolución Industrial: la máquina de vapor. Este invento junto al descubrimiento de nuevas materias primas, tales como el algodón, el hierro y el carbón, impulsaron el desarrollo del sector textil, siderúrgico y de transportes (con la aparición del ferrocarril y el barco de vapor). Todo ello significó la mecanización de las tareas que, hasta ese momento, eran manuales y cuya fuerza motor no era sino la humana y animal, propiciando así la transición de una economía agrícola y artesanal a una economía industrial (Florit, 1999).

El siguiente punto de inflexión en el proceso de industrialización tuvo lugar a mediados del siglo XIX, y vino acompañado por el hallazgo de fuentes de energía más ricas, como el gas, el petróleo o la electricidad (que se convertirían en el símbolo de esta Segunda Revolución Industrial), pero también por los increíbles avances en los sistemas de comunicación, con la invención de la radio (Guillermo Marconi) y el teléfono (Graham Bell), así como en los medios de transporte, con la aparición del primer avión (hermanos Wright) y el automóvil. El inventor de éste último fue el estadounidense Henry Ford, uno de los mayores protagonistas de esta etapa, no solo por el descubrimiento del automóvil, sino porque trajo consigo la producción en masa y una mayor especialización de las tareas al organizar los procesos productivos en base al concepto de división del trabajo.

Durante el pasado siglo XX, una nueva ola de avances dio inicio a la Tercera Revolución Industrial. Una vez más, el desarrollo de las fuentes de energía, tales como

la nuclear y fuentes alternativas como la eólica, solar e hidráulica, jugaron un papel fundamental; pero el verdadero protagonismo recayó sobre las llamadas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Los descubrimientos en informática, electrónica y telecomunicaciones hicieron posible, no solo que un número importante de tareas se realizarán de forma automática en los procesos productivos, sino que además han sido responsables de la proliferación de nuevas tecnologías (PC, ordenadores portátiles, móviles, etc.), así como de la irrupción de Internet y de las redes sociales.

2.2. Horizonte 2020

Como se puede observar, en las tres revoluciones industriales se ha seguido un patrón de sucesos: en los últimos 250 años ha existido una firme motivación por llevar un paso más allá a la industria, por producir más y mejor. Ello impulsó descubrimientos y avances tecnológicos que han marcado cambios de ritmo en el ámbito de la innovación, y cuya aplicación cada vez mayor (tanto en número como en profundidad) desencadenó incrementos de productividad, ahorros en tiempos de fabricación, mejoras de la eficiencia y aumento de beneficios. Estos cambios propiciaron el crecimiento del comercio, de las ciudades y, por consiguiente, favorecieron la mejora del nivel de vida de la población (Jutglar, 1999).

Y es que, desde los inicios del proceso de industrialización en el siglo XVIII, la industria se ha erigido como una fuerza transformadora de los estilos de vida, de la cultura, la economía y la organización social tradicionales. La presidenta de Siemens en España, Rosa García, explica que la industria se ha convertido en un factor determinante de sostenibilidad y estabilidad para el conjunto de la sociedad, puesto que hablar de industria implica hablar de riqueza, empleo, prosperidad y, por tanto, de desarrollo y crecimiento económico; es decir, la industria es sinónimo de “*garantía*” afirma García. Pero ¿a qué se debe esta reacción en cadena? La respuesta podemos encontrarla en su denominado “efecto multiplicador”. Como ha demostrado la historia, si la industria crece, el país crece, pues el desarrollo de ésta se convierte en estímulo y motor de otros mercados, dando lugar a dicha prosperidad y estabilidad. García (2013) analiza este efecto multiplicador a tres niveles: “*en crecimiento (1\$ en industria genera 1’4\$ en otros sectores), en empleo (1 nuevo puesto de trabajo en el sector industrial genera una media de 2 empleos nuevos en otros sectores) y en competitividad (los países con mayor nivel de industrialización tienen mayores cuotas de mercado en exportaciones)*”.

A pesar de ello, en las últimas décadas -y especialmente tras la crisis económica iniciada en 2008 que afectó a la vasta mayoría de países del mundo-, el peso de la industria en las economías ha ido decreciendo (PIB industrial europeo en el año 2000 era del 18’5% y en el 2012 de 15’2%, según la Comisión Europea, 2013) en pos de otros ámbitos como el sector servicios. Desde Europa se defiende el papel clave de la industria no solo para la recuperación económica, sino también como pieza motora para devolver a la economía europea a la senda del crecimiento (Comisión Europea, 2013). Ello encuentra su razón en dos evidencias: 1) los países que mejor han superado la pasada crisis se caracterizan por un férreo sector secundario; y 2) cinco de los diez

países más competitivos a nivel mundial presentan un PIB industrial por encima del 20% (García, 2013).

Conseguir que la industria recupere su peso en la economía (con niveles por encima del 20%) es el objetivo final que se plantea desde Europa. Para ello, la Comisión Europea ha desarrollado el programa “Horizonte 2020” que indica el camino que se ha de seguir, en un periodo que abarca desde 2014 hasta 2020, y que pasa por el logro de tres objetivos principales: 1) la creación de una ciencia de excelencia que refuerce el posicionamiento de Europa en el contexto científico mundial; 2) prestar atención a seis áreas principales (salud, alimentación, energía, transporte, clima y materias primas) que permitan la resolución de problemas sociales, como el envejecimiento de la población, la protección informática y una economía eficiente y baja en emisiones; y 3) el desarrollo de tecnologías y sus aplicaciones para mejorar la competitividad europea, centrándose en campos como la nanotecnología, biotecnología, los materiales avanzados, fabricación y transformación avanzada y el desarrollo de las TIC (Comisión Europea, 2013).

Con todo ello, la estrategia europea para alcanzar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador, consiste en un resurgimiento de la industria, o lo que es lo mismo, una nueva revolución industrial que permita recuperar la motivación y confianza de tiempos pasados y, por consiguiente, la hegemonía de la industria (Comisión Europea, 2013). Industria 4.0 puede guiar el camino hacia el logro de dicho objetivo.

2.3. Actualidad económica - ¿Dónde nos encontramos hoy?

Como ha quedado patente, en la base de cualquier revolución industrial se encuentra toda una serie de adelantos tecnológicos que la hacen posible (Jutglar, 1999). Por lo tanto, para que haya revolución tiene que haber innovación, o dicho de otra forma, si se producen descubrimientos que “rompan” con lo establecido y signifiquen un punto de inflexión con lo actual, habrá revolución. Ese es el punto en que hoy nos encontramos.

El siglo XXI conduce la industria hacia otro cambio de paradigma; trae consigo la Cuarta Revolución Industrial, y todo apunta que seguirá el mismo patrón que sus antecesoras. Recientemente se viene desarrollando una nueva concepción de industria, abierta y conectada (Industria 4.0), impulsada por el surgimiento de novedosas tecnologías, materiales, y software, cuya convergencia permitirá la interconexión e interacción de los sistemas, transformando los modelos de producción, producto y servicio tal y como hoy los entendemos.

Ante las implicaciones que suscitan estas innovaciones, los expertos anuncian, con total seguridad, la inminente llegada de una nueva etapa, a la que han denominado “Industria 4.0 – la era de la digitalización”. Aunque todavía no existe una conciencia plena en la sociedad, en la actualidad, se están sentando las bases del futuro.

3. ¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?

Para hacernos una idea acerca de la complejidad que entraña el concepto de Industria 4.0, bastaría apuntar, como hizo Wolfgang Dorst², en el evento Basque Industry 2015 -organizado por el Gobierno Vasco y grupo Spri-, que sólo en el último año se han presentado 134 definiciones distintas para explicar este fenómeno (Spri, 2015a).

El concepto, de origen alemán, fue acuñado por el presidente de la Academia alemana de Ciencias e Ingeniería (Acatech), Henning Kagermann, y presentado por primera vez en la Feria de Hannover de 2011. Por tanto, Industria 4.0 es una iniciativa estratégica impulsada por el gobierno alemán que recoge todo un conjunto de recomendaciones para responder a los retos que plantea el objetivo europeo “Horizonte 2020”. Quizá el problema es que Industria 4.0 no es un producto físico en sí mismo que uno se pueda llevar, sino un *“titular, una idea que describe algo que está ocurriendo hoy y quizá vaya a seguir ocurriendo en la siguiente década”*. En este sentido es como una guía que nos señala el camino que vamos a tener que seguir en los próximos años (Spri, 2015a).

Ante tal complejidad, es necesario dar una imagen sencilla acerca de este fenómeno, como un punto de partida que nos permita entenderlo mejor. La idea básica en que se fundamenta la Revolución 4.0 es la aplicación masiva de las nuevas tecnologías, con Internet a la cabeza, a todos los procesos de una fábrica, de modo que el funcionamiento de la misma sea inteligente y absolutamente eficiente. Con estas premisas podríamos abordar una definición más técnica, en virtud de la cual Industria 4.0 consistiría en la implantación de una red tecnológica de producción inteligente, para que máquinas, dispositivos y sistemas colaboren entre sí. De esta manera se consigue fusionar el mundo real y virtual en las fábricas, permitiendo aumentar la optimización del control de los procesos de trabajo y de las cadenas de suministro.

3.1. Objetivos

Tras la definición aportada corresponde profundizar en los puntos clave de la misma. Por ello, se exponen a continuación los objetivos que caracterizan la visión para Industria 4.0 (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

La digitalización de extremo a extremo de las fases productivas dará lugar a instalaciones autónomas y cadenas de producción auto gestionables, elevando la cadena de valor del producto a un nuevo nivel de organización y control, gracias a la interacción e integración de los distintos eslabones (investigación, desarrollo, diseño, producción, logística y prestación de servicios).

Así mismo, industria integrada se refiere a la constitución de ese puente de unión entre el mundo físico y virtual (“integración” - conectar mundos diferentes), que significará la conexión e interacción dinámica entre todos los objetos, personas y

²Wolfgang Dorst: responsable del área Industria 4.0 en BITKOM, miembro de la Comisión Germano-China sobre Industria 4.0 y coordinador del informe de implantación de “Plataforma 4.0” promovido por el gobierno alemán.

sistemas (como una comunidad). Ello da lugar a los denominados “Sistemas Ciberfísicos” (CPS), sirviendo de base para la circulación y disponibilidad en tiempo real del conjunto de información y datos generados en los distintos procesos. Esta conectividad y retroalimentación constante e instantánea posibilitará la optimización y auto organización inmediata de la cadena de valor y, por consiguiente, será soporte de una mejora en la toma de decisiones.

Por lo tanto, estamos asistiendo a la implantación de procesos o sistemas inteligentes. Esta aplicación integral de la inteligencia (“smartización”) de los procesos nace de la simbiosis entre la instrumentación digital generalizada combinada con software avanzado a lo largo del conjunto de las instalaciones. Ello permite trabajar con grandes volúmenes de datos, proporcionando información de valor añadido, lo que a su vez deriva en la capacidad de: 1) optimización de redes y de mantenimiento preventivo – lograr eficiencias operativas gracias a la explotación y coordinación de los dispositivos interconectados, así como visualizar el estado de los mismos, siendo capaces de detectar y anticiparse a cualquier desviación o fallo, garantizando su fiabilidad-; 2) recuperación del sistema – capacidad de restaurar rápida y eficazmente el sistema tras sufrir el impacto de accidentes como grandes tormentas, terremotos o apagones, incluso poder divisarlos y aislar los equipos para evitar un efecto dominó-; 3) aprendizaje – agregación de conocimiento proveniente de experiencias de funcionamiento pasadas que permitan aumentar la velocidad de respuesta, incluso hacerlo de forma autónoma (Evans y Annunziata, 2012).

De esta forma, se adquirirá tal grado de flexibilidad, que será posible responder de forma más rápida y eficiente a las necesidades de los consumidores, extendiendo la personalización desde las fases de diseño y desarrollo hasta la fase de entrega y seguimiento, originando así un producto totalmente individual (Spri, 2014a).

Otro de los objetivos que caracterizará esta revolución serán los productos inteligentes, los cuales conocen los detalles de cómo deben ser fabricados y cómo están destinados a ser utilizados, lo que nos lleva a distinguir dos niveles: por un lado, encontramos los recursos, materiales o productos semielaborados, y por otro, los productos elaborados.

Los primeros, empleados en los procesos de fabricación, sabedores de los requerimientos de su propia fabricación, comunican y ordenan cómo deben ser tratados (ver Figura 2) y, además, posibilitan su ubicación en todo momento a lo largo de la planta productiva, lo cual significa que *“son capaces de controlar las etapas individuales de su producción”* (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Es más, si durante su elaboración, alguna de las máquinas falla, el producto tiene la inteligencia y autonomía para buscar una ruta alternativa hacia otra máquina operativa para continuar con su elaboración sin interrupciones. Y es que el producto será quien determine el diseño de las plantas

Figura 2: Producto inteligente indica cómo debe ser procesado



productivas, y serán las máquinas quienes deban adaptarse a él, al contrario de lo que ha ocurrido hasta ahora.

En cuanto a los productos terminados, que además de ser capaces de identificar cuándo están acabados y avisar de ello para su salida al mercado (incluso puede avisar directamente al cliente que lo encargó), son conocedores de los parámetros establecidos que delimitan su correcto funcionamiento, de tal forma que pueden reconocer signos de desgaste y facilitar su mantenimiento (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Según David Sánchez (División de Industria y Transporte de TecNALIA), *“durante décadas se ha vendido el producto al cliente, y después de una garantía, el fabricante se olvidaba de él”* (Spri, 2015b). Sin embargo, gracias a las TIC, se abre un amplio abanico de posibilidades para equipar y envolver al producto en tecnología, dotándole de características adicionales, que permita recibir información cuando esté en funcionamiento, facilitando la interacción proveedor – producto – cliente, y al mismo tiempo, transmitir datos que posibiliten conocer mejor a los usuarios, y por consiguiente, que otorguen beneficios (más allá de lo económico) tanto al proveedor como al cliente (Spri, 2015b). Y es que, lo que se busca con esta nueva generación de productos orientados al servicio, es conseguir el desarrollo de paquetes individuales de productos, servicios y soporte, conocido como *“smart connected products”*, ofreciendo así un conjunto único y personal a cada cliente (Ors, 2015).

3.2. Retos y desafíos

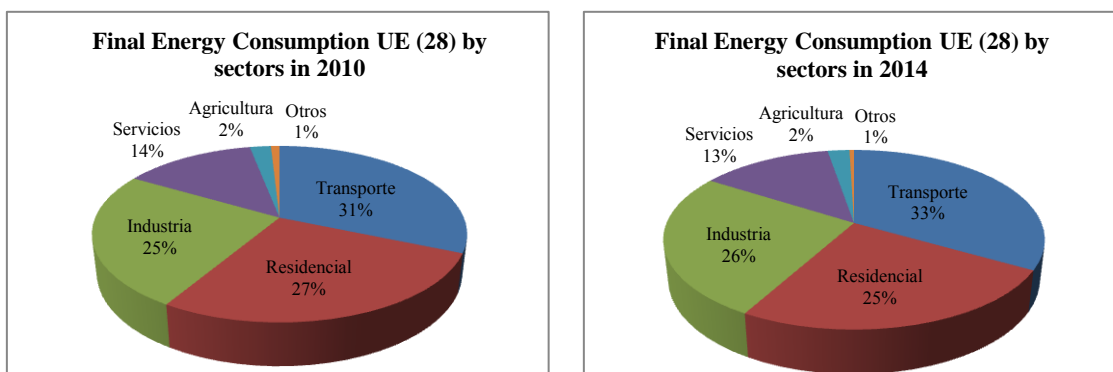
Resulta necesaria esta reinención de la industria, basada en la completa digitalización del proceso productivo, para dar respuesta a los nuevos retos que se plantean.

En primer lugar, Industria 4.0 busca cumplir con los requisitos de cada cliente. Rosa García, presidenta de Siemens en España, afirma que los actuales sistemas de fabricación resultan ineficientes ya que no satisfacen las nuevas necesidades de los clientes. Ello se debe a que éstos también están experimentando una transformación de su perfil y/o comportamiento, el cual está evolucionando de estar desinformado, de ser conformista y “querer lo que tienen todos”, hacia otro hiper-informado, más caprichoso, incluso impaciente, y ello se constata en que demandan productos cada vez más individuales, personalizados y exclusivos (Ors, 2015). La industria del futuro invita a los clientes a participar de forma activa en todas las fases de desarrollo del producto, permitiendo incluir sus criterios específicos en cada una de ellas -diseño, configuración, planificación, fabricación y funcionamiento-, incluso realizar cambios en el último momento. Con esta nueva perspectiva, se confiere al cliente el rol, no solo de consumidor, sino también de diseñador. Esto permitirá a las empresas tener un mayor acceso a datos e información generada por ellos, posibilitando conocerles mejor y facilitando la oferta de un producto totalmente único, dotándolo de funcionalidad individual (Spri, 2015a).

En segundo lugar, la sostenibilidad y eficiencia de los recursos ya no es una opción, sino una exigencia. El sector secundario figura como principal consumidor de

materias primas, electricidad y energía; aproximadamente el 30% del consumo mundial de energía procede del sector industrial (Siemens, 2013). Por ejemplo, como puede observarse en los Gráficos 1 y 2, el consumo europeo de energía por parte de la industria se sitúa en torno al 25%.

Gráficos 1 y 2: Distribución por sectores del consumo final de energía (2010 y 2014)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Igualmente, se deben tener en cuenta funciones y condiciones básicas de los procesos, como son los inicios, las paradas frecuentes, las reanudaciones o los productos defectuosos, ya que también suponen una fuente de desperdicio de materiales y energía (entre un 50% y 70% del consumo de energía eléctrica proviene de los motores). Si se suma la creciente escasez de los recursos, junto con sus elevados costes y las estrictas regulaciones ambientales, se obtiene como resultado un aumento, tanto en necesidad como en urgencia, de la búsqueda de soluciones que permitan un uso de los recursos de manera más eficiente y sostenible (Siemens, 2013).

Desde Europa existe plena conciencia de que el futuro, no solo de la industria sino también de la economía, dependerá de mantener el acceso a estas fuentes de energía – que son su sustento vital-, de garantizar un suministro equitativo e impulsar el reciclado y uso eficiente de los recursos. De ahí que centre sus esfuerzos en reducir consumos y, al mismo tiempo, en encontrar fuentes alternativas (Comisión Europea, 2013).

Por todo ello, se fomenta una completa integración de las TICs en el ámbito industrial que permita un control continuo de los niveles de consumo de las instalaciones y, por consiguiente, incrementar tanto la eficiencia como el rendimiento de las mismas.

El tercer reto al que se enfrenta esta nueva industria consiste en la optimización de la toma de decisiones. En los últimos años, uno de los principales objetivos ha consistido en recopilar la mayor cantidad de datos posibles. Sin embargo, según un estudio de la consultora McKinsey Global Institute (Manyika, Chui, Bisson, Woetzel, Dobbs, Bughin y Aharon 2015), no se genera ningún valor de ello, ya que sólo cerca del 1% de esa cantidad masiva de datos disponibles es utilizada. En esta nueva perspectiva industrial, al dotar de inteligencia a máquinas, dispositivos y, en general, al conjunto de las instalaciones, las fábricas inteligentes tendrán aún mayor capacidad para seguir

incrementando la producción y recogida de datos e información. Por lo tanto, en la era de la digitalización será imprescindible el desarrollo de sistemas de software y herramientas de análisis que transformen el diluvio de datos en información útil y valiosa. El software jugará un papel crucial en la constitución de una fabricación predictiva (mantenimiento preventivo, alertas automáticas, realización de pedidos automáticos...), que conlleve a mejorar la eficiencia operativa de la planta, y que permita alcanzar transparencia a todos los niveles, facilitando comunicaciones y respuestas instantáneas, en tiempo real, y en definitiva, una toma de decisiones acertada con muy poca antelación (Evans y Annunziata, 2012).

El cuarto reto que cobra especial relevancia radica en la colaboración entre hombre y máquina. En la industria del futuro, se busca que hombres y robots trabajen conjuntamente en las plantas productivas, rediseñando las tareas de cada uno. De esta forma, los robots serán destinados tanto a aquellas tareas rutinarias, repetitivas y pesadas, como aquellas que obliguen a la máxima precisión en la elaboración del producto, mientras que se redefinirá el perfil de los nuevos trabajadores, enfocado a una mayor cualificación para la ejecución de labores de diseño, creación, programación, toma de decisiones y control de los propios robots (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

Por último, uno de los retos primordiales a afrontar radica en el principio de “*safety and security*”, a través del cual se aborda el problema de seguridad desde dos perspectivas: por un lado, desde el concepto de seguridad digital (security) para proteger instalaciones, productos, servicios, datos, conocimiento y experiencia (*know-how*), contra el mal uso o accesos no autorizados. Este principio se establece como base de privacidad que garantice la defensa contra violaciones de los derechos e información personal. Por otro lado, desde el concepto de seguridad física (safety), como protección referida a la ausencia de riesgos y amenazas operativas que pongan en peligro a empleados o medio ambiente. Hasta ahora la toma de medidas de seguridad se ha caracterizado por ser lenta y correcciones parciales. Sin embargo, en un nuevo escenario industrial donde aumentarán la conectividad, la apertura y exposición, y la participación de todos los actores, se hace necesaria la puesta en práctica de dos hechos: incluir el factor de protección desde las fases de diseño, otorgando un enfoque proactivo a este principio en contraposición con la actuación tradicional caracterizada por un enfoque a posteriori; igualmente, asentar arquitecturas y estándares que conduzcan al establecimiento de mayores niveles de confidencialidad, integridad y disponibilidad. En el informe elaborado por el centro de investigación alemán (Acatech), se recomiendan una serie de acciones para combatir esta dificultad, tales como: la protección contra la piratería, la propiedad intelectual y daño de imagen corporativa, que pueden peligrar si no se asienta la confianza y transparencia entre empresas dentro de las redes horizontales; interfaces fáciles de usar y que resulten atractivos para los usuarios; formación, conocimiento y entrenamiento de todos los miembros de la organización, así como la sensibilización y buenas prácticas de los mismos; y acuerdos más estrictos que protejan información personal de los trabajadores (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

4. FÁBRICAS INTELIGENTES

Las fábricas inteligentes o “*smart factories*” merecen mención especial al erigirse como uno de los principales elementos distintivos que mejor representa esta Industria 4.0. Éstas constituyen un “hogar”, un ecosistema, donde conviven la digitalización de extremo a extremo, los procesos y productos inteligentes, y las tecnologías habilitadoras (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Gracias a la convergencia de estos factores, veremos fábricas más autónomas, ágiles, dinámicas, flexibles, y optimizadas, pero también más complejas debido a los crecientes niveles de integración, funcionalidad y conectividad.

4.1. Características de las fábricas inteligentes

De acuerdo con la idea principal que se viene desarrollando a lo largo del documento, y en la que se sustenta esta revolución industrial, las principales características de las fábricas inteligentes son: conectividad, flexibilidad, descentralización, predicción y transparencia. A continuación se exponen y analizan en profundidad cada una de ellas.

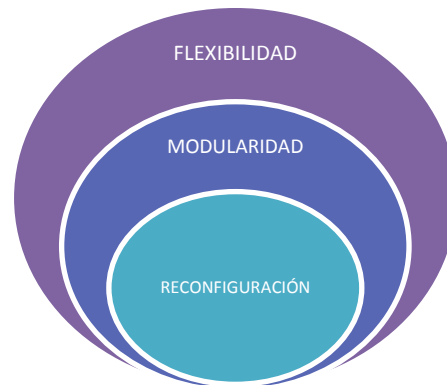
En cuanto a la interoperabilidad o conectividad, según David Sánchez (Tecnalia), “*una máquina, un proceso, hasta una persona, es un conjunto de subconjuntos que están conectados entre sí*” (Spri, 2015b). Es decir, en la Fábrica 4.0 todos los participantes estarán interconectados gracias al Internet de las Cosas (IoT) y los Sistemas Ciberfísicos (CPS), permitiendo la comunicación e intercambio de información entre todos ellos, con “*tanta naturalidad como en una red social*” (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Tradicionalmente, la totalidad de componentes que integraban las plantas productivas se comportaban como bloques aislados o células individuales, sin embargo, en las fábricas del futuro, éstos se convierten en “*nodos de red inteligentes*”. Estos *nodos* agregarán información constantemente, tanto del estado de los productos como de las máquinas y de los procesos, funcionando así como una “*comunidad cooperativa*”. Se busca conseguir todo esto de una manera sencilla, de ahí que se esté empezando a utilizar el concepto de “conectar y listo” (“*plug & play*”) como idea base que guíe la construcción, el funcionamiento y la gestión de las instalaciones (Zühlke, 2014). Esta conectividad va a permitir llevar a cabo la monitorización de los procesos, ofreciendo información necesaria para mejorar la actividad de los componentes, facilitando su ajuste, control y optimización de manera automática y, en definitiva, que la cohesión entre todos los activos genere una sinergia de resultados basada en opciones avanzadas que sirvan de soporte a la decisión.

Por otro lado, encontramos la flexibilidad como idea global, aunque para llegar a ella, es necesario hablar antes de dos conceptos específicos que la hacen posible (ver Figura 3): la modularidad y la reconfiguración. Por modularidad se entiende aquella capacidad de compatibilización entre todos los dispositivos de la fábrica, facilitando la reutilización de los medios productivos, tanto para distintas tareas como para diferentes zonas de la planta productiva, de tal forma que estas células o módulos de fabricación puedan reconocerse entre sí y respondan al concepto “conectar y producir” (“*plug*

&produce”). En palabras del profesor y director científico de DFKI³ en Kaiserslautern, Detlef Zühlke, “*los elementos de la fábrica se podrán ensamblar como bloques de Lego*” en función de la pieza a tratar y del producto a fabricar (Zühlke, 2014). Y ahí es donde la reconfiguración entra en juego. Zühlke argumenta que, para que sea posible “armar y desarmar” estos bloques de Lego, es necesario que estos módulos “*puedan configurarse con la misma eficiencia que los smartphones actuales*”. El funcionamiento es tan sencillo como dar un patrón general de movimiento y que, gracias a los sensores integrados en los dispositivos, éstos sean capaces de auto-programarse ajustándose a la especificidad de cada tarea a desarrollar, y que además lo hagan minimizando los tiempos de cambio, es decir, de una manera rápida y económica (Spri, 2014c).

La suma de estas capacidades de modularidad y reconfiguración dota de un alto grado de flexibilidad a las fábricas, permitiendo no sólo aumentar la variedad de productos y responder a la demandada personalización de los mismos, sino también incrementar la velocidad con la que se desarrollan dichos productos y, a la vez, reducir el tiempo transcurrido para la salida de éstos al mercado (Brettel, Friederichsen, Keller, Rosenberg, 2014).

Figura 3: Relación de flexibilidad



Fuente: elaboración propia

Lograr implantar la combinación de factores de conectividad y flexibilidad se convierte en vector hacia la tercera característica: descentralización. “*La Industria 4.0 cambiará nuestras arquitecturas de control existentes*” afirma Zühlke; y es que, como bien explica un colega suyo, Jay Lee (profesor y director del Centro NSF I/UCRC⁴ de sistemas de mantenimiento inteligentes, en la Universidad de Cincinnati), hasta ahora, generalmente en los sistemas de producción reinaba un control centralizado, con el consiguiente tratamiento individualizado e independiente de los dispositivos. Sin embargo, esa tendencia empieza a tomar rumbo contrario ya que, esa conversión que explicaba Zühlke, de bloques aislados a módulos flexibles y nodos de red funcionando como una comunidad cooperativa, va a ir acompañada, paralelamente, de la evolución de sistemas de control centralizados hacia otros descentralizados, confiriendo a todo objeto conectado capacidad de autonomía de decisión (Lee, 2014). De esta forma empiezan a desdibujarse las fronteras establecidas entre las etapas de producción y control en los procesos de fabricación; “*ahora, ya no hay división, todo es lo mismo*” afirma Karl Heinz, vicepresidente de la multinacional Büttner (Ors, 2015).

Por último, las fábricas inteligentes, además de conectadas, flexibles y descentralizadas, también serán predictivas y transparentes. De nuevo, el hecho de que el conjunto de elementos que configuran las plantas productivas se conviertan en nodos de red y se establezca una conectividad a todos los niveles, hace que sea posible la

³DFKI: Centro alemán de Investigación en Inteligencia Artificial

⁴NSF I/UCRC: Centros de Investigación Cooperativa Industria/Universidad de la Fundación Nacional de Ciencia.

recogida masiva de datos (Big Data). Es entonces cuando adquiere protagonismo el uso de herramientas y software avanzado para el tratamiento de esos datos, que permitan convertirlos, de manera sistemática e instantánea, en información que facilite la toma de decisiones. La disponibilidad de información, tanto desde el punto de vista de su obtención, procesamiento e interpretación, como de su accesibilidad y comunicación por todos los departamentos y niveles de la organización, supone que la historia de cualquier proceso o producto se registre y sea accesible en cualquier momento. Con ello se garantiza la trazabilidad constante del mismo, lo que resulta vital para conseguir transparencia y ser capaces de predecir y anticiparse a posibles fallos, desviaciones, caídas o interrupciones. Gracias a ello, es posible un mantenimiento “justo a tiempo” de los equipos, rentabilizando su gestión, y además, determinar la eficiencia general de los mismos (OEE) en la totalidad de la instalación (Lee, 2014).

Toda fábrica que alcance la fusión de conectividad, flexibilidad, descentralización y transparencia, a lo largo del completo sistema productivo, renunciará al orden fijo tradicional que hacía que todo ocurriese cumpliendo con una secuencia predeterminada (ver Figura 4). Esto supone un cambio radical en el modo en que las empresas han fabricado siempre y siguen haciéndolo hoy día.

Como representación de esta idea encontramos la afirmación que sostiene el consultor Ronald Berger cuando habla de que *“la tradicional cadena de montaje por la que las piezas desfilaban silenciosas y pasivas hasta su ensamblado, ha sido reemplazada por otra en la que los componentes empiezan a cobrar vida”* (Ors, 2015).

Figura 4: Cadena tradicional de montaje



Es más, hasta ahora quien mandaba eran las máquinas, siendo los productos los que se adaptaban al diseño de las fábricas; en el futuro, serán los productos quienes dominen y las fábricas las que deberán adaptarse a ellos (Climent, 2014).

La convergencia de estas características supone el establecimiento de redes verticales de sistemas de producción inteligentes, y al mismo tiempo, horizontales a través de redes globales a lo largo de la cadena de valor (Schlaepfer, Koch, Markofer, 2015). Ello conduce a fábricas ágiles y veloces en su capacidad de reacción y respuesta ante los cambios, las necesidades de los clientes o fallos en los sistemas productivos; fábricas que ganarán en eficiencia y sostenibilidad, a través del uso racional de los recursos y energía, así como por el uso de sistemas que disminuyen la propensión a la interrupción. Y, en definitiva, serán fábricas capaces de gestionar mayores niveles de complejidad, derivados de la completa integración de los avances tecnológicos, del aumento de funcionalidad, personalización y formas cambiantes de cooperación en el entorno de fabricación (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

4.2. Factores Críticos

Para hacer posible la constitución de Industria 4.0 será necesario prestar atención y actuar decisivamente sobre determinadas áreas clave que figuran como factores críticos, dificultando la implantación y el devenir de esta revolución (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

Como se ha mencionado anteriormente, la implantación de Industria 4.0 significará la elevación a un nuevo nivel de integración horizontal la asociación entre diferentes empresas a lo largo de la cadena de valor, pero para hacer efectiva dicha cooperación, surge la necesidad de desarrollar un conjunto de normas y protocolos que regulen estas redes empresariales. Este conjunto recibe el nombre de “arquitectura de referencia”, un modelo general que describe técnicamente dichas normas, facilitando su aplicación. *“Proporciona un marco para la estructuración, desarrollo, integración y operación de los sistemas tecnológicos”*, afirman desde Acatech. Y es que su misión consistirá en pactar los mecanismos que regirán la cooperación entre las empresas, así como la información compartida entre ellas, de tal forma que reúna los distintos enfoques de sus diferentes modelos de negocio y los encamine hacia un enfoque y modelo de negocio común. Los expertos coinciden en la recomendación de dos principales acciones: por un lado, establecer una visión común de objetivos, beneficios, potencial y riesgos, con el fin de entablar y reforzar una confianza mutua entre socios; y por otro lado, la construcción de un glosario o idioma universal que englobe la terminología básica.

En esta misma línea, se evidencia la incapacidad por parte de la regulación actual de seguir el ritmo de cambio tecnológico que está teniendo lugar en los últimos años y que continuará en los siguientes. Ello conduce a la inquietud e incertidumbre referida tanto a la verificación de la legalidad de la nueva generación tecnológica, como a la responsabilidad de información vinculada a la misma, dado que puede suponer un obstáculo y freno para el proceso y aplicación de la innovación. Por tanto, se centrarán esfuerzos en lograr la comunión entre tecnología y legislación, a través de dos aspectos: 1) la formulación de criterios que certifiquen el cumplimiento de la ley por parte de la nueva ola de innovaciones y 2) el desarrollo y evolución de un marco regulatorio que facilite e impulse la innovación. Una de las posibles vías que defienden los investigadores alemanes consiste en nuevos modelos de contratos en materia de protección de datos corporativos, así como personales, responsabilidad y restricciones comerciales, que permitan garantizar el respeto de la normativa.

Uno de los factores críticos de carácter más técnico hace referencia a la necesidad de construir una completa infraestructura de banda ancha que garantice la estabilidad de las conexiones, la circulación de mayores volúmenes de datos y mejor calidad de redes de comunicación. La cimentación de esta infraestructura repercutirá directamente en el rendimiento de máquinas, aplicaciones y procesos, y deberá caracterizarse por ser una infraestructura simple, escalable, asequible, segura y disponible; solo si se consigue aglutinar esta serie de requisitos básicos, dicha infraestructura de banda ancha resultará efectiva y accesible al conjunto de usuarios.

Los esfuerzos transformadores que están teniendo lugar, no deben centrarse únicamente en la superación de retos tecnológicos. Dentro de este proceso de innovación industrial, debe reservarse un espacio a las habilidades y organización de los trabajadores. La posibilidad de ejecutar un control *in situ* transformará, no sólo el proceso de trabajo, sino también el contenido y ambiente del mismo y, por consiguiente, hará evolucionar significativamente el perfil de los trabajadores. En el futuro que se dibuja, se espera liberar a los empleados de la realización de actividades repetitivas, encaminándolos hacia otras que proporcionen mayor valor añadido, y por ende, que éstos tengan mayor nivel para gestionar la complejidad, iniciativa, así como capacidades de abstracción, toma de decisiones y resolución de problemas, que les permitan la consecución de sus nuevas tareas. Para llegar a este punto, se busca empezar por organizar el trabajo de tal forma que se fomente el aprendizaje, es decir, lograr el binomio “*diseño del trabajo & desarrollo profesional*” (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013). Aplicar “4.0” dirigirá el sistema de trabajo hacia una orientación socio-técnica que permitirá la formación continua del empleado, así como la creación de un entorno amigable. En este sentido, se ha puesto en marcha un proyecto dentro del marco europeo Horizonte 2020, denominado “Facts4Workers”, cuyo objetivo radica en la mejora del grado de satisfacción de los empleados en relación con el desempeño de su trabajo, a través del manejo de herramientas TIC que faciliten sus labores.

5. TECNOLOGÍAS HABILITADORAS

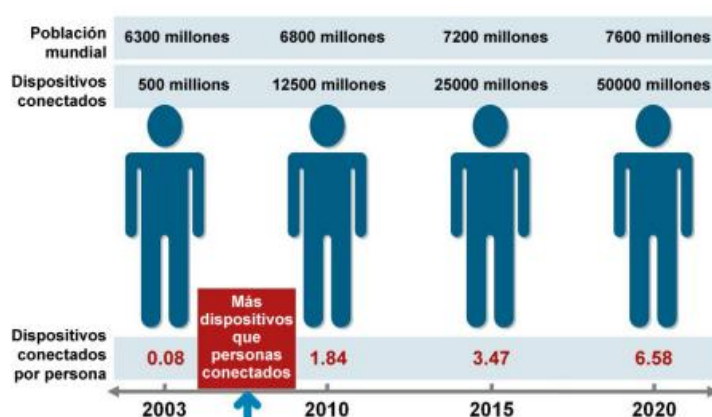
Las tecnologías habilitadoras se pueden definir como el conjunto de herramientas que permitirá impulsar la transformación de la industria y que se presentan como los pilares sobre los cuales se construirá este nuevo escenario. Éstas son conocidas como: Internet de las Cosas (IoT) y Sistemas Ciberfísicos (CPS), Realidad Aumentada, Simulación, Robótica Colaborativa, Fabricación Aditiva, Big Data, Cloud Computing y Ciberseguridad. A continuación se describen las principales características de cada una de ellas.

Internet de las Cosas y Sistemas Ciberfísicos

La piedra angular sobre la que asienta sus fundamentos la Industria 4.0 es el binomio formado por dos conceptos absolutamente revolucionarios como son el Internet de las Cosas (IoT) y los denominados Sistemas Ciberfísicos (CPS) (Pi, 2014).

La prueba de que el número de dispositivos interconectados está creciendo de manera exponencial y el hecho de que, al ritmo actual, prácticamente todos los objetos acabarán estando conectados, es la idea central del IoT (Evans, 2011). Es precisamente en el momento en que el número de dispositivos conectados a Internet supera la población mundial cuando nace IoT (ver Figura 5). Según estudios realizados por la empresa estadounidense Cisco, en el año 2003 había 500 millones de dispositivos conectados a Internet por 6.300 millones de personas en el mundo (0’08 por persona), mientras que en 2010 el número de dispositivos conectados ya era de 12.500 millones por 6.800 millones de población mundial (1’84 por persona).

Figura 5: Dispositivos conectados por persona y momento en que nace IoT



Fuente: Cisco (Evans, 2011)

Este hecho se refuerza con la información que se muestra en la Tabla 1, donde se puede apreciar el crecimiento que han experimentado los principales países europeos (Alemania, Francia, Reino Unido y España), Estados Unidos y China, destacando especialmente el crecimiento de los países francés y asiático.

Tabla 1: Porcentaje de usuarios de Internet para el periodo 2006-2014

	USUARIOS DE INTERNET (%)				
	2006	2008	2010	2012	2014
Alemania	72,2	78	82	82,3	86,2
Francia	46,9	70,7	77,3	81,4	83,8
Reino Unido	68,8	78,4	85	87,5	91,6
España	50,4	59,6	65,8	69,8	76,2
China	10,5	22,6	34,3	42,3	49,3
EEUU	68,9	74	71,7	79,3	87,4

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial

Este concepto surge en el Instituto de Tecnología de Massachusetts y fue expuesto por vez primera por Kevin Ashton, uno de sus profesores, según el cual, el IoT es básicamente la capacidad de poder conectar a Internet cualquier objeto, y el componente tecnológico fundamental sobre el que se forja el paradigma Industria 4.0.

El concepto del IoT, por tanto, es bastante amplio y no hay una definición consensuada pero podríamos definirlo técnicamente como “*paradigma tecnológico que permite dotar de conectividad a Internet a cualquier objeto sobre el que se pueda medir parámetros físicos o actuar, así como a las aplicaciones y tratamiento de datos inteligentes relativos a ellos*” (Cruz, Oliete, Morales, González, Cendón y Hernández, 2015).

La idea central es que en un breve espacio de tiempo todo estará interconectado, por lo que, de lo que se trata, tal y como afirma el vicepresidente de Samsung Celestino García, es de “*dotar de inteligencia y conectividad a objetos que no la tenían, lo que implica cambiar las relaciones de las empresas con los consumidores*” (Sánchez, 2016). Se calcula que el ser humano interactúa aproximadamente con 5.000 objetos

diariamente, los cuales resultan conectables de una forma sencilla, barata y segura, de modo que el objetivo final será comunicar estos objetos con otros objetos y dispositivos.

Ahora bien, para que el IoT funcione necesita el concurso imprescindible de una suerte de intermediario entre el mundo físico y el virtual, que son los denominados Sistemas Ciberfísicos (CPS o Ciber Physical Systems). En palabras sencillas, un CPS es un sistema en el que los procesos físicos se integran con la computación. El término procede de la National Science Foundation y describe sistemas empotrados (embebidos) y redes de comunicación que controlan tanto fenómenos y procesos físicos, habitualmente en circuitos cerrados donde el lado físico y el ciber interactúan entre sí y se afectan mutuamente. Estos sistemas interconectados intercambian datos en tiempo real a través de Internet, conformando sistemas mayores. Por tanto, podríamos definir un CPS como *“un sistema en tiempo real que no sólo siente y actúa sobre un proceso físico, sino que además varía su procesamiento en función de las condiciones y parámetros variables del proceso físico”* (Spri, 2014d)⁵.

Dos ejemplos nos ayudarán a entender mejor este concepto: el primero de ellos es el caso de un frigorífico que detecta y avisa cuándo un producto va a caducar, o cuándo se está acabando, incluso realizar él mismo la compra (Bracero, 2016). El segundo es un tipo de neumáticos diseñado por el grupo Michelin que incorpora sensores combinados con un sistema de lectura que permiten la disminución en el consumo de combustible de los camiones (Carvallo, 2012).

Los sistemas CPS engloban tecnología, software, sensores, procesadores y técnicas de comunicación que, como sucede en estos dos ejemplos, permiten la interacción entre los objetos físicos (lavadora, neumáticos) y el mundo computacional por medio de redes. Por tanto, como bien apunta Sabina Jeschke (profesora y vicedecana de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad RWTH de Aquisgrán, en Alemania), entre los mundos físico y digital se halla el mundo ciberfísico como intermediario, posibilitando el maridaje entre ambos. La misma autora sitúa a los sistemas embebidos en el centro del binomio IoT /CPS, al tiempo que asigna al software, componente básico de los CPS, un rol de enlazador omnipresente en el desarrollo, fabricación y mantenimiento de productos (Pi, 2014).

La diferencia básica entre el IoT y los CPS es claramente identificada por Imre Horvath (Universidad Técnica de Delft) –ver Figura 6–, quien identifica al IoT como una infraestructura que recoge información en el mismo espacio físico, o sea, conecta objetos entre sí como por ejemplo un reloj inteligente con un teléfono inteligente, pero en el propio ámbito físico. Por su parte, los CPS utilizan sensores y conexión a la nube para ajustar activamente una cosa u objeto físico a un estado actual, creando una sinergia entre entidades del espacio físico y virtual mediante la integración analógica y hardware computacional (Sabo, 2015).

Ahora bien, la interacción entre los mundos físicos y ciberfísicos se verifica mediante dos mecanismos que trabajan en direcciones opuestas. De una parte está la

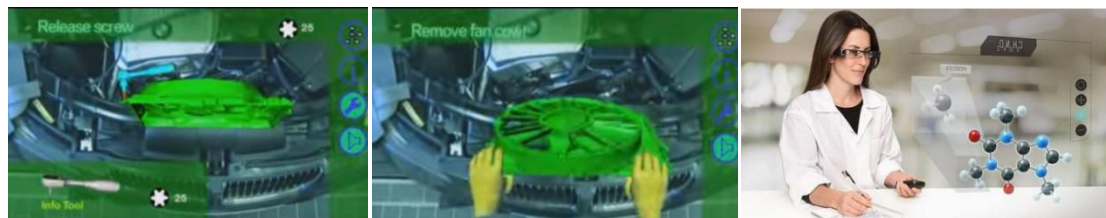
⁵Joseba Laka Mugarza, Director del ICT – European Software Institute, en el evento Basque Industry

A nivel industrial, la Realidad Aumentada *“es una tecnología que permite la convergencia entre datos, productos, máquinas y personas [...], mostrando información personalizada y adaptada a cada contexto en que se encuentre el usuario”*, afirma Iñigo Barandiaran (IK4 – Research Alliance) en el evento Basque Industry 4.0 celebrado el pasado año (Spri, 2014e).

Y es que una de las principales aplicaciones de esta tecnología en el ámbito industrial se basa en la introducción de textos explicativos superpuestos a imágenes de Realidad Aumentada que faciliten la elaboración de las tareas, es decir, como un manual de instrucciones digital e interactivo (LogicFin, 2016). En industria, el dispositivo que más fuerza está adquiriendo son las gafas inteligentes, como las “Google Glass”, “Epson Moverio” o las “HoloLens de Microsoft”.

Estos dispositivos están enfocados hacia un público de carácter más profesional (ver Figura 8), siendo algunos de los campos de actividad donde mejores prestaciones ofrece, la automoción – para ver con detalle un motor, de tal forma que los mecánicos ven la información específica que necesitan para saber cómo montar y desmontar las piezas -la aviación - para el entrenamiento de pilotos (Japan Airlines ha sido pionera en el uso de las gafas HoloLens para este fin)-, en arquitectura -para diseñar y construir edificios-, y por supuesto, en medicina, concretamente para la educación médica y prácticas de cirugías (Gutiérrez, 2016). Barandiaran (Spri, 2014e) apuntaba también en su ponencia la existencia de artículos y estudios que confirman la posibilidad de aumentar hasta en un 40% la percepción y calidad cognitiva de los trabajadores, si éstos ven reflejada la información dentro de su campo visual.

Figura 8: Uso profesional de la Realidad Aumentada



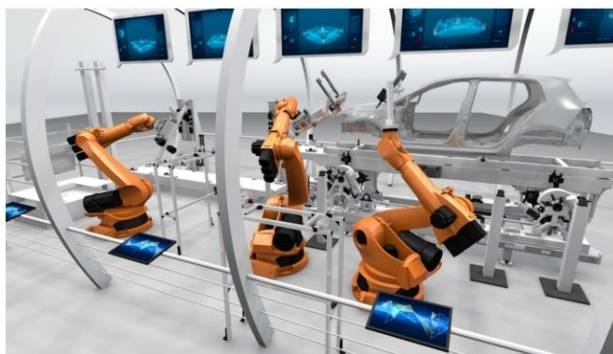
En definitiva, Realidad Aumentada significa ganar en detalle y realismo, convirtiéndose en tecnología clave para empresas y profesionales, con el objetivo de servir en un mejor aprendizaje y formación de los operarios, una mayor comprensión de las tareas complejas a realizar, facilitando la ejecución de las mismas, ganando en sencillez y, por consiguiente, lograr una reducción de errores e incidencias de elaboración y mantenimiento, alcanzando así un incremento de eficiencia de los procesos.

Simulación

La Simulación es una tecnología que permite trasladar el mundo real al mundo virtual, creando modelos 3D (como si fuesen maquetas) sobre los cuales se puede “experimentar”. Cualquier cosa u objeto, desde máquinas y piezas, hasta líneas de

montaje, incluso instalaciones y plantas de producción por completo (ver Figura 9), encuentran su “doble digital” (Climent, 2015).

Figura 9: Simulación de una planta productiva



Una de las empresas pioneras en este campo es la alemana Siemens, la cual ha comenzado a implantar esta tecnología para la simulación de sus plantas productivas, creando plantas virtuales sobre las que trabajar y, posteriormente, trasladar los resultados obtenidos a sus plantas físicas. *“Si la empresa puede simular cada paso que quiera dar antes de hacerlo, ganará en flexibilidad, productividad y tiempo”* asegura John Billings (vicepresidente de la Fábrica Digital de Siemens). Y es que, hasta ahora determinados tipos de información solo podían obtenerse a través del clásico “prueba y error”; sin embargo, esta tecnología permite extender la virtualización a todos los procesos de las empresas, de tal forma que toda información y experiencia generada, bien en el escenario físico o bien en el digital, se añaden al otro, es decir, existe un flujo bidireccional que permite una constante redefinición y puesta a punto, gracias a que, como señalan desde la multinacional *“ambas plantas existen en paralelo y se enriquecen entre sí”*.

El fin que se persigue con el uso de esta tecnología no es otro que experimentar a priori para “prevenir” fallos y trabajar eficientemente a posteriori, ya que *“cuanto más tarde se descubran los errores más cuesta corregirlos”*, afirman los alemanes. La Simulación trata de dar respuesta a esta cuestión. Con ella, los operarios podrán entrenar, aprender, formarse y practicar con anterioridad a la puesta en funcionamiento, lo cual derivará en una disminución de costes y tiempos, en aumentos de productividad y ahorros energéticos, así como en optimización y eficiencia.

Aunque a simple vista puede parecer sinónimo de Realidad Aumentada, no deben confundirse. Es cierto que ambas tecnologías recrean un escenario real y lo trasladan a un mundo virtual, pero la diferencia radica, principalmente, en el empleo que se hace de las mismas. Las tecnologías de Simulación se usan, principalmente, con anterioridad a la realización de una actividad u operación, de tal forma que se pueda “practicar o experimentar” en el modelo virtual y trasladar el resultado al modelo físico, mientras que la Realidad Aumentada, como hemos visto anteriormente, permite interactuar en tiempo real, es decir, indica los pasos a seguir cual manual de instrucciones digital al mismo tiempo que se realiza la tarea.

Robótica Colaborativa

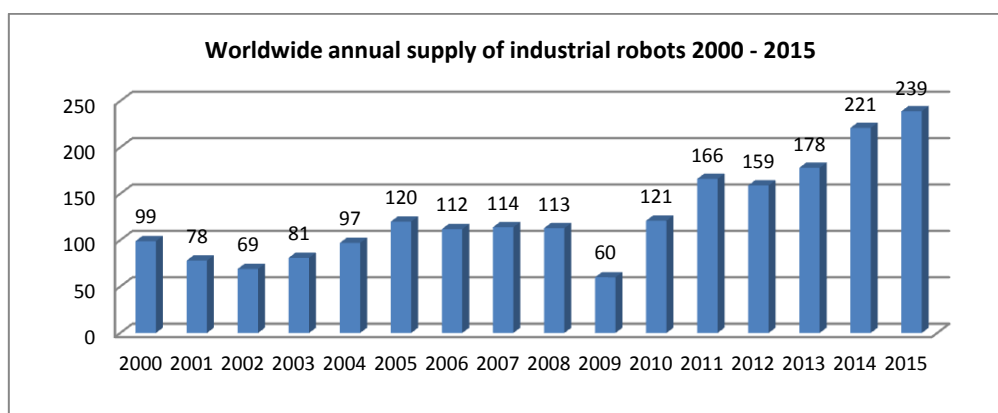
La Robótica Colaborativa representa una profunda transformación en la concepción que actualmente tenemos respecto al funcionamiento de los robots en las empresas. En palabras de David Sánchez (Spri, 2014f) *“la esencia de la Robótica*

Colaborativa nace en la posibilidad de poder hibridar las capacidades de un robot con la inteligencia y habilidades que tiene una persona.”

En términos generales se habla de que la Robótica Colaborativa ofrece aumentos en el nivel de automatización de las fábricas, pero en términos específicos el uso de esta nueva familia de robots permitirá ganar en flexibilidad, ya que será posible reconfigurarlos y reutilizarlos (incluso podría decirse reubicarlos) para el desarrollo de distintas operaciones de producto y en diferentes lugares de la planta productiva, respectivamente. Por otro lado, incorporarán un nivel de sensorización que les conectará con el resto de elementos de la fábrica, y dotará de una capacidad perceptiva de su entorno, sirviendo de fuente para la obtención constante de datos de todo cuanto ocurra a su alrededor, que sumado a su inteligencia, posibilitará, no solo una toma propia de decisiones y respuestas de actuación en tiempo real sino, además, el uso de esa información como elemento activo de control. Dicha capacidad perceptiva será clave a lo largo de todas las etapas, empezando por ejemplo por la programación de los robots, en la cual se llevará a cabo un “aprendizaje por demostración” (*“teach – by – demonstration”*), donde el robot es guiado por primera y única vez por el operario para, posteriormente, ser capaces de registrar (“aprender”) dichas directrices, replicarlas y auto-programarse; y continuando con la realización de inspecciones de calidad mientras el robot está ejecutando las tareas, garantizando así un mayor grado de eficiencia y optimización. Otro aspecto importante que otorga la implantación de sensores y la percepción del entorno, radica en la capacidad de crear un modelo en 3D del mismo, lo cual les permitirá planificar sus movimientos sin colisión, aumentando así también la seguridad para con las personas con las que comparten el mismo espacio y trabajan codo con codo (Spri, 2014c).

Los datos recogidos en el Gráfico 3 demuestran cómo, en el pasado año 2015, las ventas mundiales de robots industriales alcanzaron las 240.000 unidades, lo que supone un crecimiento anual del 8%, cifras no registradas hasta entonces (World Robotics, 2015).

Gráfico 3: Suministro anual de robots industriales a nivel mundial

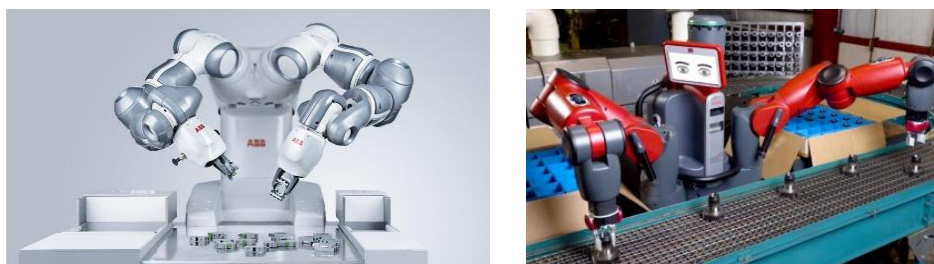


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IFR⁶

⁶ IFR: Federación Internacional de Robótica

Y es que, la introducción de Robots Colaborativos encuentra su principal objetivo en la posibilidad de realizar dos tipos de tareas concretas: por un lado, tareas muy complejas, que requieran de elevada precisión; por ejemplo, el grupo ABB ha creado “YuMi” (ver Figura 10), un robot con capacidad de manejar piezas delicadas, como las de un reloj o un teléfono móvil (Galindo, 2015); y, por otro lado, tareas repetitivas, pesadas y peligrosas. De esta forma, los Robots Colaborativos serán cada vez más utilizados en actividades de montaje, pegado, soldadura, carga y descarga, empaquetado, atornillado, etc. (Interempresas, 2016).

Figura 10: Ejemplo de Robots Colaborativos YuMi (ABB) y Sawyer (Rethink Robotics)



Según Jim Lawton (jefe de producto de Rethink Robotics), en relación a su robot Sawyer (ver Figura 10), el empleo de robótica colaborativa permitirá ganar en aspectos como *“precisión, velocidad, capacidad de adaptación, flexibilidad, aumento de tiempo de actividad, mejora de la calidad de los procesos, eficiencia y satisfacción de la demanda del cliente”* (InfoPLC, 2016).

En definitiva, el empleo de esta nueva tecnología significará la transición de un modelo de operaciones tradicional, donde el robot trabaja de manera aislada, hacia un modelo evolucionado y completo, donde el robot evaluará en todo momento las condiciones del contexto, decidiendo cómo actuar en tiempo real y para cada caso, ganando en productividad, optimización y eficiencia (Spri, 2014c).

Fabricación Aditiva

El término Fabricación Aditiva engloba un conjunto de tecnologías cuyo funcionamiento consiste, básicamente, en la adición sucesiva de material a escala micro-métrica, depositándolo con precisión y fabricando capa a capa, de tal forma que la superposición de éstas origina sólidos en 3D (Zahera, 2012).

Este nuevo concepto supone una ruptura con el medio de fabricación practicado hasta ahora, conocido como “Fabricación Sustractiva”, que consiste en pulir un trozo bruto de material hasta la obtención del objeto deseado. Sin embargo, con esta nueva técnica, el proceso consiste en depositar el material (normalmente en polvo) en capas muy finas, unas sobre otras, confiriéndole tridimensionalidad hasta obtener el objeto (Arrieta, 2015).

Las ventajas que se derivan del empleo de técnicas de Fabricación Aditiva pueden recogerse en dos grupos: ventajas de producto y ventajas de proceso.

En cuanto a las ventajas de producto, permite ganar en:

- Complejidad geométrica, es decir, facilita la reproducción de piezas geométricamente complejas, con formas irregulares o muy específicas, gracias al uso de modelos CAD (Diseño Asistido por Computadora).
- Personalización, ya que se pueden diseñar productos completamente iguales o totalmente diferentes.
- Ligereza, puesto que se puede jugar con la densidad de los materiales aligerando el peso o resistencia del producto, para que se ajusten a determinadas condiciones y/o funciones.
- Ergonomía, esto es, diseñar los componentes adaptándose a cada usuario, mejorando la interacción con él.

En cuanto a las ventajas de proceso, posibilita:

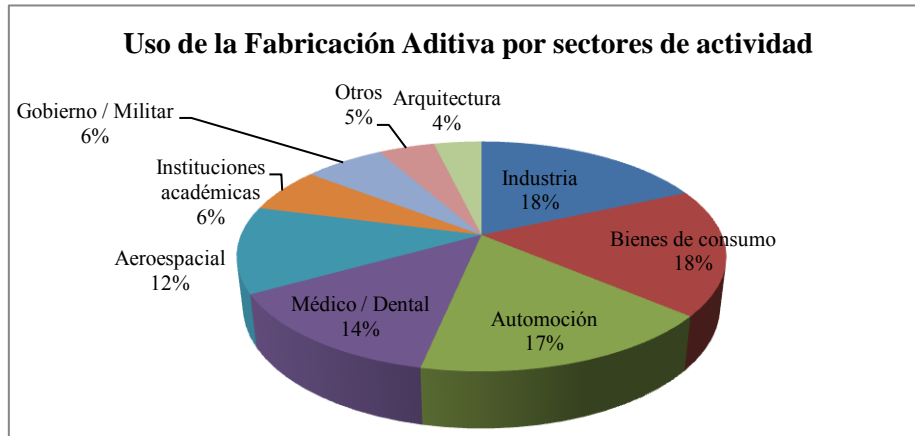
- Reducir el tiempo que transcurre desde que un producto es concebido hasta que está listo para su comercialización (*time to market*), al disminuir el número de fases intermedias, permitiendo la salida del producto al mercado con mayor prontitud.
- Fabricar series cortas dando lugar a lotes unitarios.
- Disminuir los errores de montaje ya que es posible obtener directamente piezas completas, evitando operaciones intermedias como ensamblar piezas separadas.
- Optimizar el uso de materiales, es decir, se consumirán cantidades exactas y estrictamente necesarias de materiales y energía, dando lugar a procesos de desperdicio nulo, reduciendo así el impacto medioambiental.

Existen dos puntos importantes a favor de esta tecnología; en primer lugar, dichas ventajas competitivas de este nuevo modelo de fabricación no encarecen el proceso de producción; y en segundo lugar, la apuesta por Fabricación Aditiva no implica el rechazo de la Fabricación Sustractiva o convencional, sino que es posible aprovechar las ventajas que ofrecen ambos tipos y dar lugar a procesos híbridos que las combinen (Jiménez, Porras, Domínguez, Romero y Espinosa, 2013).

El potencial que desprende este nuevo concepto de fabricación hace que cada vez sean más las empresas que apuestan por su adopción, de hecho, según una encuesta realizada a 900 profesionales de cadenas de suministro, realizada por la firma Deloitte y el grupo MHI (Chao, 2016), actualmente ya existe un 14% de empresas que utilizan esta tecnología, y se prevé que un 48% la implante dentro de los diez próximos años. Es más, estimaciones de la firma Gartner vaticinan que en el presente año 2016 la cifra de ventas mundiales de impresoras 3D (la principal y más conocida tecnología dentro de las englobadas por la Fabricación Aditiva), alcanzarán los 4.000 millones de dólares.

La compañía Wohlers Associates, en su informe de 2014, recogió en los gráficos 4 y 5 algunos de los sectores y principales aplicaciones de la Fabricación Aditiva:

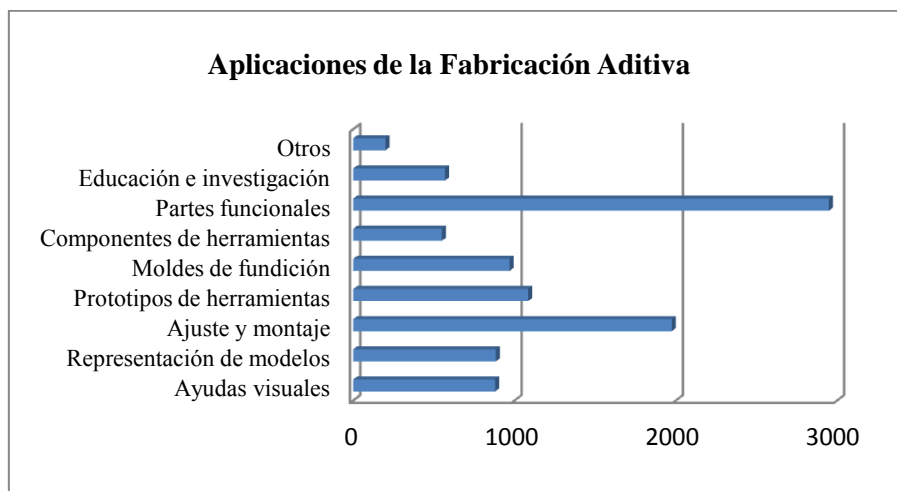
Gráfico 4: Uso de la Fabricación Aditiva por sectores de actividad



Fuente: elaboración propia a partir del Departamento de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo de Gipuzkoa

Los sectores que encabezan el uso de la Fabricación Aditiva son la Industria y los Bienes de Consumo, aunque seguidos muy de cerca por el sector de la automoción. A la zaga le siguen el ámbito médico (ya se pueden crear huesos, cartílagos, órganos, audífonos, implantes...) y el aeroespacial. Y aunque la arquitectura representa un bajo peso, este sector no se está quedando atrás. De hecho, ya se ha fabricado el primer edificio de oficinas enteramente en 3D, situado en Dubái.

Gráfico 5: Aplicaciones de la Fabricación Aditiva



Fuente: elaboración propia a partir del Departamento de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo de Gipuzkoa

El principal uso de esta tecnología es para la realización de partes funcionales, y ajustes y montaje, así como para la obtención de prototipos y moldes que validen procesos. En consonancia con el gráfico 4, estas aplicaciones encuentran sus principales aliados en sectores como la automoción, la medicina, el aeroespacial o los productos de consumo (electrónica, joyería, juguetes, artículos de hogar, textiles, calzado...). De hecho, *“industrias como la automotriz y la aeronáutica ya están experimentando con la producción mediante impresión 3D de piezas que, por su complejidad y forma, son más*

fáciles de imprimir que ensamblar. Ford, por ejemplo, ha conseguido rebajar el coste de los prototipos de coches de 500.000 a 3.000 dólares” (Galindo, 2015).

Big Data

Existen múltiples variedades de definiciones acerca de qué es Big Data, expertos como la consultora Gartner, el Instituto Global McKinsey, empresas como la española Tecnalia, incluso la ONU han proporcionado sus enunciados, cada uno de ellos con sus matices, pero todos coinciden en lo básico: Big Data es la colección, gestión y análisis a alta velocidad de grandes, dinámicos y heterogéneos volúmenes de datos generados por usuarios y máquinas, y que, debido a su tamaño y complejidad, superan las capacidades de procesamiento de las herramientas de software tradicionales, por lo que requieren de innovadoras técnicas para su procesamiento y tratamiento.

Hablar de Big Data implica barajar lo que los expertos denominan las “5 Vs” (López, 2014):

- Volumen: los avances tecnológicos cada vez permiten incrementar la recogida masiva de datos, llegando a niveles máximos (Terabytes y Petabytes), superando así la capacidad de los software actuales para su manejo.
- Variedad: al igual que en el caso anterior, cada vez hay más fuentes de las que proceden estas grandes cantidades de datos, debido a que cada vez es mayor el número de dispositivos conectados (smartdevices, GPS, automóviles, anemómetros, etc.).

Estas dos “Vs”, tamaño y variedad, son las dos principales dimensiones que caracterizan Big Data, es decir, el momento en que ambas crecen hasta alcanzar los niveles más altos, entra en juego este nuevo concepto; son su seña de identidad.

- Velocidad: hace referencia a la rapidez con la que los datos son recibidos y gestionados, incluso podría hablarse de “vida útil del dato”. Los sistemas tradicionales carecen del factor “tiempo real”, es decir, no tienen capacidad de analizar al instante, en el momento, lo cual implica una toma de decisiones tardía y, por consiguiente, pérdida de valor; sin embargo, incorporar esa “inmediatez” es básico para posibilitar el procesamiento de datos y una toma de decisiones in situ.
- Veracidad: pureza y confianza que destilan los datos, evitando imprevisibilidad.
- Valor: se refiere a la capacidad de saber identificar qué datos se deben utilizar en cada momento, y dado que la cantidad disponible de datos va en aumento, esta característica se vuelve de suma importancia, tanto que incluso comienza a tomar fuerza un nuevo perfil profesional: el científico de datos.

En su informe de 2012, Ricardo Barranco, de IBM software Group, nos ayuda a entrar en detalle sobre las variedades de datos que se generan, clasificándolas en las siguientes categorías:

- Webs y medios sociales: información obtenida de webs y de redes sociales (Facebook, Twitter, blogs...).
- Máquina a máquina (*Machine – to – machine*): tecnologías con capacidad de comunicarse entre sí y con otros dispositivos por medio de sensores (CPS).
- Transacción de Macrodatos (Big Transaction Data): registros de llamadas telefónicas, de facturación de servicios públicos, de cuidados de la salud, etc.
- Biométrica: especialmente utilizada en áreas de seguridad e inteligencia, se refiere a información obtenida a través de huellas dactilares, reconocimiento facial, etc.
- Generados por el hombre: información generada diariamente por los usuarios, vía e-mails, llamadas, whatsapps, sms...

La realidad es que el conjunto de la población e instituciones, por medio de su actividad diaria y cotidiana (clientes y proveedores en industria, impuestos o sanidad en el sector público, transacciones financieras, satélites, búsquedas en internet, etc.) genera aproximadamente 2'5 quintillones de bytes diariamente a nivel mundial. “*A los consumidores no les importa que las empresas tengan sus datos si eso se traduce en beneficios y experiencias*” asegura Emelia Viaña en su artículo “Datatruth: la verdad que esconde el Big Data”, y es que disponer y saber interpretar esta gran cantidad de datos permite a la empresas conocer mejor a sus clientes, sus gustos, intereses y necesidades, por lo que, con ayuda de Big Data, se puede ofrecer un valor tangible a la sociedad (Viaña, 2016).

Con todo ello, Big Data presenta dos objetivos claros, que siguen la misma línea de sus compañeros tecnológicos: por un lado, la disponibilidad de datos e información, así como su procesamiento y análisis en tiempo real, facilitará la detección de anomalías, patrones de conducta, prevenir ataques y amenazas de seguridad, es decir, se erigirá como un mecanismo más de optimización de procesos, de control y de calidad (Manyika, Chui, Bisson, Woetzel, Dobbs, Bughin, Aharon, 2015). Y por otro lado, se convertirá en una oportunidad de trabajar la personalización y, por consiguiente, de generar nuevos modelos de negocio encaminados a la “servitización”, es decir, ofrecer el producto en sí acompañado de un paquete de servicios postventa y mantenimiento (lo que llamamos “*smart products*”) (Spri, 2014g)⁷.

Cloud Computing

Según NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología), el Cloud Computing es una “*tecnología que permite el acceso ubicuo, adaptado y bajo demanda en red a un conjunto compartido de recursos de computación, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un esfuerzo de gestión reducido o interacción mínima con el proveedor del servicio.*”

En un escenario donde la conectividad y la generación de datos crecen exponencialmente, donde la toma de decisiones instantánea es vital, y donde la

⁷Marta González – Semantics Manager, TecNALIA – en el evento Basque Industry 4.0

comunicación e intercambio de información en tiempo real entre las distintas unidades operativas (independientemente de su ubicación geográfica) cada vez es más necesaria, el sistema de “la nube” aparece como solución otorgando flexibilidad e inmediatez, permitiendo alquilar un “espacio” en el que almacenar todo tipo de recursos compartidos, evitando o reduciendo notoriamente inversiones cuantiosas en infraestructuras.

Para poder comprender mejor esta tecnología, se detallan a continuación una serie de características que explican en profundidad el concepto de *Cloud Computing* (Urueña, Ferrari, Blanco, Valdecasa, 2012):

- Pago por uso: la cuota a pagar por el usuario será tanto mayor cuanto mayor sea el servicio y espacio de almacenamiento contratado.
- Abstracción: hace referencia al aislamiento entre los recursos informáticos contratados al proveedor de la “nube” y los equipos del usuario, es decir, ese “espacio virtual” de almacenamiento permanece aislado de los equipos del cliente, lo que permite ahorrar en inversión de infraestructuras, y actividades como mantenimiento o actualización de los sistemas.
- Agilidad en la escalabilidad: capacidad de adaptarse a las necesidades puntuales del usuario, pudiendo aumentar o disminuir las funciones o servicios ofrecidos al mismo, con la ventaja de no requerir de nuevos contratos ni obligación de penalizaciones.
- Multiusuario: posibilidad de compartir medios y recursos entre varios usuarios favoreciendo la optimización de su uso.
- Autoservicio bajo demanda: permite al usuario que, a medida que necesite mayores capacidades de computación de la nube, pueda acceder a ellas con total flexibilidad y autonomía sin requerir la interacción personal con el proveedor.
- Acceso sin restricciones: facilidad de acceso al servicio sin condicionantes de lugar, tiempo ni terminal físico (siempre que tenga acceso a internet).

En la Tabla 2 se muestran las principales ventajas que se derivan del uso de soluciones de *Cloud Computing*, obtenidas como resultado de encuestas realizadas por la Agencia Europea de Seguridad de las Redes y de la Información (ENISA), a empresas europeas, americanas y asiáticas.

Tabla 2: Motivos para la implementación de soluciones *Cloud Computing*

%	Razones
30,6	Eliminación, mediante la incorporación de tecnologías de la información, de las barreras económicas y de conocimiento que impiden la modernización de los procesos de negocio.
68,1	Evitar los gastos de capital en hardware, software, soporte de TI y seguridad de la información mediante la externalización de infraestructura / plataforma / servicios.

63,9	Flexibilidad y escalabilidad de los recursos de TI
36,1	Aumento de la capacidad informática y del rendimiento del negocio
11,1	Diversificación de los sistemas de TI
25	Optimización local y global de la infraestructura de TI mediante la gestión automática de máquinas virtuales
52,8	Continuidad de negocio y capacidad de recuperación de desastres
29,2	Evaluación de la viabilidad y rentabilidad de nuevos servicios (como por ejemplo mediante el desarrollo de casos prácticos en la nube)
27,8	Incorporar recursos redundantes para aumentar la disponibilidad y elasticidad de los mismos
15,3	Controlar los costes y beneficios marginales
13,9	Otros

Fuente: elaboración propia a partir de Cloud Computing. Retos y Oportunidades – ontsi

Como se puede observar, las empresas usuarias de este servicio, otorgan especial valor a dos factores: el ahorro de costes de capital (68'1%), y la facilidad de incrementar los recursos técnicos (63'9%).

Ciberseguridad

En todo evento celebrado sobre Industria 4.0, se pone de manifiesto la necesidad de nuevas formas o medios de seguridad, convirtiéndose en uno de los desafíos más importantes de este escenario protagonizado por el IoT y los CPS.

Partiendo de una definición técnica aportada por ISACA (Asociación de Auditoría y Control de Sistemas de Información), la “ciberseguridad” consiste en *“la protección de activos de información (entendiendo por ello, todos aquellos conocimientos o datos con valor para una entidad; según la norma ISO 27001), a través del tratamiento de amenazas que ponen en riesgo la información que es procesada, almacenada y transportada por los sistemas de información que se encuentran interconectados”* (Mendoza, 2015).

El fin último de la “ciberseguridad” recae sobre la protección, pero podría hablarse de una protección global, ya que no solo se centra en la información o datos digitales, sino también en la protección de personas, tecnologías y procesos.

El origen de esta urgente necesidad por aumentar la seguridad digital se encuentra en la transformación que están sufriendo las industrias. El incremento de conectividad y digitalización provocan que las empresas estén más abiertas, más visibles y, por tanto, más vulnerables y expuestas a mayores riesgos.

- Concienciación sobre seguridad tanto en el ámbito laboral como personal (evitando un mal uso del IoT).
- Mayor protección para el consumidor y transacciones que garantice un comercio digital más seguro.
- Mayor privacidad a través de mejoras en las técnicas de autenticación digital.
- Incrementar la cooperación global y el logro de consensos en la implantación de leyes internacionales.

Con todo ello, se puede afirmar que la “ciberseguridad” es uno de los habilitadores digitales más importantes de esta nueva era, ya que se erige como pieza fundamental y necesaria para garantizar la seguridad y protección de las nuevas tecnologías y sistemas productivos a lo largo de toda la cadena de valor (tal y como hemos visto); pero además, se presenta como oportunidad para ofrecer productos más seguros y fiables, permitiendo a estas empresas destacar en el mercado y, por tanto, ganar en competitividad, asegura David González, responsable de ciberseguridad de IK4-IKERLAN (Spri, 2016).

La aplicación de este conjunto de tecnologías transformará la cadena de valor tradicional, posibilitando nuevas interacciones y aplicaciones que añadan valor, y permitiendo alcanzar determinados beneficios, orientados al logro de procesos inteligentes, fabricación avanzada, trabajo colaborativo y, en definitiva, la optimización de la entera organización (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016). En otras palabras, esta generación de tecnologías “habilitará” la industria a ir un paso más allá, hacia una nueva dimensión.

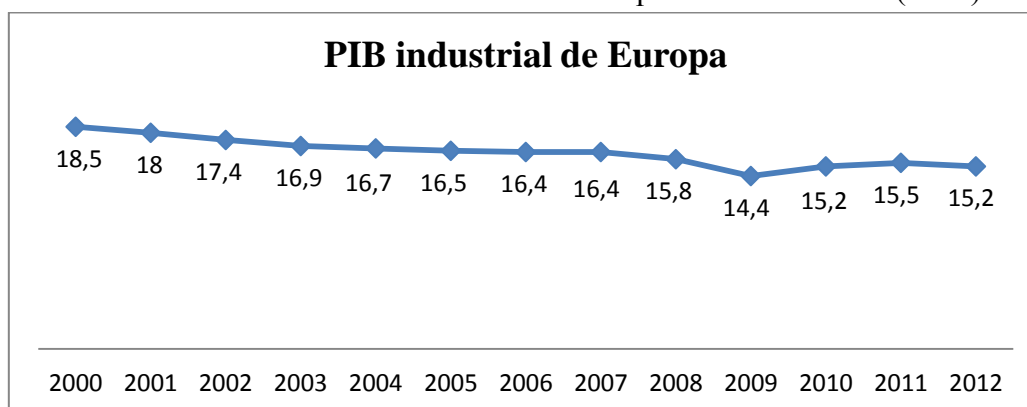
6. ACTUACIONES GUBERNAMENTALES

El cambio de paradigma que está teniendo lugar en la actualidad no sólo necesita del sustento del desarrollo tecnológico, de innovaciones o nuevos conceptos, sino que también requiere, de una manera vital, el apoyo institucional.

Como se ha comentado al principio del presente trabajo, Europa ha atravesado un difícil periodo a consecuencia de la crisis económica iniciada en 2008, la cual ha puesto en relieve las debilidades de la Unión y ha significado su desestabilización tanto económica como social. Dos indicadores que mejor reflejan estos efectos (recogidos en los Gráficos 6 y 7, respectivamente) son la evolución del PIB industrial, cuyo peso respecto al PIB total se ha visto mermado en los últimos años; y el nivel de desempleo, que ha aumentado notablemente en el mismo periodo.

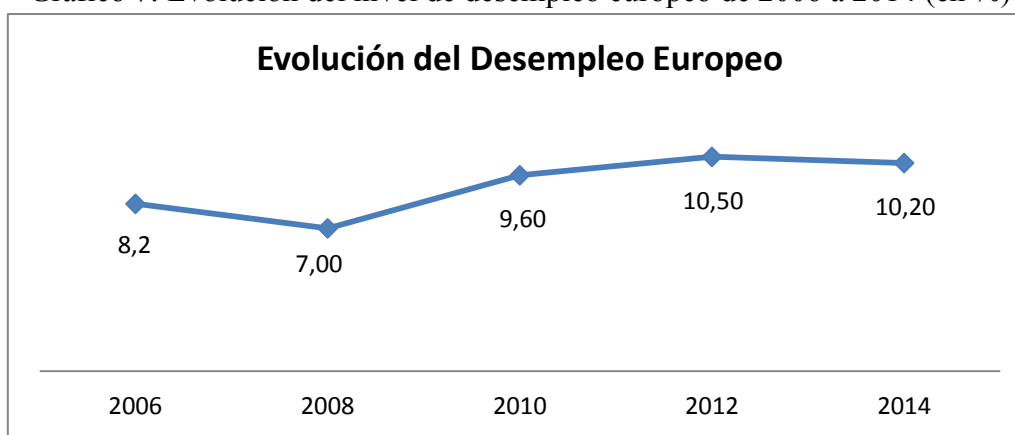
Con el fin de hacer frente a los efectos negativos que la crisis estaba evidenciando, la Unión Europea puso en marcha en el año 2010 una estrategia de crecimiento sostenible con el propósito de, no sólo salir de la crisis, sino además, restablecer los niveles de productividad y estabilidad que caracterizaban al continente europeo, y dar un paso adelante hacia un futuro generador de empleo (Barroso, 2013).

Gráfico 6: Evolución del PIB industrial europeo de 2000 a 2014 (en %)



Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea

Gráfico 7: Evolución del nivel de desempleo europeo de 2006 a 2014 (en %)



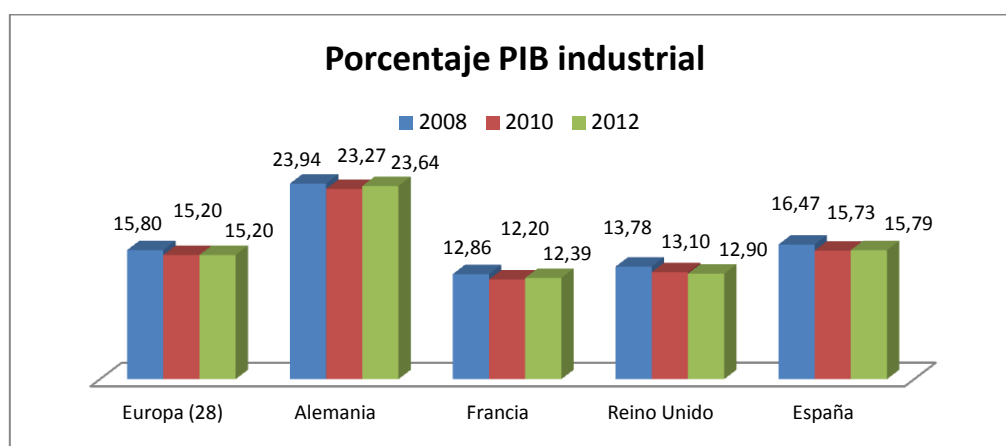
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial

Con una perspectiva a largo plazo –concretamente una década-, se centrarán esfuerzos en actuar sobre una serie de áreas (en materia de empleo, educación, clima/energía, innovación e integración social), que guiarán el camino de esta estrategia de crecimiento para devolver la Unión Europea a una posición competitiva. Así, para el año 2020, se espera:

- Garantizar el empleo al 75% de las personas de 20 a 64 años.
- Invertir el 3% del PIB de la UE en investigación y desarrollo.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% (respecto niveles de 1990), así como aumentar el consumo de energías renovables hasta un 20% del consumo total de energía.
- Disminuir las tasas de abandono escolar por debajo del 10% y lograr que al menos un 40% de las personas de 30 a 34 años hayan terminado estudios superiores.
- Reducir al menos en 20 millones el número de personas en riesgo de pobreza o exclusión social.

Sin embargo, para poder alcanzar los niveles fijados para estos indicadores, es necesaria una fuerza impulsora que conduzca a Europa hacia esa dirección. Y es en ese punto donde la industria entra en escena. La industria siempre ha sido garantía y motor de crecimiento, jugando un papel clave en la economía (favoreciendo la investigación, la innovación, productividad, creación de empleo y exportaciones). La crisis sufrida ha dejado patente esta relación, ya que los países que mejor la han sobrellevado, y que antes la han superado, han sido aquellos que han mantenido un PIB industrial superior al 20%. Ese es el caso de Alemania (como puede observarse en el Gráfico 8), cuyo PIB industrial a lo largo de toda la crisis ha estado por encima del 23%, y cuya variación en los cuatro primeros años (de 2008 a 2012) ha sido un crecimiento del 8'24%, en contraposición al resto de países que han visto cómo sus niveles disminuían. De ahí que Europa marque como objetivo alcanzar un nivel industrial del 20%.

Gráfico 8: Comparación del PIB industrial europeo y de sus principales países (en %)

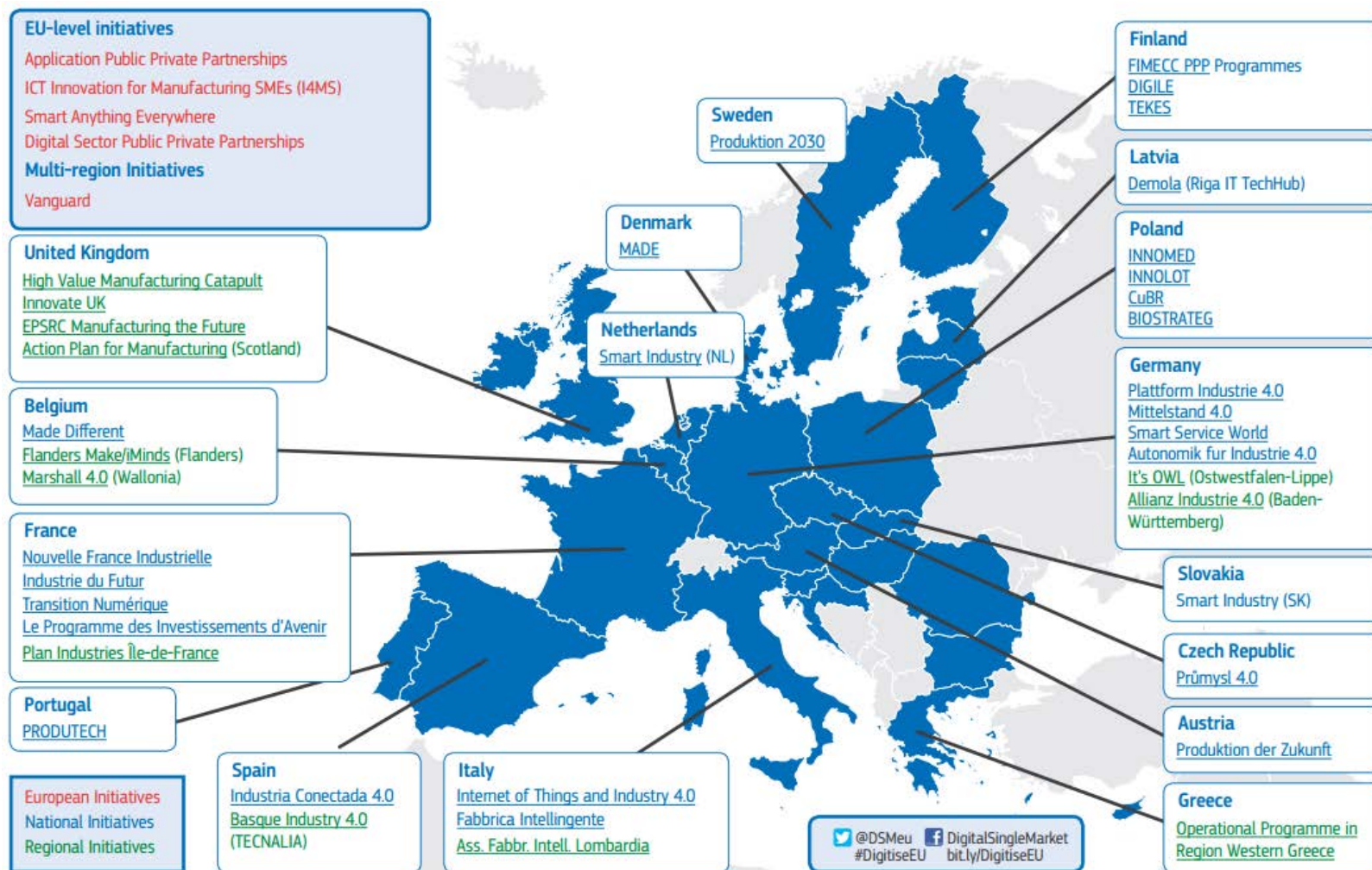


Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Ante estas evidencias -y junto al gran desarrollo tecnológico que paralelamente está teniendo lugar-, desde la Comisión Europea se enfatiza la necesidad de una nueva Revolución Industrial, que permita alcanzar un PIB del 20% -devolviendo la hegemonía pasada a la industria-, y al mismo tiempo, favorecer la evolución de los indicadores marcados para, en conjunto, lograr el crecimiento que recupere la estabilidad y sostenibilidad (Comisión Europea, 2013).

A su vez, para poner en marcha la que sería la Cuarta Revolución Industrial, es imprescindible la actuación y el compromiso de los gobiernos. Aunque existe conciencia de la transformación industrial que se avecina, se aprecia notablemente importantes diferencias en la actuación entre los diferentes países europeos, en cuanto a sus esfuerzos y disposición para enfrentar e impulsar la nueva Revolución Industrial. En la Figura 12 se recogen los planes de actuación que los países europeos están llevando a cabo. Nos centraremos, especialmente, en los principales planes de Alemania, Francia, Reino Unido y España, y analizaremos cómo están actualmente situadas estas naciones para hacer frente a los objetivos marcados desde Europa.

Figura 12: Visión general de las iniciativas europeas en la digitalización industrial



Fuente: Comisión Europea

Alemania, como se refleja en la Tabla 3, es el país de la Unión Europea que mejor posicionado estaba para responder a las directrices fijadas por la Comisión, dado que sus valores a lo largo de estos últimos años (PIB industrial, nivel de empleo y gasto en I+D, entre otros), y sus objetivos nacionales marcados para 2020, son los que más se asemejan a los establecidos por Europa. Por ese motivo, fue la primera en dar a conocer, en la Feria de Hannover de 2011, su particular visión sobre la Cuarta Revolución Industrial, a la que han denominado con la etiqueta “Industria 4.0”, y que comúnmente ha sido aceptada por el conjunto europeo para referirse al proceso de reindustrialización.

Tabla 3: Posicionamiento de Alemania respecto a los indicadores europeos

	ALEMANIA					OBJETIVO 2020
	2010	2011	2012	2013	2014	
PIB industrial (%)	23,27	23,52	23,64	23,24	23,14	20
Empleo (%)	75	76,5	76,9	77,3	77,7	77
Desempleo (%)	7,10	5,9	5,40	5,3	5,00	n.d.
Gasto I+D (%)	2,71	2,79	2,87	2,83	2,87	3
Energía Renovable (%)	10,5	11,4	12,1	12,4	13,8	18
Energía Primaria ⁹	310,4	294,4	296,8	302,8	291,8	276,6
Energía – consumo final ⁹	219,65	208,78	212,05	217,65	208,88	194,30
Tasa abandono escolar (%)	11,8	11,6	10,5	9,8	9,5	10
Nivel educación terciaria (%)	29,7	30,6	31,8	32,9	31,4	42

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Este país se erige como un referente en cuanto al despliegue de iniciativas que está promoviendo alrededor del desarrollo tanto de Industria 4.0, como de esa nueva generación de tecnologías que posibilitarán la transformación digital. En el año 2012 se creó un grupo de trabajo, formado por el doctor Siegfried Dais (Robert-Bosch GmbH) y el profesor Henning Kagermann (Germany Academy of Science and Engineering), cuyo propósito era elaborar para el Gobierno Alemán recomendaciones estratégicas a seguir para la implantación de Industria 4.0. Una de las principales recomendaciones atendía a la necesidad de crear una plataforma para avanzar en el desarrollo de su proyecto de Industria 4.0. Surge así la “*Platform Industrie 4.0*”, creada por distintas asociaciones¹⁰ - que representan a más de 6.000 empresas-, con el objetivo de elaborar recomendaciones conjuntas e identificar las tendencias en el marco de la reindustrialización. En ella se han creado diferentes grupos de trabajo destinados a distintas áreas: arquitecturas de referencia, estándares y normas, investigación e innovación, seguridad de los sistemas en red, marco legal y educación y formación. Esta plataforma subraya la importancia de una actuación conjunta y un enfoque coordinado que, de hecho, es una de las características que diferencia la actuación germana respecto de sus vecinos europeos.

⁹Medida: Mill. Tonnes of oil equivalent

¹⁰Estas asociaciones son: Asociación digital de Alemania (BITKOM), Asociación alemana de Ingeniería (VDMA) e Industria Eléctrica y Electrónica alemana (ZVEI).

Así, promueve la participación y colaboración entre las empresas, administración pública, universidades, asociaciones y centros de investigación (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

Otro de los países que más iniciativas está elaborando es Francia. El país galo ha venido atravesando un difícil periodo en los últimos años, como puede observarse en la Tabla 4, donde el PIB industrial es, en comparación, poco más de la mitad del PIB industrial que mostraba Alemania; o cuyo nivel de desempleo ha ido aumentando a consecuencia de la crisis.

Tabla 4: Posicionamiento de Francia respecto a los indicadores europeos

	FRANCIA					OBJETIVO 2020
	2010	2011	2012	2013	2014	
PIB industrial (%)	12,19	12,34	12,39	12,47	12,35	20
Empleo (%)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	69,4	75
Desempleo (%)	9,3	9,2	9,9	10,4	9,9	n.d.
Gasto I+D (%)	2,18	2,19	2,23	2,24	2,25	3
Energía Renovable (%)	12,6	11,1	13,4	14	14,3	23
Energía Primaria ⁹	252,80	243,20	243,50	245,40	234,50	219,90
Energía – consumo final ⁹	155,01	143,82	148,04	151,85	141,75	n.d.
Tasa abandono escolar (%)	12,7	12,3	11,8	9,7	9	9,5
Nivel educación terciaria (%)	43,2	43,1	43,3	44	43,7	50

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Con el imperioso objetivo de modernizar y dirigir la industria gala hacia la transformación de los procesos productivos, modelos de negocio, de la organización, el diseño y la comercialización -por medio de la digitalización-, así como situar la industria francesa al mejor nivel mundial, se puso en marcha el pasado año 2015 el programa denominado “*Nouvelle France Industrielle*” (Nueva Francia Industrial). Este plan, en el que se recogen 34 iniciativas que abarcan, principalmente, el desarrollo de la educación y de las tecnologías habilitadoras de esta Industria 4.0, se apoya en 5 pilares (Ministerio de Economía, Industria y Digitalización francés, 2014):

- El desarrollo de una oferta tecnológica para la industria del futuro, acompañando los proyectos particulares de las empresas que actúen en aquellos sectores en los que se pueda alcanzar, en un periodo aproximado de 5 años, una posición de liderazgo (como el caso de la impresión 3D).
- Apoyo corporativo a las empresas (ventajas fiscales y financiación adicional).
- Formación del talento de los empleados y promoción de nuevos perfiles profesionales.
- Promoción de la Industria del Futuro, mediante proyectos piloto, creación de una plataforma común (como hiciera Alemania), y organización de eventos.
- Fortalecimiento de la cooperación europea e internacional.

Por otro lado encontramos a Reino Unido, que también está dedicando importantes esfuerzos en este proceso de reindustrialización. Como se recoge en la Tabla 5, se puede observar el bajo nivel que representa la industria respecto al PIB total – con niveles similares a los de Francia-, o el bajo porcentaje de inversión en I+D que realiza la nación, en comparación con sus vecinos galos y germanos. Sin embargo, es uno de los países que menos ha visto aumentar su nivel de desempleo, incluso llegando a disminuirlo en los últimos años.

Tabla 5: Posicionamiento de Reino Unido respecto a los indicadores europeos

	REINO UNIDO					OBJETIVO 2020 ¹¹
	2010	2011	2012	2013	2014	
PIB industrial (%)	13,10	12,95	12,90	13,10	12,69	20
Empleo (%)	73,5	74,1	74,8	76,2	76,9	75
Desempleo (%)	7,90	7,8	8,00	7,5	6,30	n.d.
Gasto I+D (%)	1,69	1,69	1,62	1,66	1,7	3
Energía Renovable (%)	3,7	4,2	4,6	5,6	7	15
Energía Primaria ⁹	204,70	190,70	197,40	195,10	182,40	177,60
Energía – consumo final ⁹	143,26	131,98	135,89	137,20	129,75	n.d.
Tasa abandono escolar (%)	14,8	14,9	13,4	12,3	11,8	10
Nivel educación terciaria (%)	43,1	45,5	46,9	47,4	47,7	40

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

Los ingleses ven en el futuro de la Industria 4.0 la oportunidad de crear puestos de trabajo y contribuir al crecimiento económico del país. Entre sus iniciativas destaca “*See Inside Manufacturing*”, una asociación entre los departamentos de Negocios, Innovación y Habilidades (BIS¹²) y la Industria, a través de la cual se anima a los fabricantes a abrir sus puertas a jóvenes estudiantes, profesores y asesores, organizando visitas a sus instalaciones, con el objetivo de proporcionar de primera mano una imagen de cómo trabajan las fábricas modernas y cómo son los puestos de trabajo. En el año 2013 se registró una participación de 7.300 estudiantes y profesores (BIS, 2014).

En el caso de nuestro país, España ha protagonizado uno de los mayores periodos de declive por culpa de la crisis. Ello se evidencia, claramente –como muestra la Tabla 6-, en el alto nivel de desempleo que ha presentado en los últimos años que, si lo comparamos con Francia, correspondería a más del doble, y si se compara con Alemania, los niveles se multiplicarían por 4, incluso por 5.

¹¹Reino Unido no ha marcado objetivos nacionales para los indicadores: PIB industrial, Nivel de empleo, Gasto en I+D, Consumo final de energía, Tasa de abandono escolar y Nivel de educación; por ese motivo, se ha puesto como referencia los objetivos marcados por Europa.

¹²BIS: departamento ministerial destinado al crecimiento económico, invirtiendo en áreas como: habilidades, aprendizaje y educación, la promoción del comercio, la competitividad y las exportaciones, el fomento de la ciencia y la innovación, así como ayudar a las personas a iniciar y hacer crecer su negocio.

Tabla 6: Posicionamiento de España respecto a los indicadores europeos

	ESPAÑA					OBJETIVO 2020
	2010	2011	2012	2013	2014	
PIB industrial (%)	15,73	16,04	15,79	15,62	15,48	20
Empleo (%)	62,9	62	59,6	58,6	59,9	74
Desempleo (%)	20,20	21,7	25,20	26,3	24,70	n.d.
Gasto I+D (%)	1,35	1,33	1,28	1,26	1,23	2
Energía Renovable (%)	13,8	13,2	14,3	15,3	16,2	20
Energía Primaria ⁹	123,20	121,70	122,10	114,30	112,60	119,80
Energía – consumo final ⁹	155,01	143,82	148,04	151,85	141,75	n.d.
Tasa abandono escolar (%)	28,2	26,3	24,7	23,6	21,9	15
Nivel educación terciaria (%)	42	41,9	41,5	42,3	42,3	44

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat

La iniciativa público-privada que ha lanzado el gobierno español, para impulsar la transformación digital de la industria nacional, se ha denominado “*Industria Conectada 4.0*” (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015). Este plan, que arrancará con un presupuesto de 97’5 millones de euros, se trata de una iniciativa apoyada por Banco Santander, Telefónica e Indra, la cual engloba tres principales objetivos:

- Incrementar el valor añadido industrial, así como el empleo cualificado del sector.
- Favorecer el modelo nacional para la industria de futuro, que a su vez permita desarrollar la oferta local de soluciones digitales.
- Desarrollar ventajas competitivas que diferencien a la industrial española e impulse las exportaciones.

Cabe destacar también la iniciativa regional “*Basque Industry*”, promovida por el Gobierno Vasco y su agencia de desarrollo empresarial -grupo Spri-, por el esfuerzo que está realizando la comunidad vasca para apoyar e impulsar sus empresas y convertirse en un referente nacional en Industria 4.0.

Aunque los países europeos están poniendo especial esfuerzo en este proceso de reindustrialización, no son los únicos. Países como Estados Unidos o China también están prestando atención a este fenómeno y llevando a cabo actuaciones de Industria 4.0.

En el caso de los americanos, en la Tabla 7 se puede observar cómo su PIB industrial se ha mantenido constante durante los años de crisis. En comparación con Alemania, su nivel de desempleo también ha seguido una tendencia descendente y, respecto al gasto en I+D, su nivel es muy similar al de los germanos.

Tabla 7: Posicionamiento de Estados Unidos respecto a los indicadores europeos

	ESTADOS UNIDOS			
	2010	2011	2012	2013
PIB industrial (%)	15,4	15,7	15,61	15,5
Desempleo (%)	9,70	9	8,20	7,4
Gasto I+D (%)	2,74	2,77	2,81	n.d.
Energía Renovable (%)	7,48	8,19	7,92	n.d.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Eurostat y Banco Mundial

En el año 2011, el presidente de EEUU, Barack Obama promovió la creación de la “Asociación de Fabricación Avanzada” (AMP), cuya dirección está compuesta por los representantes de las principales firmas americanas (Dow Chemical, Ford, Intel, Procter&Gamble...), y su objetivo radica en la identificación de oportunidades colaborativas entre la industria, las academias y el gobierno, que conduzcan a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y procesos productivos. En 2012 realizó un informe con 16 recomendaciones, entre las cuales, se optaba por la creación de una Red Nacional de Institutos de Innovación de la Fabricación (NNMII), que engloba 15 centros de investigación en tecnología industrial. Además, en el presupuesto de 2013, los recursos previstos destinados a la “Fabricación Aditiva” (nombre más común bajo el que se conoce “Industria 4.0” en América), ha aumentado un 19% (2,2 billones de dólares). Paralelamente, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) –órgano responsable de la normalización-, obtuvo 100 millones de dólares para promocionar apoyo técnico. Estas son algunas de las medidas que EEUU está llevando a cabo con el fin de continuar impulsando la producción industrial nacional y la creación de empleo (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

En el caso de China, el país asiático está cobrando cada vez más fuerza en el ámbito tecnológico e innovador. Como se recoge en la Tabla 8, merece mención especial el peso de la industria, que representa cerca de la mitad del PIB total del país, por lo que el sector secundario se erige como el principal contribuidor de la economía china. Otro dato que refuerza el posicionamiento de este país es su baja tasa de desempleo, que se ha mantenido constante en torno al 4,5% en los últimos años.

Tabla 8: posicionamiento de China respecto a los indicadores europeos

	CHINA			
	2010	2011	2012	2013
PIB industrial (%)	46,2	46,1	45	43,7
Desempleo (%)	4,20	4,3	4,50	4,6
Gasto I+D (%)	1,73	1,79	1,93	n.d.
Energía Renovable (%)	19,08	18,02	18,36	n.d.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial

China elaboró un Plan Quinquenal (2011-2015) persiguiendo el objetivo de disminuir la dependencia tecnológica extranjera, así como la búsqueda de liderazgo tecnológico, para cuya consecución los líderes chinos han destinado en torno a 1’2

billones de euros. En 2009 se creó un grupo de investigación centrado en sistemas CPS, a lo cual le siguió, un año más tarde, la apertura del primer centro de investigación destinado al IoT, para estudiar dicha tecnología y las necesidades de normalización implícitas (Kagermann, Wahlster y Helbig, 2013).

7. CONCLUSIONES

Industria 4.0 es un concepto inédito que implica un cambio de paradigma y que constituye, posiblemente, el mayor reto de futuro al que se enfrenta en la actualidad no sólo la industria, sino la sociedad en su conjunto. De hecho, es ya una realidad plena que avanza inexorablemente a tal velocidad que, en tan sólo tres años, ha pasado de ser un proyecto a implementarse en grandes compañías como el modelo tecnológico que marcará un antes y un después en la producción industrial.

Las anteriores revoluciones industriales, surgidas al calor de nuevos descubrimientos e invenciones, tenían la realidad física como marco de actuación y campo de desarrollo, pero la Industria 4.0 nos traslada a otra dimensión donde reina lo intangible. La Cuarta Revolución Industrial nos introduce, por primera vez en la historia, a un tipo de realidad virtual que coexiste, e incluso interactúa, con el mundo físico material. Estos cambios suponen un salto cualitativo al que la mentalidad del hombre deberá adaptarse.

Los actores principales de este nuevo guión son el software, las redes, el Big Data, la nube, el mundo ciberfísico, la Simulación, la Realidad Aumentada o las impresoras en tres dimensiones, que nos permiten alcanzar logros impensables pocos años atrás.

En cuanto a los procesos de producción industrial se refiere, la implementación de este conjunto de tecnologías va a transformar la cadena de valor tradicional, posibilitando nuevas interacciones y aplicaciones que añaden valor, disminuyen costes, aumentan la productividad y la eficiencia en todos los procesos y permiten alcanzar mayores beneficios. Esto es posible porque toda esta generación de avances tecnológicos conforma un trabajo colaborativo donde los procesos inteligentes permiten optimizar la organización entera.

Sin embargo, el mayor reto que plantea la Industria 4.0 es de orden social, pues no sólo cambiará nuestra posición como clientes, sino que además nos enfrenta al desafío de adaptarnos a un entorno laboral más complejo y de mayor cualificación. En efecto, el cliente pasa de ser un mero destinatario de los productos que genera una fábrica, una marca o una compañía, a desempeñar un papel totalmente activo desde el principio del proceso productivo hasta el final, eligiendo, decidiendo qué quiere, cómo lo quiere, personalizando sus productos y marcando los tiempos de entrega. Además, tendremos que familiarizarnos con nuevos conceptos de las cosas como los productos

inteligentes que llevan en sí mismos las instrucciones de uso, indicando a las máquinas cómo deben ser tratados, su mantenimiento, etc. y cambiar nuestra forma de trabajar y de entender el trabajo en sí mismo, pues ahora prima la eficiencia y el ahorro energético.

Otras implicaciones afectan al sistema educativo, pues más pronto que tarde habrá que educar a las nuevas generaciones –y reeducar a las demás – en los nuevos valores que preconiza la Industria 4.0, como el aprendizaje y el uso de las tecnologías, su aplicación práctica, el manejo de ingentes cantidades de información, la sostenibilidad de los recursos y la eficiencia máxima en su gestión. La presidenta de Siemens en España, Rosa García, insiste en la imperiosa necesidad de establecer una relación más estrecha entre las universidades y las empresas, para fomentar el emprendimiento, cultivar estos nuevos valores industriales y poner también en práctica una Educación 4.0 (Muñoz y Esteller, 2016).

En el capítulo puramente económico, según la Comisión Europea, el sector secundario representa en torno al 50% del empleo privado, el 75% de las exportaciones y el 80% de las actividades privadas en I+D de Europa. Sin embargo, a consecuencia de la crisis sufrida, estos valores se han visto mermados. Serán los productos de alto valor añadido los que determinarán el peso específico de un país en el contexto general de la economía global. Por ello, la Comisión Europea ensalza la necesidad de impulsar la industria hacia una nueva revolución que permita recuperar la competitividad, el liderazgo y, por consiguiente, el bienestar económico europeo (Comisión Europea, 2013). Para lograr estos objetivos, es de vital importancia la implicación e inversión financiera en I+D+i tanto de los gobiernos como de emprendedores y empresarios, quienes de hecho ya están apoyando y promoviendo iniciativas y acciones que faciliten la transformación de sus países y de Europa en su conjunto.

En un plazo muy breve de tiempo observaremos cómo los países van a caminar a muy diferentes velocidades en cuanto a crecimiento económico y social se refiere, y casi con total seguridad la tecnología 4.0 será uno de los factores determinantes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- (<http://www.elmundo.es/economia/2015/03/16/55069fe1e2704ee1378b456c.html>)
[Consulta: 06/05/16]
- (<https://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/que-es-big-data/>); [Consulta: 29/04/16]
- ARRIETA, E (2015); “Por qué la fabricación 3D cambiará el mundo; *Expansión* (<http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2015/12/23/567993b4268e3ed92c8b4585.html>).[Consulta: 27/04/16]
- BARRANCO, R. (2012): “¿Qué es el Big Data?”;
- BIS (2014): “See Inside Manufacturing”; Department for Business Innovation & Skill (<https://www.gov.uk/government/publications/see-inside-manufacturing-bis-and-industry-partnership/see-inside-manufacturing>). [Consulta: 20/05/16]
- BRACERO, F. (2016): “El calcetín rebelde no escapará a esta lavadora llegada del futuro”, *La Vanguardia*, (<http://www.lavanguardia.com/tecnologia/innovacion/20160211/302093883255/electrodomesticos-samsung-lavadoras-frigorificos-conectado.html>). [Consulta: 14/04/16].
- BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M. y ROSENBERG, M. (2014): “How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective”. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 8(1), 37-44.
- CAMPOS, M. (2016): “Transformación digital sí, pero sin descuidar la seguridad”; *Expansión*; (<http://www.expansion.com/economia-digital/protagonistas/2016/04/07/570632ac46163f02288b4627.html>); [Consulta: 04/05/16]
- CARVALLO, M. (2012): “Michelin RFID: ¿Neumáticos que se comunican entre sí? Claro, existen”. *Bólide*, (<https://www.bolido.com/2012/07/michelin-rfid-%C2%BFneumaticos-que-se-comunican-entre-si-claro-existen/>) [Consulta: 14/04/16]
- CHAO, L. (2016); “La impresión 3D busca escala industrial”; *Expansión* (<http://www.expansion.com/economia-digital/2016/05/01/5720799646163f50628b4575.html>) [Consulta: 03/05/16]
- CLIMENT, M. (2014): “Así es la fábrica del futuro y así volverá a Europa”, *El Mundo*. (<http://www.elmundo.es/economia/2014/10/24/54494bf1e2704ec91c8b456c.html>). [Consulta: 18/04/16]
- CLIMENT, M. (2015); “Las plantas virtuales, pieza clave para llegar hasta la Industria 4.0” *El Mundo*,
- Comisión Europea (2013), “¿Qué es Horizonte 2020?; Edita Horizonte2020; (<http://www.eshorizonte2020.es/que-es-horizonte-2020>) [Consulta: 20/02/16]
- COMISIÓN EUROPEA, 2013: “Comprender las políticas de la unión europea. Una nueva revolución industrial”, *Comisión Europea –Empresa*, 1-16.

- CRUZ, M.; OLIETE, P.; MORALES, C.; GONZALEZ, C.; CENDÓN, B. y HERNANDEZ, A. (2015): “Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0”, *Ministerio de industria, energía y turismo – EOI*, 1-190.
- EVANS, D. (2011): “Internet of Things: la próxima evolución de Internet lo está cambiando todo”, *Cisco*, 1-12.
- EVANS, P. y ANNUNZIATA, M. (2012): “Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines”. *Imagination at work*, 1-37.
- FLORIT, J. (1999): “Comienzos del industrialismo moderno. La máquina de vapor y los ferrocarriles”, *El siglo XIX*, ediciones Historia Universal Salvat, 19-40.
- GALINDO, C. (2015): “Del torno a los robots humanoides”. Edita ElPais. (http://economia.elpais.com/economia/2015/10/20/actualidad/1445346975_123216.html) [Consulta: 21/04/16]
- GARCÍA, R. (2013): “La cuarta revolución industrial”, *La Cuarta Página – El País*. (http://elpais.com/elpais/2013/05/22/opinion/1369216935_294419.html). [Consulta: 12/03/16]
- GUTIÉRREZ, D. (2016): “Realidad aumentada: territorio Microsoft”, Edita *DirigentesDigital.com* (<http://www.dirigentesdigital.com/articulo/tecnologia/232797/realidad-aumentada-terreno-microsoft.html>). [Consulta: 02/05/16]
- JIMENEZ, M.; PORRAS, J.; DOMINGUEZ, I.; ROMERO, L. y ESPINOSA, M. (2013): “La fabricación aditiva. La evidencia de una necesidad”. Edita Interempresas (<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/116342-La-fabricacion-aditiva-La-evidencia-de-una-necesidad.html>). [Consulta: 27/04/16]
- JUSTE, M. (2016): “Los ciberataques causaron pérdidas por más de 350.000 millones en 2015”; *Expansión* (<http://www.expansion.com/economia-digital/companias/2016/05/05/572b021946163faa498b456d.html>); [Consulta: 07/05/16]
- JUTGLAR, A. (1999): “La revolución industrial y la aparición del gran capitalismo”, *El siglo XIX*, ediciones Historia Universal Salvat, 65-92.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. y HELBIG, J. (2013): “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0”. *Acatech*, 1-82.
- LEE, J. (2014): “La Industria 4.0: la fábrica en el entorno de los macrodatos”, *tec.News – Boletín tecnológico de Harting*, 26, 8-9.
- LOPEZ, J.C. (2014): “La moda del Big Data: ¿En qué consiste en realidad?”, *El Economista*; (<http://www.eleconomista.es/tecnologia/noticias/5578707/02/14/La-moda-del-Big-Data-En-que-consiste-en-realidad.html>). [Consulta: 29/04/16]
- MANYIKA, J.; CHUI, M.; BISSON, P.; WOETZEL, J.; DOBBS, R.; BUGHIN, J. y AHARON, D.; (2015): “Unlocking the potential of the Internet of Things”, *McKinsey Global Institute*. (<http://www.mckinsey.com/business-functions/business-technology/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>). [Consulta: 15/03/16]

- MENDOZA, M.A. (2015): “¿Ciberseguridad o seguridad de la información? Aclarando la diferencia”; Edita We Live Security (<http://www.welivesecurity.com/la-es/2015/06/16/ciberseguridad-seguridad-informacion-diferencia/>). [Consulta: 04/05/16]
- MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y DIGITALIZACIÓN (2014): “Nouvelle France Industrielle” (<http://www.economie.gouv.fr/vous-orienter/entreprise/industrie/nouvelle-france-industrielle>). [Consulta: 20/05/16]
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (2015): “Industria 4.0: La transformación digital de la industria española” (<http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/Index.aspx>). [Consulta: 20/05/16]
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (2016): “La importancia de los habilitadores digitales en la cadena de valor de la industria” [Video]. Edita YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=glafMnSyEtY>). [Consulta: 12/05/16]
- MUÑOZ, A. y ESTELLER, R. (2016): “Siemens: Las firmas que no se digitalicen estarán fuera del mercado en pocos años”; *elEconomista*; (<http://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/7571580/05/16/Las-firmas-que-no-se-digitalicen-estaran-fuera-del-mercado-en-pocos-anos.html>). [Consulta: 16/07/16]
- NARANJO, O. (2016): “Qué es la realidad aumentada”, Edita *MediaTrends* (<http://www.mediatrends.es/a/66815/que-es-realidad-aumentada/>). [Consulta: 02/05/16]
- ORS, M. (2015): “Cómo Siemens promueve la Cuarta Revolución Industrial”. *Actualidad Económica*, Febrero 2015, 22-27.
- PI, X. (2014): “El desafío de la seguridad”, *Automática e Instrumentación*, 466, 67.
- PI, X. (2014): “Los sistemas embebidos en el centro de la Cuarta Revolución Industrial”, *Automática e instrumentación*, 466, 62-70.
- SABO, F. (2015): “Industry 4.0 – A Comparison of the status in Europe and The USA”, *FH Kufstein tirol, University of applied sciences*, 1-8.
- SÁNCHEZ, A. (2016): “El Internet de las Cosas, tsunami tecnológico y revolución digital”, *Expansión*, (http://www.expansion.com/economia-digital/2016/03/29/56fa38bcca4741a8348b4632.html?utm_content=bufferecd7&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer). [Consulta: 14/04/16]
- SCHLAEPFER, R.; KOCH, M. y MARKOFER, P. (2015): “Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies”, *Deloitte*, 1-32.
- SIEMENS, 2013: “El 30% del consumo mundial de energía proviene de la industria”, Edita Siemens – Ciudades del futuro (<http://www.ciudadesdelfuturo.es/el-30-del-consumo-mundial-de-energia-proviene-de-la-industria.php>) [Consulta: 14/03/16]
- SPRI (2014c): “*Basque Industry 4.0 Robótica Colaborativa*”. [Video] Edita YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=FQiSTo2OT34>) [Consulta: 25/02/16]
- SPRI (2014d): “*Basque Industry 4.0 – Sistemas Ciber-físicos*”. [Video] Edita: YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=b2rvdSqKmJQ>). [Consulta: 13/04/16]

SPRI (2014e): “*Basque Industry 4.0 – Realidad Aumentada*”. [Video] Edita YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=3-FCD0Uib1M>). [Consulta: 02/05/16]

SPRI (2014f): “*David, Agustín en #BasqueCountry40 robótica colaborativa*” [Video] Edita YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=5ILb8Dz-bDI>) [Consulta: 22/04/16]

SPRI (2014g): “*Basque Industry 4.0 – Big Data*” [Video] Edita YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=t6hJDS5qIGQ>); [Consulta: 29/04/16]

SPRI (2015a): “*Industria 4.0 - ¿Utopía digital o business case? – Basque Industry 4.0*”. [Video] Edita YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=9dtxBsSeinw>) [Consulta: 15/03/16]

SPRI (2015b): “*Taller 1.1: Yo también soy Industria 4.0 y tengo un plan – Basque Industry 4.0*”. [Video] Edita YouTube. (<https://www.youtube.com/watch?v=R-MFZCysHJ0>). [Consulta: 15/03/16]

URUEÑA, A.; FERRARI, A.; BLANCO, D. y VALDECASA, E. (2012): “Cloud Computing. Retos y Oportunidades”; *Ministerio de Industria, Energía y Turismo - ONTSI*, (http://www.ontsi.red.es/ontsi/sites/default/files/1-_estudio_cloud_computing_retos_y_oportunidades_vdef.pdf). [Consulta: 30/04/16]

VIAÑA, E. (2016): “Datatruth: la verdad que esconde el Big Data”; *Expansión* (<http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2016/04/13/570e8f3746163fa5598b459d.html>). [Consulta: 29/04/16]

ZAHERA, M. (2012): “La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos”; *Fundación Cotec – XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, Valencia; págs. 1-11.

ZÜHLKE, D. (2014): “La industria 4.0: de la visión a la realidad”, *tec.News – Boletín tecnológico de Harting*, 26, 10-11.

Páginas web

“*Ciberseguridad en la Industria 4.0*” (2015). Edita: Spri (<http://www.spri.eus/euskadinnova/es/enpresa-digitala/agenda/ciberseguridad-industria-40/11736.aspx>) [Consulta: 04/05/16]

“Ciberseguridad industrial, la clave para blindar la competitividad de la industria”; (<http://www.ikerlan.es/es/actualidad/notas-de-prensa/ciberseguridad-industrial-la-clave-para-blindar-la-competitividad-de-la-industria>); [Consulta: 04/05/16]

“*Ciberseguridad, un elemento clave para la Industria 4.0*” (2016). Edita: Spri (<http://www.spri.eus/es/actualidad-spri/noticias/ciberseguridad-un-elemento-clave-para-la-industria-4-0>). [Consulta 05/05/16]

“*El uso de la realidad aumentada en el sector industrial*” (2016). Edita Logic-fin. (<http://logic-fin.com/el-uso-de-la-realidad-aumentada-en-el-sector-industrial/>). [Consulta: 02/05/16]

“Intercambio de opiniones sobre Industria 4.0” (2016); Edita infoPLC (<http://www.infopl.net/noticias/item/103139-pilz-comisario-eu-opiniones-industria-4>). [Consulta: 23/02/16]

“Introducción a la fabricación aditiva” (2015); Departamento de Innovación, Desarrollo Rural y Turismo de Gipuzkoa; (<http://www.adimenlehiakorra.eus/documents/29934/35016/Introduccion+a+la+fabricacion+aditiva/e0cc22a2-46c4-4f0f-bd00-05ce95d574e9>). [Consulta: 27/04/16]

“Realidad aumentada” (2016). Edita Vicomtech (<http://www.vicomtech.org/t1/e6/realidad-aumentada>). [Consulta: 02/05/16]

“Robot colaborativo Sawyer de Rethink en Hannover Messe”. Edita infoPLC. (<http://www.infopl.net/noticias/item/103352-rethink-robot-cobot-sawyer-hannover-messe>). [Consulta: 30/04/16]

“World Robotics 2015 Industrial Robots”, (2015), Edita IFR – International Federation of Robotics. (<http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>). [Consulta: 21/04/16]