



## **FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

### **GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

#### **Uso, desarrollo, perspectivas y repercusión de la fabricación aditiva.**

Trabajo Fin de Grado presentado por Beatriz Mendoza de Puelles, siendo el tutor del mismo el profesor Antonio Ruiz Jiménez y el cotutor el profesor Miguel Ángel Domínguez Machuca.

Vº. Bº. del Tutor:

Alumna:

D. Antonio Ruiz Jiménez

D<sup>a</sup>. Beatriz Mendoza de Puelles

Vº. Bº. del Cotutor:

D. Miguel Ángel Domínguez Machuca

Sevilla, Junio de 2018





**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS**

**TRABAJO FIN DE GRADO**  
**CURSO ACADÉMICO [2017-2018]**

**TÍTULO: USO, DESARROLLO, PERSPECTIVAS Y REPERCUSIÓN DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.**

**AUTOR: BEATRIZ MENDOZA DE PUELLES**

**TUTOR: ANTONIO RUIZ JIMÉNEZ**

**COTUTOR: MIGUEL ÁNGEL DOMÍNGUEZ MACHUCA**

**DEPARTAMENTO: Economía Financiera y Dirección de Operaciones**

**ÁREA DE CONOCIMIENTO: Organización de Empresas**

**RESUMEN:**

Los grandes avances producidos en las industrias por la nueva revolución industrial nos acercan a una completa digitalización en las organizaciones, convirtiéndolas en fábricas inteligentes. Este hecho es posible gracias a las nuevas tecnologías denominadas habilitadores digitales y que cada vez están más presentes en todos los aspectos de las industrias. En este trabajo nos hemos querido centrar en una de ellas, la fabricación aditiva o impresión 3D, y estudiar en qué consiste, su evolución, las principales características, los tipos de impresoras 3D, las aplicaciones más destacadas, así como las principales repercusiones que tiene en el presente y que tendrá en el corto plazo para la sociedad, las industrias, los trabajadores, el mercado laboral y la educación.

**TÉRMINOS CLAVE:**

Industria 4.0.; fabricación aditiva; impresión 3D; educación 4.0.



## ÍNDICE

---

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1	INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	7
1.2	OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	8
1.3	METODOLOGÍA .....	8
1.4	ESTRUCTURA.....	8
<b>2</b>	<b>LOS ORÍGENES DE LA INDUSTRIA 4.0.....</b>	<b>9</b>
2.1	LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES .....	9
2.2	LA INDUSTRIA 4.0. ....	10
2.3	CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA 4.0. ....	11
2.4	MODELOS DE INDUSTRIA 4.0. ....	12
2.4.1	Modelo de Tecnalía .....	12
2.4.2	Modelo “Industria Conectada 4.0.” .....	14
2.4.3	Modelo de IK4 Research Alliance.....	16
2.4.4	Modelo de Deloitte.....	16
2.4.5	Modelo de PricewaterhouseCoopers (PwC).....	18
<b>3</b>	<b>LOS HABILITADORES DIGITALES DE LA INDUSTRIA 4.0. ....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>LA FABRICACIÓN ADITIVA E IMPRESIÓN 3D.....</b>	<b>23</b>
4.1	HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA .....	23
4.2	EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA .....	25
4.3	LA IMPRESIÓN 3D .....	27
4.3.1	Tipos de impresoras 3D.....	27
4.4	CARACTERÍSTICAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA E IMPRESIÓN 3D .....	33

4.4.1	Ventajas e inconvenientes de la fabricación aditiva.....	33
4.5	<b>APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D .....</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>CONSECUENCIAS DE LA INDUSTRIA 4.0. ....</b>	<b>39</b>
5.1	CONSECUENCIAS EN LAS INDUSTRIAS .....	39
5.2	CONSECUENCIAS EN LA EDUCACIÓN.....	40
5.3	CONSECUENCIAS PARA LOS TRABAJADORES.....	43
5.4	CONSECUENCIAS EN EL MERCADO LABORAL.....	44
5.5	SECTOR DE LA IMPRESIÓN 3D .....	45
5.6	PERFILES MÁS DEMANDADOS EN EL MERCADO DE TRABAJO ESPAÑOL EN 2018 46	
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>

## Relación de Figuras

---

Figura 2.1. De la industria 1.0. a la industria 4.0. ....	10
Figura 2.2. Seis claves de las nuevas fábricas del futuro. ....	13
Figura 2.3. Habilitadores digitales de la Industria Conectada. ....	15
Figura 2.4. Las cuatro características de la industria 4.0. ....	17
Figura 2.5. Modelo industria 4.0.: PwC. ....	18
Figura 3.1. Habilitadores digitales de la industria 4.0. ....	22
Figura 4.1. Impresora 3D de Modelado por deposición fundida (FDM). ....	28
Figura 4.2. Impresora 3D de Estereolitografía (SLA). ....	28
Figura 4.3. Impresora 3D de Procesamiento digital de luz (DLP). ....	29
Figura 4.4. Impresora 3D de Sinterizado selectivo por láser (SLS). ....	29
Figura 4.5. Impresora 3D de Fusión selectiva por láser (SLM). ....	30
Figura 4.6. Impresora 3D de Fusión por haz de electrones (EBM). ....	30
Figura 4.7. Impresora 3D de Fabricación mediante laminado de objetos (LOM). ....	31
Figura 4.8. Impresora 3D de Inyección de aglutinante (BJ). ....	31
Figura 4.9. Impresora 3D de Inyección de material (MJ). ....	32
Figura 4.10. Modelo de implantación de la fabricación aditiva de Saunders. ....	34
Figura 5.1. Participación de alumnos, centros y empresas en programas de formación profesional dual en España (2012/13 y 2013/14). ....	42
Figura 5.2. Trabajos con demanda creciente de profesionales entre 2015 – 2020. ....	47
Anexo A. Prótesis Nextep (2007) de Jannis Breuninger ....	57
Anexo B. Botas ortopédicas (2008). ....	57
Anexo C. Protective Sports Mask (2010). ....	58
Anexo D. Guía de reposicionamiento con los implantes en su sitio ....	58
Anexo E. Proyecto Sunglasses (2006) de Kathinka Bryn. ....	58
Anexo F. Zapatos Head Over Heels (2006) de Sjors Bergmans. ....	59
Anexo G. Nike Zoom Superfly Elite. ....	59

Anexo H. Piruletas artesanales diseñadas por Babines.....	59
Anexo I. Pasteles diseñados por Dinara Kasko.....	60
Anexo J.Casa impresa en 3D por Be More 3D.....	60

## **Relación de Tablas**

---

Tabla 4.1. Tipos de impresoras 3D.....	32
Tabla 5.1.Perspectiva neta de empleo por familia de trabajo en todos los países (2015 – 2020), en miles. ....	48

## **Relación de Gráficas**

---

Gráfica 4.1. Participación de sistemas de manufactura aditiva para la producción de piezas en los ingresos totales de la industria (2003-2012). ....	25
Gráfica 5.1.Tipo de capacitación que actualmente usa la empresa en Manufactura Aditiva. ....	45



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Resulta evidente el cambio que se está produciendo en la sociedad general, en el mercado de trabajo, en el ámbito económico y en el empresarial, por el uso de nuevas tecnologías y métodos de producción.

Dentro del ámbito estrictamente empresarial, el principal cambio o ruptura con el pasado es la transformación digital y el camino hacia la industria 4.0.

En este sentido, la industria 4.0. se refiere a la manera de organizar y gestionar los medios de producción y todo el proceso de la cadena de valor de la industria manufacturera, en la que se producirá la completa digitalización.

Tenemos que destacar que, aunque la industria 4.0. es un término relativamente nuevo, ya que apareció hace escasamente unos años, se produjo el auge de este concepto hace un par de años y ha crecido de manera exponencial dadas las ventajas que puede introducir en las organizaciones.

Entre estas grandes ventajas para la industria se encuentran la posibilidad de aumentar la productividad y reducir los costes al mismo tiempo, además de permitir una producción más flexible. Como consecuencia, los consumidores también se verán beneficiados.

Una parte fundamental de la transformación, como se menciona en las primeras líneas, son las tecnologías claves que permitirán que se produzca la revolución, denominadas habilitadores digitales. Entre las cuales hemos considerado especialmente relevante la fabricación aditiva o impresión 3D. Por este motivo, hemos centrado el estudio en la misma.

La fabricación aditiva consiste en la sucesiva superposición controlada de capas de algún tipo de material hasta conseguir el objeto deseado, lo que permite el ahorro en costes de material, en capital humano, y la realización de prototipos y productos personalizados de manera rápida y flexible, sin aumentar el coste de las operaciones.

Todos estos cambios traen consigo consecuencias inevitables, y una de las más importantes será la que se produzca en la educación. En este sentido, las personas necesitarán mayor cualificación de la habitual en la actualidad para poder realizar su trabajo y, además, los conocimientos avanzarán a un ritmo acelerado, avance que será difícil de mantener en el sistema educativo.

En cuanto al tema del mercado laboral, nos sorprende la cantidad de profesiones que se perderán y el gran número de empleos creados en otras tipologías, relacionadas con las Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés: 'Science, Technology, Engineering and Mathematics').

Además, este trabajo lo realizamos porque se está produciendo una gran transformación en el mundo empresarial y laboral que nos afecta a los estudiantes, sobre todo en nuestro grado, Administración y Dirección de Empresas, y durante el desarrollo del mismo no se nos ha transmitido información acerca del tema.

A nuestro juicio, todos los motivos plasmados justifican que se dediquen los esfuerzos que conlleva la realización de un trabajo de fin de grado a esta revolución e indagar sobre qué es y cómo va a repercutir en los diferentes aspectos mencionados.

## 1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO

Tal y como se deduce del epígrafe anterior, el objetivo principal de nuestro trabajo es realizar una inmersión en **qué es y qué consecuencias tendrá la industria 4.0.** y, concretamente, **la fabricación aditiva**, en el mundo empresarial.

Para poder alcanzar este objetivo, debemos plantearnos unos subobjetivos, que serán los siguientes:

- Estudiar y comprender las características y herramientas de la cuarta revolución industrial que estamos viviendo hoy en día.
- Indagar todo lo posible en la fabricación aditiva, su desarrollo y tipologías.
- Analizar las repercusiones que tendrá la fabricación aditiva en la sociedad en general, a nivel industrial, educativo, en los trabajadores y en el mercado laboral.

## 1.3 METODOLOGÍA

Dadas las características del trabajo que nos disponemos a desarrollar, que trata sobre un tema actual, la metodología será la normal en estos casos: revisión bibliográfica de noticias, informes, blogs, artículos, investigaciones y otros recursos electrónicos. Es decir, las principales fuentes de información han sido de carácter online.

## 1.4 ESTRUCTURA

A continuación, vamos a exponer la estructura de la que hemos dotado el presente trabajo, la cual está formada por seis partes:

En el capítulo 1, haremos una pequeña introducción en la que se incluye la justificación del tema elegido, así como los objetivos que pretendemos conseguir, la metodología y la estructura del trabajo.

En el segundo capítulo realizaremos una exploración de los orígenes de la Industria 4.0., sus características principales y los modelos que pueden usar las industrias para alcanzar la digitalización.

En el tercer capítulo explicaremos los habilitadores digitales claves que serán necesarios en toda industria 4.0.

En el capítulo cuarto, nos adentraremos en la fabricación aditiva o impresión 3D. De este modo, se explicará la evolución que ha tenido y sus perspectivas, las características elementales, la tipología de impresoras 3D y las aplicaciones más importantes en la industria.

En quinto lugar, expondremos las consecuencias más destacadas de la cuarta revolución industrial, la cual ha afectado a la sociedad en general y, en particular, al mundo empresarial y al mercado laboral.

Acabaremos con unas conclusiones en el capítulo sexto, en las que se reflejan las principales ideas extraídas de la realización del trabajo.

Por su parte, también realizaremos mención expresa a la bibliografía utilizada.

## 2 LOS ORÍGENES DE LA INDUSTRIA 4.0.

### 2.1 LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES

A lo largo de la historia se han producido cuatro grandes revoluciones industriales que han supuesto, no solamente cambios en los procesos industriales, sino también sociales, económicos y tecnológicos (Red de Centros de Acompañamiento Tecnológico e Innovación para el Desarrollo Económico de Asturias, a partir de ahora Red de Centros SAT, 2016):

- La **primera revolución industrial** iniciada en la segunda mitad del siglo XVIII en Reino Unido, con la aparición de la máquina de vapor, supuso la mayor transformación económica, social y tecnológica desde el neolítico. La incorporación de las máquinas a los procesos productivos permitió fabricar más rápido, multiplicando la renta per cápita y el PIB.
- Las fuentes de energía como el gas, el petróleo y principalmente la electricidad, dieron lugar a lo que se denominó la **segunda revolución industrial** a mediados del siglo XIX. Es la época de la producción en cadena, el uso de nuevos materiales, nuevos sistemas de transporte como el avión y el automóvil, y nuevos sistemas de comunicación, con la aparición del teléfono y la radio. Estos avances provocaron un profundo cambio en la economía, cada vez más internacionalizada y globalizada.
- La **tercera revolución industrial** es un concepto más reciente, acuñado en el año 2006 y centrado en los cambios derivados del uso de energías renovables, la automatización de los procesos y el uso de Internet.
- La **cuarta revolución industrial**, es la que está sucediendo en la actualidad. Se basa en la aplicación de las nuevas tecnologías, tanto a nivel de maquinaria y producción, como en toda la cadena de valor del proceso industrial. Con ello se está dando lugar a la aparición de nuevos procesos, productos y modelos de negocio. El conjunto de herramientas tecnológicas utilizadas en la Industria 4.0 para impulsar la transformación digital se denominan habilitadores digitales (J.L. Del Vals, 2016).

Como se puede observar en la figura 2.1., el grado de complejidad ha ido creciendo conforme han ido pasando los años. Como consecuencia de ello, en la actualidad es necesaria más formación en los trabajadores, así como conocimientos especializados en las tecnologías que se utilizan, como veremos en el capítulo 5 del presente trabajo.

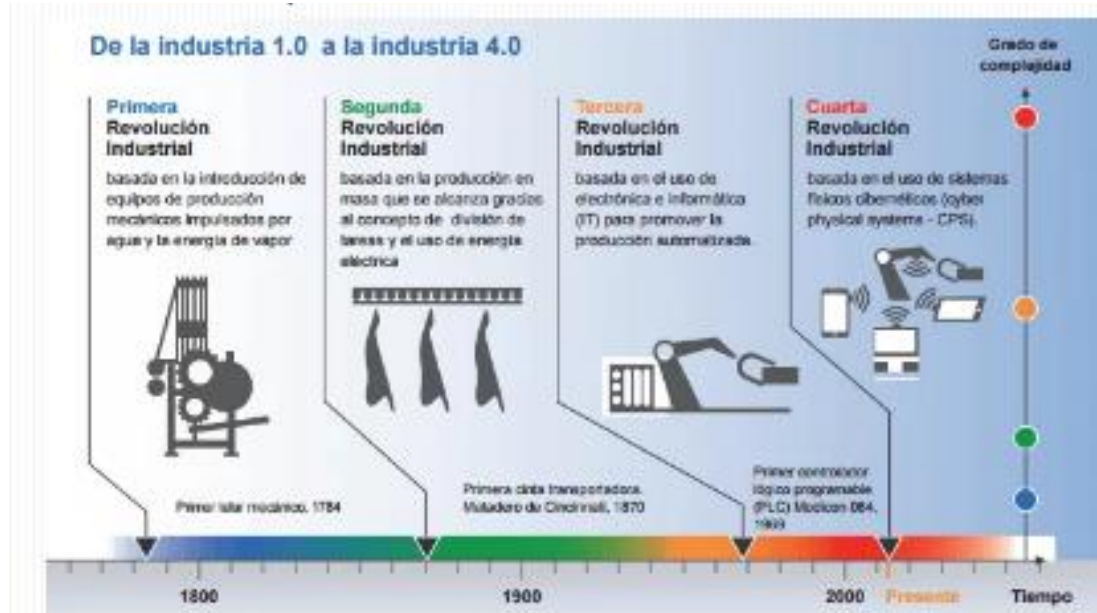


Figura 2.1. De la industria 1.0. a la industria 4.0.

Fuente: papeles de inteligencia. Archanco, R.

## 2.2 LA INDUSTRIA 4.0.

El concepto de industria 4.0., cuarta revolución industrial, industria inteligente o ciberindustria del futuro, corresponde a una etapa en la que cambia la manera de organizar y gestionar los medios de producción y todo el proceso de la cadena de valor de la industria manufacturera (Deloitte AG, 2015). Este concepto fue manejado por primera vez en la Feria de Hanover, en el salón de la tecnología industrial, en el año 2011 (Wikipedia, 2018).

Es un término acuñado por Alemania, cuya presentación se realiza en el documento 'Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.', publicado por Acatech en 2013, y responde a la estrategia alemana de perseguir el liderazgo como potencia industrial (Innobasque, 2016) con la oferta de equipos para la producción, mediante la completa digitalización de las cadenas de valor con la integración de tecnologías de procesamiento de datos, software inteligente, algoritmos de aprendizaje y sensores<sup>1</sup>. El producto puede llevar implícita una etiqueta inteligente, en la cual tiene toda la información necesaria para que la máquina conozca qué operación debe realizar sobre el mismo. En dicha cadena de valor participan desde los proveedores hasta los clientes finales, para poder predecir, controlar, planear y producir de forma inteligente, añadiendo un valor mayor (IK4-tekniker, 2016).

El objetivo que se pretende alcanzar es la creación de un gran número de fábricas inteligentes o 'smart factories'. Este tipo de fábricas representa el salto de una automatización tradicional a un sistema completamente conectado y flexible, capaz de procesar un flujo constante de datos procedentes de operaciones y sistemas de producción totalmente conectados para adaptarse a las nuevas necesidades demandadas.

<sup>1</sup> Sensores: Dispositivos tecnológicos que son capaces de detectar acciones o estímulos del mundo físico y actuar según lo detectado, capturando magnitudes físicas y convirtiéndolas en eléctricas.

Una verdadera fábrica inteligente puede integrar datos de activos físicos, operativos y humanos, para impulsar la fabricación, el seguimiento del inventario, la digitalización de operaciones y otros tipos de actividades de toda la cadena de fabricación. El resultado suele ser un sistema más eficiente y ágil, en menor tiempo y con mayor capacidad para predecir, y así, ajustarse a los cambios en las instalaciones, favoreciendo a un mejor posicionamiento competitivo en el mercado (Burke, Mussomeli, Laaper, Hartigan & Sniderman, 2017), ya que son características clave por la creciente digitalización y coordinación, necesarias en todas las unidades productivas de la economía (Wikipedia, 2018).

Una fábrica inteligente óptima permite ejecutar las operaciones necesarias con un número mínimo de intervenciones manuales y con mayor seguridad (Burke, Mussomeli, Laaper, Hartigan & Sniderman, 2017).

*Además, “tienen en cuenta los problemas actuales en cuanto al ahorro de energía y la gestión de los recursos naturales y humanos. Consciente de ello, el Estado Español ha puesto en marcha la iniciativa Industria Conectada 4.0. para ofrecer apoyo y crear un entorno favorable para lograr la adaptación de la industria española a esta nueva realidad” (Red de Centros SAT, 2016).*

El plan está elaborado con el apoyo de Indra, Telefónica y Banco Santander, y no tiene como finalidad decir a las compañías cómo, dónde y cuándo hacer la transformación digital, sino colaborar a “sentar las directrices para poder ayudar a aquellas empresas que todavía no están digitalizadas” (Soria, 2015).

*“En particular, esta actuación tiene como objetivo apoyar la incorporación de conocimientos, tecnologías e innovaciones destinadas a la digitalización de los procesos y a la creación de productos y servicios tecnológicamente avanzados y de mayor valor añadido en las empresas industriales. Se apoyarán proyectos de investigación industrial, proyectos de desarrollo experimental, así como proyectos de innovación en materia de organización y procesos” (Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, 2017), pues no resultaría factible establecer un único camino a seguir con normas estrictas para alcanzar la digitalización, al ser un proceso muy complejo en el que intervienen muchas variables inciertas.*

La secretaria general de Industria, Begoña Cristeto, también destacó que “para lograr ese objetivo van a poner en marcha un programa de asesoramiento y de ayuda al diagnóstico para que las diferentes industrias determinen dónde es preciso actuar”. Y “todo esto contará con un programa de financiación y una partida en los presupuestos de 2016 de 100 millones de euros. Desde Industria se defiende la necesidad de continuidad en el tiempo de dicho plan” (Jiménez, 2015).

### **2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA 4.0.**

Las principales características de esta nueva industria conectada 4.0., según Geinfor, se podrían resumir en las siguientes:

- *Conexión vertical en forma de red: “los sistemas ciberfísicos<sup>2</sup> están interconectados entre ellos y con los trabajadores, directivos, desarrolladores, proveedores, clientes y el producto, gracias al Internet de las Cosas y al Internet de los Servicios, pues todos los datos se almacenan en el Cloud Computing”.*

---

<sup>2</sup> Sistemas ciberfísicos: objetos, procesos y/o dispositivos a los que se les ha incorporado tecnologías informáticas y de la comunicación y que pueden ser controlados remotamente.

- Virtualización: *“la planta de producción es capturada por sensores, creando una imagen virtual de la misma, que a su vez está conectada a Modelos de Simulación, Aplicaciones de Análisis Predictivos y Software para la ayuda de toma de decisiones. Todo ello es ayudado por el Big Data”*.
- Descentralización: la toma de decisiones es ejecutada por los sistemas ciberfísicos, ayudada por modelos predictivos y aplicaciones específicas para dicha función.
- Reacción en tiempo real: *“la captura de la información, su procesado y la toma de decisiones se realizan en tiempo real”*.
- Orientación al cliente: la industria 4.0. está diseñada para *“establecer un feedback directo entre el usuario, el producto y el diseñador”*.
- Modularidad: *“una fábrica inteligente debe adaptarse a los cambios que se producen en el mercado de forma rápida y eficiente”*.
- Analítica avanzada: *“los análisis avanzados para tomar decisiones sobre la planificación, para mejorar y optimizar los programas y procesos de producción, son de vital importancia, pues permiten conseguir una mayor agilidad en la cadena de producción y evitar de esta forma los cuellos de botella”*.

En estas características vemos reflejadas las distintas herramientas básicas para alcanzar la digitalización en la empresa, como son los sistemas ciberfísicos, el Internet de las Cosas, el Big Data, etc., que configuran los habilitadores digitales explicados con mayor detalle en el capítulo siguiente.

## **2.4 MODELOS DE INDUSTRIA 4.0.**

Al ser un tema de investigación bastante nuevo, no hay muchos modelos implantados en España, así que brevemente contaremos los principales modelos propuestos por las entidades españolas para la industria 4.0., que se enfocan principalmente a pequeñas y medianas empresas (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016, p.21).

- Modelo de Tecnalía, que es un centro privado de investigación aplicada (Tecnalía, 2015).
- Modelo “Industria Conectada 4.0.” (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016).
- Modelo de IK4 Research Alliance que es una alianza tecnológica privada (Alzaga & Larreina, 2016).

Por su parte, para enriquecer el estudio, se ha realizado una búsqueda de modelos extranjeros. La mayoría de los que se han encontrado son modelos parciales, es decir, modelos destinados a la investigación de una parte específica de aplicación de la industria 4.0. (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016, p.21).

- Modelo de Deloitte (Deloitte AG, 2015)
- Modelo de PricewaterhouseCoopers (Geissbauer, Vedso, & Schrauf, 2016)

### **2.4.1 Modelo de Tecnalía**

Tecnalía Research & Innovation es el primer centro privado de investigación aplicada de España, creado en 2011.

Vivimos un momento de cambio continuo de factores socioeconómicos, acelerado por los desarrollos tecnológicos, en el que las empresas vuelven con algunos de sus centros productivos a los países de origen. Este hecho fuerza a pensar en un concepto de manufactura que obliga a la innovación en la fábrica para mantener entornos sostenibles y totalmente conectados (Informe Fábrica del Futuro, a partir de ahora FoF, 2015, p.8)

Han encontrado en la industria 4.0. una línea de trabajo estratégica, dedicando sus esfuerzos a la investigación y propuesta de soluciones tecnológicas.

Tecnalia nos indica seis tendencias socioeconómicas para apostar por la fábrica del futuro: penetración y disponibilidad de nuevas tecnologías, escasez de recursos y materias primas, impacto medioambiental, incremento de la edad de los trabajadores (lo que lleva a una reducción de la eficiencia en los trabajos físicos), la continua variación de la cualificación necesaria (cada vez es mayor la necesidad de especialización de la plantilla en ámbitos concretos de la fábrica) y la personalización en masa (FoF, 2015, p.14-15).

A su vez, nos indica seis claves que presentarán las nuevas fábricas del futuro:

- Social: “el conocimiento de las personas, así como su capacidad para innovar, están tomando cada vez mayor protagonismo, por lo que siguen siendo el centro de la actividad y concentran el mayor valor dentro de las fábricas”.
- Sostenible: “se realiza un uso racional de los recursos y la energía, dando lugar a la fabricación sostenible, con elevadas cuotas de productividad y que contribuye a la sostenibilidad global del negocio”.
- Inteligente: “fabricación inteligente tanto en procesos como en sistemas, más sensible a los cambios del entorno, que ayuda en tareas de mantenimiento y al trabajador en su programación y puesta a punto” (FoF, 2015, p.19).
- Flexible: “la flexibilidad en la fabricación acelera la reconfiguración de máquinas, plantas y procesos logísticos”.
- Automatizada: “la robotización en las fábricas incrementa la velocidad y la repetitividad en los procesos, al mismo tiempo que supera las restricciones ergonómicas y mejora la productividad de las plantas”.
- Conectada: “la era digital impulsa la conexión entre todos los agentes partícipes en la fábrica del futuro. Ha permitido un aumento de la productividad alrededor de un 20% gracias a una mejor gestión de los mecanismos de intercambio de información de las empresas” (FoF, 2015, p.20).

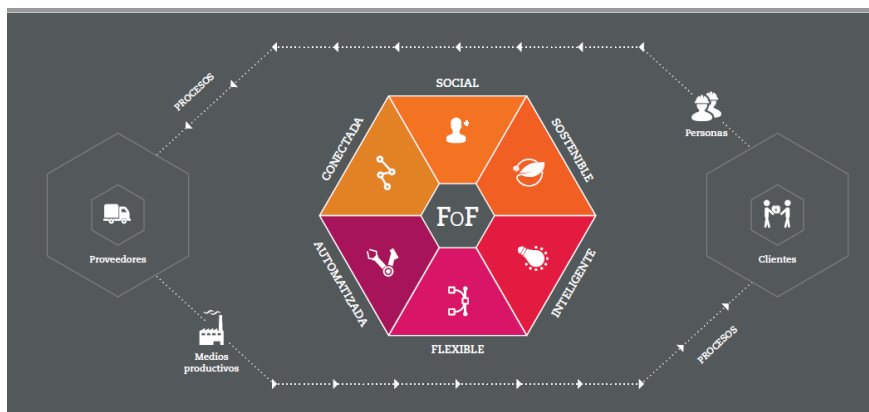


Figura 2.2. Seis claves de las nuevas fábricas del futuro.

Fuente: Tecnalia (2015).

#### 2.4.2 Modelo “Industria Conectada 4.0.”

*“El Ministerio de Industria, Energía y Turismo, del Gobierno de España, ha puesto en marcha la iniciativa “Industria conectada 4.0.”, con la que pretenden impulsar la transformación digital del tejido industrial español mediante la actuación conjunta y coordinada del sector público y privado” (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016).*

*“Los principios básicos del modelo presentado por el gobierno de España para llegar a ser una fábrica inteligente son, en su mayoría, compartidos por el modelo anterior, pero algunos nos muestran una visión diferente que pueden aportar un mayor valor” (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016, p.24).* Estos son:

1. Personal: las personas son el principal activo, siendo el centro del sistema operativo, teniendo que formar parte de todas las fases de desarrollo de este.

2. Conectada: las fábricas y los sistemas han de estar conectados digitalmente, de modo que toda la información pueda ser compartida en tiempo real a toda persona que forme parte de la cadena de valor.

3. Flexible: en cuanto a sus procesos de fabricación, de modo que lleguemos a alcanzar la personalización en masa, es decir, una fabricación a demanda de las necesidades del cliente que suponga el mismo coste que una fabricación de productos estandarizados.

4. Medioambientalmente sostenible: una fábrica cuyo impacto ambiental sea mínimo, ayudando a la conservación del medio.

5. Inteligencia basada en los datos: a través de la informatización, la fábrica ha de dotar de inteligencia a sus productos y procesos, de modo que éstos se interrelacionen entre sí, generando datos que serán analizados de forma conjunta y que se convertirán en información de calidad, ayudando a tomar decisiones en tiempo real (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016).

6. Automatización global: la fábrica ha de estar automatizada en todos sus procesos, se busca *“aumentar la colaboración hombre-máquina y reducir al mínimo la intervención de las personas en las tareas repetitivas, peligrosas o que añadan poco valor al producto, liberando al personal para tareas de mayor valor añadido”* (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016).

7. Innovación en el proceso de diseño: *“a lo largo de la cadena de valor el producto pasa por multitud de personas, que probablemente lleguen a conocer el producto mejor que sus diseñadores”* (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016).

8. Logística 4.0: *“la fábrica ha de poder permitirse la flexibilidad tanto en la adquisición de materias primas como en la distribución de los productos finales”* (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016), *“de forma que solo se hagan pedidos y envíos en función de las necesidades de cada momento y las previsiones de ventas. El stock ha de verse reducido al máximo, logrando una reducción del espacio necesario para el almacenaje”* (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016).

Los habilitadores digitales son elementos que posibilitan la transformación digital de la industria. Son, a la vez, origen de los nuevos retos generados por la industria y herramientas para afrontarlos.



La siguiente figura representa el marco conceptual de habilitadores digitales, definido por el grupo de trabajo de la iniciativa “Industria Conectada 4.0.”:



Figura 2.3. Habilitadores digitales de la Industria Conectada.

Fuente: Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016.

### 1. Aplicaciones de gestión intraempresa/interempresas

“Procesa la información obtenida en los otros habilitadores digitales y aplica inteligencia para poder dar uso a esa información”.

“Se consideran tres tipos de aplicaciones de gestión especialmente relevantes para la industria: las soluciones de negocio, las de inteligencia y control y las plataformas colaborativas” (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016, p.42).

### 2. Comunicaciones y tratamiento de datos

“La conectividad o la transmisión de la información de forma segura, a través de unas infraestructuras de comunicaciones fijas o móviles, en cualquier momento y lugar, constituye un elemento central de la transformación digital de la industria”.

“En la industria, la conectividad facilita una mejora de la eficiencia, productividad, calidad y seguridad de los procesos” (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016, p.41).

### 3. Hibridación mundo físico y digital

Permiten conectar el mundo físico con el digital, ya sea captando información del mundo físico o transformando la información digital en un elemento físico, mediante la impresión 3D o la realidad virtual. Además, existen habilitadores que posibilitan esta relación en sentido bidireccional, como la robótica avanzada o los sistemas embebidos<sup>3</sup> (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016, p.40).

<sup>3</sup> Sistemas embebidos: dispositivos que se utilizan para controlar, supervisar o ayudar en la operación de equipos, maquinaria o planta. “Embebido” refleja el hecho de que son una parte integral del Sistema (Instituto de Ingeniería Eléctrica).

*“Cada uno de los habilitadores puede tener efecto en uno o en varios de los tres niveles de impacto de la Industria 4.0.: pueden optimizar o cambiar el proceso; mejorar los productos existentes o crear productos nuevos; y permitir la aparición de nuevos modelos de negocio”* (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016, p.39).

### **2.4.3 Modelo de IK4 Research Alliance**

*“IK4 es una alianza de centros tecnológicos, privada e independiente, de referencia en el ámbito tecnológico europeo. Tiene por objeto la generación, captación y transferencia de conocimiento científico-tecnológico con el fin de contribuir a la mejora de la competitividad de las empresas y el progreso de la sociedad”* (IK4 Research Alliance, 2018).

El modelo adoptado y presentado por IK4 Research Alliance en el último congreso de BasqueIndustry 2015 se puede dividir en tres niveles, según Aitor Alzaga, subdirector de Tecnología de IK4-TEKNIKER, y Jon Larreina, coordinador de Industry 4.0 de IK4-TEKNIKER:

*“El posicionamiento estratégico de la empresa estará relacionado con aquellos drivers o tendencias que pueden impactar más significativamente en su negocio. Puede ser la personalización, los ciclos de vida más cortos, la sostenibilidad o similares”.*

El modelo productivo de fabricación avanzada Industry 4.0 tendrá como características:

- La flexibilidad, que permite fabricar de forma personalizada.
- La re-configurabilidad, referida a la capacidad de adaptación de forma rápida y económica a los cambios en el producto.
- La digitalización de los procesos, que permite conectar e integrar las diferentes etapas y medios del proceso productivo.
- “La ‘smartización’ de los procesos y medios para responder de forma inteligente, aprendiendo de experiencias previas para poder responder de forma autónoma a situaciones imprevistas”.

Por último, tenemos dos bloques de tecnologías posibilitadoras:

- Sistemas ciber-físicos, Big Data, analítica predictiva y Cloud Computing.
- Robótica colaborativa, simulación, realidad aumentada, visión artificial y fabricación aditiva.

### **2.4.4 Modelo de Deloitte**

La predicción de la compañía señala que, en 2018, pequeñas y medianas empresas intensificarán el uso de máquinas de aprendizaje automático. Su uso se duplicará en comparación con 2017 y para 2020 volverá a duplicarse (Deloitte, 2017, p.5).

El aprendizaje automático es una inteligencia artificial, una tecnología que posibilita que los sistemas aprendan y mejoren a partir de la experiencia, mediante la exposición de datos, sin haber sido programada explícitamente.

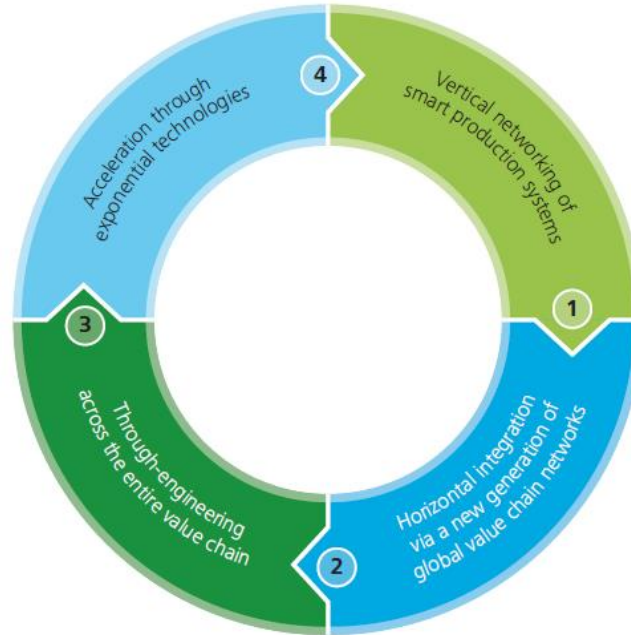


Figura 2.4. Las cuatro características de la industria 4.0.

Fuente: Deloitte AG (2015).

El modelo de Deloitte define cuatro características principales o principios para la industria 4.0.:

### **1. Una red vertical de sistemas de producción inteligentes**

Supone una integración de los sistemas productivos dentro de la empresa. Para ello, hace uso de los habilitadores digitales esenciales, como son las infraestructuras tecnológicas, el Big Data y el Cloud Computing, para obtener mayor eficiencia y “plantas que puedan reaccionar de forma rápida a los cambios en la demanda, a los niveles de stocks y a los defectos” (Deloitte AG, 2015, p.24).

### **2. La integración horizontal a través de la generación de redes en la cadena de valor de forma global**

Deloitte define la integración horizontal como “una red optimizada globalmente en tiempo real que permite una integración transparente, ofreciendo un alto nivel de flexibilidad para responder más rápido a los problemas y defectos”. Deloitte hace hincapié en el uso de sistemas ciberfísicos para crear una red integrada horizontalmente. A través de estos sistemas, se alcanzará una trazabilidad permanente del producto, que “proporcionará la información oportuna, en tiempo real y a todas las etapas de la cadena de valor, para poder adaptar el producto a las especificaciones del consumidor final, en términos de producción, calidad, riesgo, tiempos y precios” (Deloitte AG, 2015, p.25).

### **3. Integración de la cadena de valor con el ciclo de vida de los productos**

Los sistemas de producción han de estar integrados y coordinados con los ciclos de vida de los productos existentes, buscando una sinergia entre los mismos. Las compañías que implementan más de dos tipos de innovación tienen un mayor rendimiento en la bolsa de valores. Las transformaciones de la industria 4.0. permiten compartir los datos relevantes de los ciclos de vida en cualquier momento y lugar (Deloitte AG, 2015, p.26).

#### 4. El impacto de tecnologías exponenciales

El uso de las nuevas tecnologías será lo que acelere y permita que los procesos industriales sean flexibles, ahorren costes y proporcionen soluciones individuales, pero debe hacerse de manera gradual, pues si se hace demasiado rápido puede ser contraproducente. Según Deloitte, se puede conseguir una mayor autonomía en la fábrica gracias al uso de la inteligencia artificial, la robótica avanzada y los sensores.

Se habla también de otros habilitadores como la analítica de Big Data, la robótica colaborativa y la impresión 3D (Deloitte AG, 2015, p.27).

##### 2.4.5 Modelo de PricewaterhouseCoopers (PwC)

PricewaterhouseCoopers, en adelante PwC, es una red de firmas que ofrecen servicios de auditoría, asesoramiento fiscal y legal, consultoría y transacciones. Dentro de su labor de investigación, ha desarrollado un modelo para la industria 4.0., que podemos ver simplificado en la Figura 2.4.5.:



Figura 2.5. Modelo industria 4.0.: PwC.

Fuente: Geissbauer, Vedso, & Schrauf (2016)

Como podemos ver en la figura anterior, el modelo propuesto por PwC, está compuesto por tres capas:

**1. Los principios claves de la Industria 4.0. forman la capa interior del modelo y son tres:**

- Digitalización e integración vertical y horizontal de la cadena de valor. “*La industria 4.0. tendrá digitalizados e integrados todos sus procesos verticalmente a lo largo de toda la organización, desde el desarrollo y compra del producto, hasta la fabricación, logística y posterior servicio*” (Geissbauer, Vedso, & Schrauf, 2016, p.6). Esto supone una disponibilidad en tiempo real de todos los datos generados durante los diferentes procesos, con la ayuda de diferentes herramientas y habilitadores; en concreto, PwC destaca aquí el uso de la realidad aumentada. Por su parte, la integración horizontal, se refiere a que también se integrarán las operaciones de todos los agentes que componen la cadena de valor, desde los proveedores hasta los clientes.

- Digitalización de los productos y servicios ofrecidos. En este sentido, PwC indica una digitalización de los productos de la industria mediante la adicción de sensores que permitan su comunicación con otros dispositivos. De esta manera, los datos producidos por estos pueden ser analizados para acercar a la empresa a las cambiantes necesidades del cliente y perfeccionar la gama de productos.
- Modelos de negocios digitales y acceso al cliente. La digitalización de la industria posibilitará la aparición de nuevos modelos de negocio, de modo que las industrias puedan *“expandir su oferta proporcionando soluciones digitales disruptivas, basadas principalmente en proporcionar plataformas completamente integradas”* (Geissbauer, Vedso, & Schrauf, 2016, p.6).

**2. El elemento esencial tecnológico dentro de la Industria 4.0.** Según la figura 2.5, podemos afirmar que, para PwC, el elemento esencial que dará sentido a los principios propuestos anteriormente, serán los datos recogidos y adquiridos por la planta de fabricación, así como, un sistema que permita el análisis de los mismos.

**3. Habilitadores digitales presentes en la misma.** Este modelo va un poco más allá de los habilitadores digitales propuestos por el resto de modelos y desglosa una serie de herramientas adicionales y conceptos que harán posible la industria 4.0., como por ejemplo: los servicios móviles, tecnologías de detección de la localización (GPS), interfaces hombre-máquina avanzados, detección de autenticación y fraude, sensores inteligentes, interacción multinivel con el cliente y tecnologías vestibles (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016).



### 3 LOS HABILITADORES DIGITALES DE LA INDUSTRIA 4.0.

Siguiendo el estudio exhaustivo realizado por Salinero, Ruiz & Garrido (2016), así como el informe de Tecnalía (2015) y la Red de Centros SAT (2016) los habilitadores digitales más relevantes o las tecnologías indispensables para la transición a la Industria 4.0 se pueden considerar los siguientes:

- **Internet de las Cosas y Cloud Computing:** el uso de estas tecnologías es la base de la industria 4.0. Consiste en dotar a las máquinas y objetos industriales de sensórica y electrónica, así como software embebido y conectividad (Red de Centros SAT, 2016). Conecta los mundos físicos con los virtuales, para que colaboren entre ellos y provean servicios inteligentes a los usuarios (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016), apoyando a la toma de decisiones en tiempo real. En las nuevas fábricas inteligentes la información estará en la “nube” y no en los ordenadores o servidores de la empresa (Red de Centros SAT, 2016).

Por ejemplo, en Tecnalía, Smart Bearing, que es la integración de sensores en rodamientos para uso en bienes de equipo.

Los **sistemas ciberfísicos** son el elemento principal que dará origen al cambio. Son todos aquellos dispositivos que integran capacidades de procesado, almacenamiento y comunicación con el fin de poder controlar uno o varios procesos físicos (Gradiant, 2016).

- **Big Data Industrial, Data Mining y Data Analytics:** *“la cantidad de información que actualmente se almacena en relación con diferentes procesos y sistemas, o tráfico de datos, resulta ingente e inmanejable de forma manual. El análisis de estos datos puede proporcionar información muy valiosa acerca del comportamiento de estos procesos; se pueden prevenir problemas en un determinado proceso industrial o determinar qué eventos están relacionados dentro de un proceso más complejo facilitando su gestión a través de la predicción. A partir de toda esta información, se pueden realizar simulaciones que, además, permiten predecir qué recursos van a ser necesarios, pudiendo optimizar su uso de forma automática y proactiva anticipando los acontecimientos futuros”* (Gradiant, 2016).

En Tecnalía, Predice, un sistema de monitorización, diagnosis y prognosis de rotura de utillajes para máquinas de estampación en frío.

Los beneficios derivados de predecir anomalías no sólo se basan en minimizar costes y aumentar el ciclo de vida útil de la máquina, sino también en inferir conocimiento válido implícito en los datos analizados, habitualmente difíciles de procesar, acerca del proceso y de las causas de las averías.

- **Tecnologías de visión (realidad aumentada y virtual):** van a permitir la optimización de los diseños, la automatización de los procesos, el control de la fabricación y la construcción, el entrenamiento y la formación de los trabajadores, y los trabajos de mantenimiento y de seguimiento, gracias a la aportación de información en tiempo real (Red de Centros SAT & Gradiant, 2016).
- **Automatización y robótica inteligente o colaborativa:** una nueva generación de robots industriales que trabajarán de forma amigable con los operarios sin riesgos para la seguridad (Red de Centros SAT, 2016). Se caracteriza, entre otras cosas, por su flexibilidad, accesibilidad, cooperación, interacción y relativa facilidad de programación (Gradiant, 2016).

Por ejemplo, en Tecnalía, Hiro, un robot bi-brazo, con aspecto humanoide, móvil y, por lo tanto, fácilmente transportable. Permite automatizar de forma flexible e inteligente operaciones de precisión en líneas de fabricación y montaje.

- **Inteligencia Artificial:** “*son necesarias herramientas y tecnologías que sean capaces de procesar en tiempo real grandes volúmenes de información que extraemos de las tecnologías Big Data, así como algoritmos capaces de aprender de forma autónoma a partir de la información que reciben, con independencia de las fuentes, y de la reacción de los usuarios y operadores*” (Gradiant, 2016).
- **Ciberseguridad:** “*se han de aplicar las medidas de protección adecuadas para prevenir ataques que puedan alterar el correcto funcionamiento de las fábricas con el consiguiente riesgo económico que eso puede suponer*” (Red de Centros SAT, 2016).
- **Fabricación Aditiva e Impresión 3D:** la incorporación de la fabricación aditiva a las cadenas de producción empieza a ser una realidad, permitiendo una mayor personalización en el diseño de las piezas a fabricar, sin penalizar el coste, independientemente de si se tiene que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas, reduciendo las distancias de transporte y el stock (Red de Centros SAT & Gradiant, 2016). Es muy útil sobre todo en la fase de prototipo del producto (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016).

El proyecto europeo Amaze, para la producción eficiente de productos metálicos en el sector aeronáutico. Además, exploran las posibilidades que ofrece la fabricación de piezas por ‘Plasma Arc Welding’ (soldadura por arco plasma).

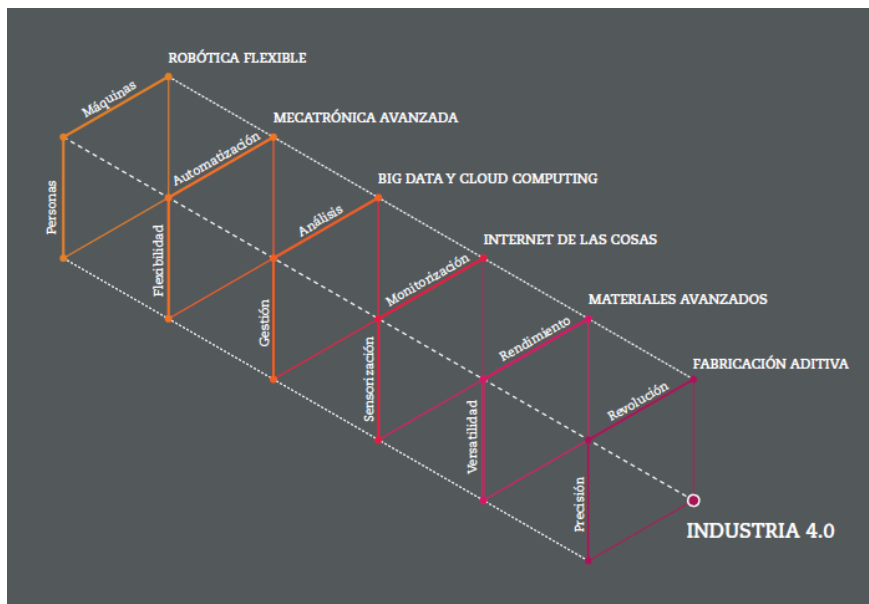


Figura 3.1. Habilitadores digitales de la industria 4.0.

Fuente: Tecnalía (2015).

Dada la importancia en la actualidad de este último habilitador digital, la fabricación aditiva o impresión 3D, a continuación, vamos a estudiar qué es, su historia, evolución y perspectivas, características y aplicaciones.



## 4 LA FABRICACIÓN ADITIVA E IMPRESIÓN 3D

La fabricación aditiva o ‘additive manufacturing’ consiste en la sucesiva superposición controlada de capas micrométricas de material, normalmente en polvo, aunque cada vez más se usa también plástico, cera, cerámica, vidrio, hormigón o metal, hasta conseguir el objeto deseado, ya que permite aportar material exclusivamente donde es necesario para conseguir la geometría que se quiere, prescindiendo de herramientas y utillajes de fabricación (LaFuente, 2011 & Guillén, 2015, p.9).

Aunque, como acabamos de decir, se usan cada vez más tipos de materiales, este tipo de fabricación está más perfeccionada en el plástico, principalmente en el políacido láctico, *“ya que no todos los materiales cumplen con los requerimientos de la industria con respecto a la porosidad y otras características de calidad”* (Deloitte AG, 2015). Así, *“en función del material, se utiliza una tecnología aditiva diferente”* (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2017).

Por su parte, podemos hablar también de la impresión 4D, que básicamente es una variante de la impresión 3D en donde se emplean materiales especiales, que podríamos llamar “inteligentes”, porque se adaptan al entorno en donde están, llegando a transformarse, autoensamblarse y autorepararse. Es decir, es impresión 4D cuando los materiales físicos y biológicos impresos en 3D están “programados” para que, una vez salgan de la plataforma de fabricación, ajusten por sí mismos sus formas o propiedades según la funcionalidad del objeto, todo ello activado con energía, que puede ser dinámica, eólica, la misma gravedad, etc. (Margarita, 2015 & Contreras, 2017).

En la Universidad de Michigan, por ejemplo, se utilizó la impresión 3D y 4D para fabricar unas férulas que abrieron la tráquea de unos recién nacidos, las cuales se iban adaptando a la forma de sus órganos durante el crecimiento. De esta manera, una vez los órganos se desarrollen lo suficiente, las férulas se disolverán (Margarita, 2015).

Otros ejemplos de uso de la impresión 4D serían una cinta que se expande y se contrae para controlar la capacidad del drenaje o un vestido que, dependiendo de la temperatura, estará más o menos ajustado (Contreras, 2017).

### 4.1 HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Si realizamos una breve contextualización histórica, podemos decir que la fabricación aditiva proviene de los procesos de fabricación rápida de prototipos, en los que el objetivo final era la creación de un prototipo físico a partir de un diseño asistido por ordenador (CAD<sup>4</sup> 3D) (Interempresas, 2015).

En este sentido, el inicio de la impresión 3D se remonta a 1976, cuando se inventó la impresora de inyección de tinta. Desde entonces, la tecnología ha evolucionado para pasar de la impresión con tinta a la impresión con materiales. Algunos de los acontecimientos más destacados por López (2016) son:

- 1984: Charles Hull inventa la estereolitografía (SLA).
- 1986: Charles Hull patenta su invento (‘Aparato para fabricar objetos tridimensionales con estereolitografía’) y crea la empresa 3D Systems. Fujitsu

---

<sup>4</sup> CAD (Computer Aided Design): uso de programas informáticos para crear representaciones gráficas de los objetos físicos en dos o tres dimensiones (2D o 3D).

también patentó dos elementos de estereolitografía. Además, Operatech inventa una máquina parecida a la de Hull.

- 1987: Carl Deckard desarrolla el sinterizado<sup>5</sup> selectivo por láser (SLS).
- 1988: Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM).
- 1989: se concede la patente del SLS.
- 1990: se desarrollan las tecnologías de fabricación mediante laminado de objetos (LOM) y fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC).
- 1991: Uziel funda Soligen y autoriza el uso de técnicas de fundición de cerámica en polvo adhiriendo capas mediante aglutinante líquido (Wohlers & Gornet, 2016, p.33).
- 1992: Stratasys patenta su tecnología de FDM y 3D Systems compra la tecnología desarrollada por QuadraX.
- 1993: El MIT desarrolla la impresión 3D por inyección (3DP)
- 1994: se empiezan a comercializar impresoras 3D de bajo coste (Wohlers & Gornet, 2016, p.2).
- 1995: Z Corporation obtiene la licencia de la 3DP y la empieza a vender al año siguiente.
- 1999: se empieza a vender la máquina de acumulación de metal (CMB).
- 2000: MCP Technologies introduce la tecnología de fusión selectiva por láser (SLM).
- 2001: Envisiontec mostró su máquina Perfactory, con la tecnología de fotopolímero de acrilato y de procesamiento digital de luz (DLP) (Wohlers & Gornet, 2016, p.4).
- 2002: El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forrest imprime el primer órgano en 3D: un riñón.
- 2005: Z Corporation lanza la primera impresora 3D capaz de trabajar en color a alta definición. Se desarrolla un nuevo proceso aditivo: la tecnología de soldadura por haz de electrones (EBM).
- 2006: se construye la primera máquina del tipo SLS. Objet crea una máquina capaz de imprimir en varios materiales. Se ofrece la primera impresora 3D de código abierto (Open Source Hardware).
- 2008: RepRap lanza 'Darwin', la primera impresora auto-replicante que puede imprimir la mayoría de sus componentes. Se desarrolla la primera prótesis de pierna impresa en 3D.
- 2010: se lanza el primer automóvil capaz de contar con la totalidad de su armazón impreso en 3D. Organovo Inc se centra en la tecnología bioprinting y desarrolla los primeros vasos sanguíneos completamente bioimpresos.
- 2011: Se empiezan a fabricar los primeros alimentos impresos en 3D, el primer bikini y el primer avión no tripulado.

---

<sup>5</sup> Sinterizar: producir piezas de gran resistencia y dureza calentando, sin llegar a la temperatura de fusión, conglomerados de polvo a los que se ha modelado por presión (RAE).

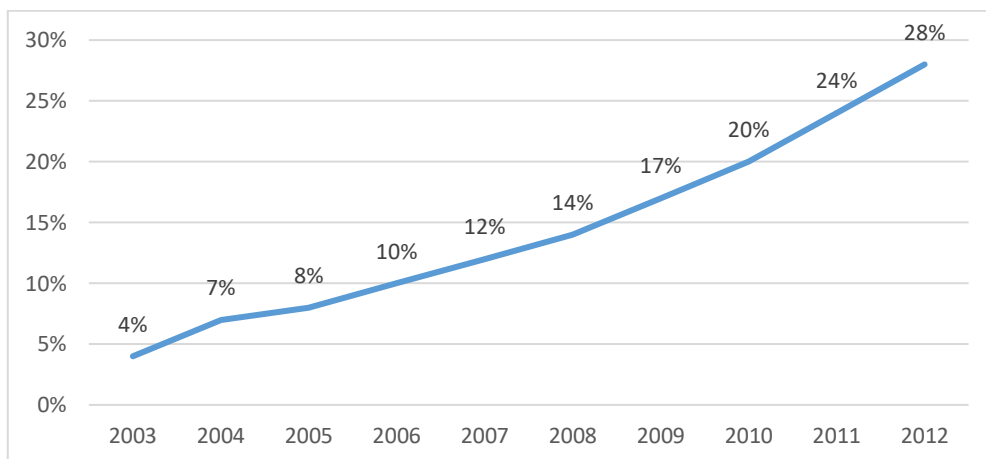
- 2012: LayerWise realiza el primer implante de mandíbula inferior en 3D. Se anuncia un gran avance: la litografía de dos fotones.
- 2013: se crea la primera arma de fuego impresa en 3D, la primera prótesis de mano, se producen componentes en motores a reacción.
- 2014: modelo a medida de una pelvis en 3D, primera venta de tejidos humanos bioimpresos. Se empiezan a construir coches y casas impresos en 3D. HP entra en el mercado de la impresión 3D con la tecnología Multi Jet Fusion. La NASA desarrolla la primera impresora 3D capaz de crear objetos en ausencia de gravedad.
- 2015: se amplía el tipo de material que se puede usar para fabricar por impresión 3D (Interempresas, 2015).

## 4.2 EVOLUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Inicialmente, el impacto industrial fue reducido debido, fundamentalmente, al coste alto que suponía este tipo de sistemas, así como la limitación a la fabricación de un prototipo no funcional. Por estos motivos, se utilizaba únicamente en el sector médico y aeronáutico.

Así, durante la década de los años 90, se desarrollaron nuevos procesos de fabricación aditiva dedicados a producir piezas funcionales, en materiales poliméricos y metálicos. Estos procesos comienzan a denominarse como 'rapid manufacturing' o fabricación rápida y se empiezan a utilizar en otros sectores para fabricar pequeños moldes o componentes de plástico para vehículos de competición o de muy alta gama. Sin embargo, el coste seguía siendo muy alto y, por ello, solo existía un nicho de mercado donde estas técnicas eran rentables (Interempresas, 2015).

En el período 2003-2012 la manufactura aditiva tuvo una participación del 4% de los ingresos totales de productos y servicios a nivel mundial, alcanzando una participación del 28% en 2012, mostrando una evolución creciente para los próximos años (Guillén, 2015, p.16).



Gráfica 4.1. Participación de sistemas de manufactura aditiva para la producción de piezas en los ingresos totales de la industria (2003-2012).

*Fuente: Arizton (2017)*

El mercado de la fabricación aditiva ha tenido un crecimiento continuo y sostenido en la última década. Según el estudio de Wholers Report 2014, la industria mundial de impresión en 3D creció un 34,9% en 2013, siendo la tasa de crecimiento anual más alta de los últimos quince años. Con respecto al valor total del mercado de impresoras

3D, alcanzó en 2013 la cifra de 3,07 billones de dólares, con una tasa de crecimiento del 32% en el período de 2011-2013. Estimándose que alcanzará un valor de 10,8 billones de dólares en 2021.

Se ha acelerado el ciclo de desarrollo de productos finales a través de la fabricación aditiva, mostrando una tasa de crecimiento anual del 60%. Es decir, existe un crecimiento exponencial en este mercado (Gravel, 2018) porque el rango de componentes que pueden ser producidos por técnicas de fabricación aditiva ha aumentado, al haber disminuido el coste y haber incrementado las capacidades.

Según otro estudio, de Global Outlook and Forecast 2017-2022, en este último año, la cifra de valor del mercado alcanzará los 11 billones de dólares. En dicho período, la competencia estará basada únicamente en las siguientes características: calidad, cantidad, tecnología, servicios ofrecidos y precio (Arizton, 2017).

En cuanto al comercio internacional, serán modificados los flujos del mismo y los costes logísticos, pues habrá menos necesidad de transporte de productos finales (Guillén, 2015, p.39). Según un informe de la banca ING, la impresión 3D será capaz de eliminar o transformar el comercio mundial en un 25% en menos de cuatro décadas (Contreras, 2017), lo que significa que las fábricas volverán a sus lugares de origen progresivamente, comportando diversos beneficios.

Si comparamos una cadena de suministro tradicional con una de impresión 3D, se pueden observar diversas diferencias: en la primera, los productos son fabricados de manera masiva, distribuidos a través de centros de ventas, comportando, por tanto, altos costes de transporte y largos períodos de tiempo. Sin embargo, en la cadena de suministro de impresión 3D, la producción será personalizada y producida y distribuida localmente, por lo que se reducirán los costes de transporte y los plazos de tiempo (Domínguez, 2013), así como la posibilidad de disminuir inventarios, reduciendo el coste de almacenaje. Esto también conllevará a un crecimiento de empresas de manufactura aditiva, ya que reduce las barreras de entrada (Guillén, 2015, p.39).

Los procesos actuales de fabricación aditiva están orientados a manufacturas de alto valor y bajo volumen, centrados en actividades en el área de diseño, con un alto componente de técnicas Just in Time<sup>6</sup> (JIT), con altos niveles de flexibilidad unidos a una alta calidad. Además, como ya hemos mencionado en los modelos de industria 4.0. anteriores, provocan un aumento en la productividad al aprovechar totalmente los materiales utilizados, ayudando con ello también a una sostenibilidad medioambiental, basada en la recuperación de recursos materiales, energéticos y laborales. En 2013 se produce un punto de inflexión importante: un equipo de científicos de Michigan creó máquinas de uso doméstico que permiten transformar esos desechos en filamento para volver a imprimir. Pearce afirma que con 20 envases de leche se consigue sacar alrededor de un kilo de filamento de plástico (Bejerano, 2013). Por otro lado, la ONG The Plastic Bank, interesada también por el medioambiente, usa los plásticos reciclados del océano con la misma función (Pastor, 2014).

En ese mismo momento, surgió un gran movimiento denominado 'maker' y su 'do it yourself' en el que los prosumidores pueden crear sus propios objetos con las impresoras 3D domésticas, con plataformas como Cubify, Shapeways, Turbosquid o Thingiverse que facilitan esta tarea. Esta última plataforma dispone de modelos 3D con licencia de código abierto, gratuitos. En cambio, los otros, son importantes mercados de pago de modelos 3D (García, 2014).

---

<sup>6</sup> Just in Time (JIT): en español, justo a tiempo, es un sistema de organización de la producción para las fábricas, de origen japonés. También conocido como método Toyota, permite aumentar la productividad.

A día de hoy, las técnicas de fabricación basadas en fotopolimerización de resinas y slurries cerámicas<sup>7</sup> son las tecnologías industriales de impresión 3D que proporcionan el mejor compromiso entre precisión de fabricación y tamaño de la pieza (Sinc & Interempresas, 2018).

Un equipo de investigadores de la ETSI Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) ha participado en el proyecto TOMAX ('Toolless Manufacturing of Complex Structures'), centrado en mejorar las tecnologías de fabricación aditiva basadas en litografía, es decir, producir lo dibujado, para la elaboración de piezas en materiales cerámicos con alta complejidad geométrica (Interempresas, 2018).

Los principales actores del mercado 3D Systems, Stratasys y EOS GmbH deberán reafirmar su autoridad, pues cada vez son más las empresas destacadas en este campo: ARC Worldwide Group, Arcam (GE), Pekín Tiertime Tecnología, Carbon 3D, Concept Laser (GE), Cookson Precious Metals, EnvisionTEC, General Electric, Grupo Höganäs Koninklijke, Markforged, MCOR Technologies, Nano Dimension, Optomec, Renishaw SLM Solutions Group, Taulman3D, Exone, Ultimaker, Voxeljet, XYZprinting, HP aliado con Deloitte, etc. (Arizton, 2017).

### 4.3 LA IMPRESIÓN 3D

En el lenguaje coloquial, fabricación aditiva e impresión 3D se usan como términos sinónimos, pero no son exactamente lo mismo. La fabricación aditiva engloba todas las técnicas de fabricación por adición de material con el objetivo de producir nuevos componentes complejos y durables. Por su parte, la impresión 3D, como heredera del prototipado rápido, hace alusión a la fabricación de modelos o piezas finales en poco tiempo y, habitualmente, se limita a un tipo concreto de tecnología aditiva (Mizar, 2016).

La impresión 3D se ha popularizado en los últimos años, sobre todo a la hora de producir prototipos, gracias a que suele ser más económica que otras tecnologías de fabricación aditiva. Es de las más básicas y sencillas, pero también una de las más limitadas. Esto ha hecho que tenga una notable penetración entre particulares, start-ups, pequeños diseñadores o desarrolladores (Mizar, 2016), lo cual ha hecho aumentar la venta de impresoras 3D y, como consecuencia, su precio se ha ido reduciendo (Wikipedia, 2018).

#### 4.3.1 Tipos de impresoras 3D

Como ya hemos comentado anteriormente, los sistemas de fabricación aditiva se diferencian según el proceso de unión de materiales, así como del tipo de material constructivo que utiliza cada una de las máquinas o sistemas (Malé-Alemany & Monedero, 2015).

En este sentido, podemos diferenciar, actualmente, 9 tipos de impresoras 3D, definidas por Locker (2018):

1. **Modelado por deposición fundida (FDM):** es el método más común en impresoras 3D de escritorio, desarrollado por Scott Crump en 1988. El filamento termoplástico se calienta y se extruye<sup>8</sup> en coordenadas de X e Y

---

<sup>7</sup> Slurries cerámicas: pastas de base polimérica con alto contenido de partículas cerámicas.

<sup>8</sup> Extrudir: dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta (RAE).

(similar a cualquier impresión 2D de tinta), mientras que la superficie de impresión va bajando el objeto en la dirección Z. Es una manera rentable de desarrollar un producto y de crear prototipos en pequeñas empresas y en la educación.

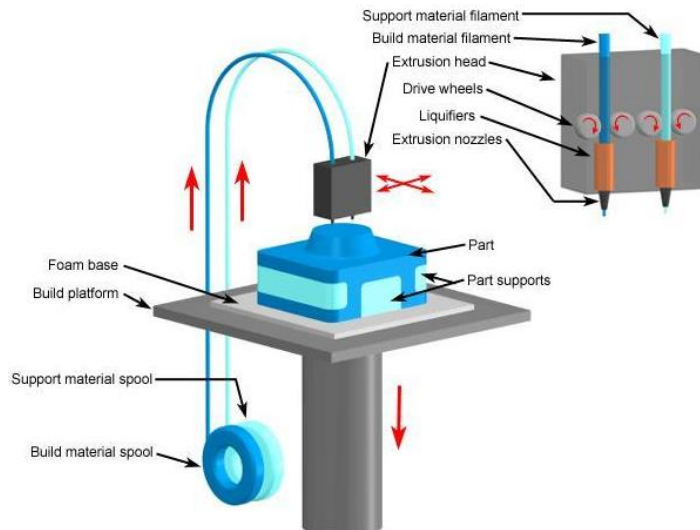


Figura 4.1. Impresora 3D de Modelado por deposición fundida (FDM).

Fuente: <http://todo-3d.com/fdm-fff-modelado-deposicion-fundida/>

2. **Estereolitografía (SLA):** fue inventada por Chuck Hull en 1984, resultando ser la más antigua. “Esta tecnología funciona mediante la exposición de una capa de resina líquida fotosensible a un rayo láser UV para que se endurezca y se solidifique. Una vez que el láser recorre una capa de resina en el patrón deseado, este comienza a endurecerse. Una vez completada la impresión, el objeto debe enjuagarse con un disolvente. En ocasiones también se hornea en un horno UV para finalizar el procesamiento”. Se usa mucho en sectores como la joyería y la odontología cosmética.

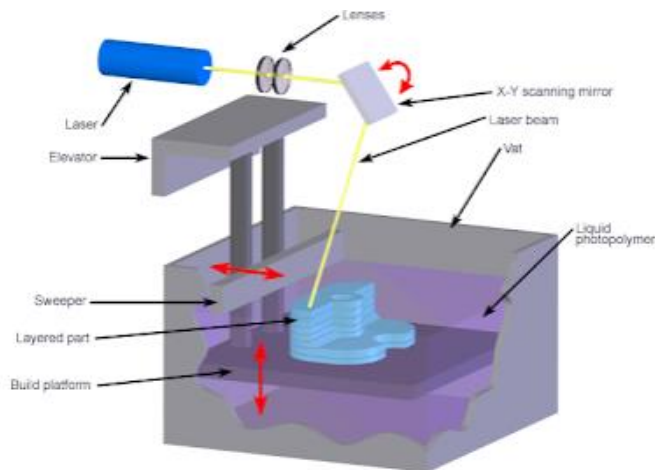


Figura 4.2. Impresora 3D de Estereolitografía (SLA).

Fuente: <https://sites.google.com/site/fabricacionaditiva15/estereolitografia-sla>

3. **Procesamiento digital de luz (DLP):** es similar a la anterior, pues también usa fotopolímeros líquidos. “Ambos usan unas resinas que se endurecen al aplicarle luz mediante un proyector especial (DLP) y un láser (SLA)”. Fue inventada por Larry Hornbeck en 1987. Uno de los beneficios es su gran velocidad de impresión. “Se utilizan principalmente en ámbitos profesionales y permiten fabricar piezas robustas con excelente resolución”.

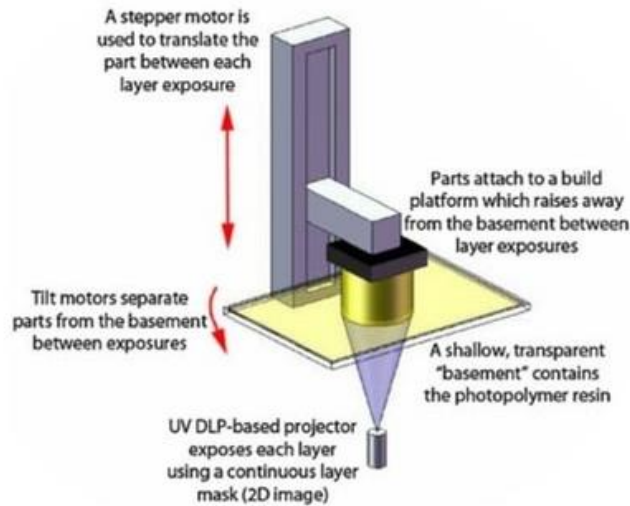


Figura 4.3. Impresora 3D de Procesamiento digital de luz (DLP).

Fuente: <https://es.quora.com/C%C3%B3mo-funcionan-las-impresoras-3D-que-utilizan-luz-C%C3%B3mo-la-usan>

4. **Sinterizado selectivo por láser (SLS):** tecnología desarrollada por Carl Deckard en 1987, la cual utiliza material en polvo en el área de impresión. Se usa un láser para sinterizar una capa para crear una estructura sólida, que se deja enfriar en la máquina. Se usa para desarrollar productos y prototipos en industrias comerciales, así como para productos finales en piezas usadas del sector industrial. Se usan materiales como el nailon, vidrio, cerámica, aluminio, plata y acero. “Sin embargo, este tipo de impresora 3D requiere del uso de costosos láseres de alta potencia, lo que la sitúa un poco fuera del alcance del consumidor promedio”.

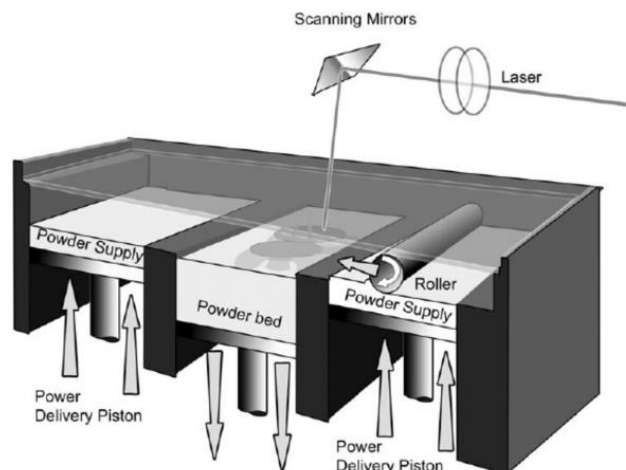


Figura 4.4. Impresora 3D de Sinterizado selectivo por láser (SLS).

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-SLS-process-Goodridge-et-al-2012\\_fig7\\_281004567](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-SLS-process-Goodridge-et-al-2012_fig7_281004567)

- 5. Fusión selectiva por láser (SLM):** desarrollada en el año 2000, y se considera, a veces, una subcategoría del tipo anterior. En este tipo se usa un rayo láser de alta potencia para fundir polvos metálicos transformándolos en piezas tridimensionales. Los materiales que se suelen usar son el acero inoxidable, aluminio, titanio y cromo-cobalto. Se usa sobre todo en la industria aeroespacial, energética y en la ortopedia, pues permite crear geometrías complejas con espacios vacíos.

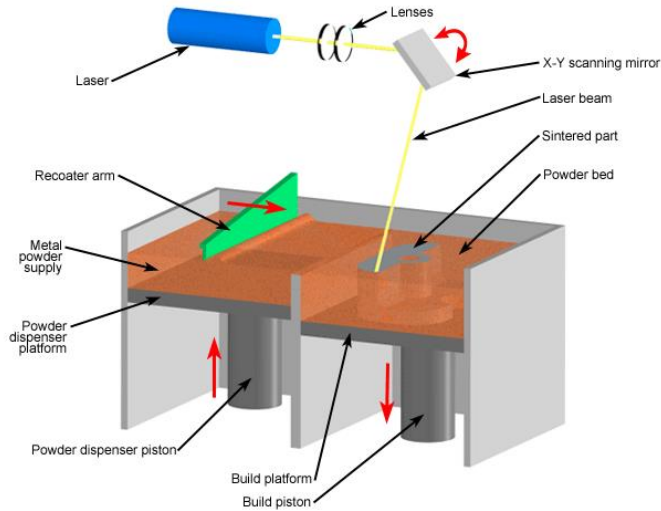


Figura 4.5. Impresora 3D de Fusión selectiva por láser (SLM).

Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-directo-de-metal-por-laser-les-explicamos-todo/>

- 6. Fusión por haz de electrones (EBM):** “esta técnica desarrollada en 2005 se lleva a cabo con una alta presión al vacío y usando altas temperaturas que alcanza hasta los 1000 °C para poder fundir completamente el polvo metálico. Este tipo de impresora 3D puede usar metales como titanio puro, Inconel718 e Inconel625 para fabricar piezas aeroespaciales e implantes médicos. Pero, si bien esta tecnología es prometedora, actualmente es muy lenta y costosa”.

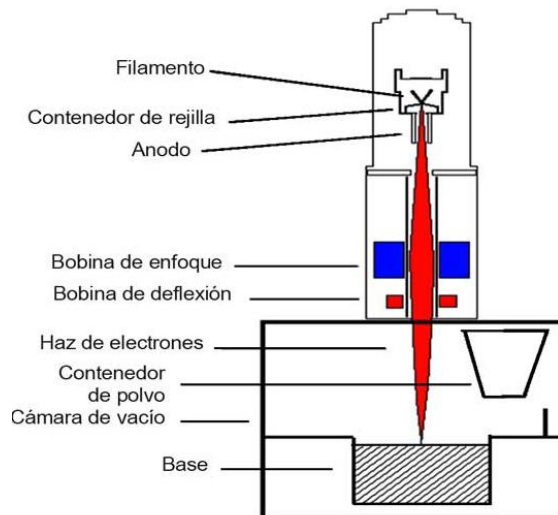


Figura 4.6. Impresora 3D de Fusión por haz de electrones (EBM).

Fuente: [http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/49381-Fabricacion-aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-\(ANF-Forming\).html](http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/49381-Fabricacion-aditiva-de-aluminio-y-aleaciones-ligeras-(ANF-Forming).html)



7. **Fabricación mediante laminado de objetos (LOM):** inventada por Michael Feygin y Sung Sik Pak en 1999, la cual utiliza capas de papel, plástico o laminados metálicos que se funden bajo calor y presión, y se cortan con un láser o cuchilla controlado por ordenador. Tras cortar el exceso de material, se puede lijar o sellar con pintura, por lo que permite imprimir objetos a todo color. Tiene menor precisión dimensional, pero es uno de los métodos más económicos y rápidos para piezas relativamente grandes.

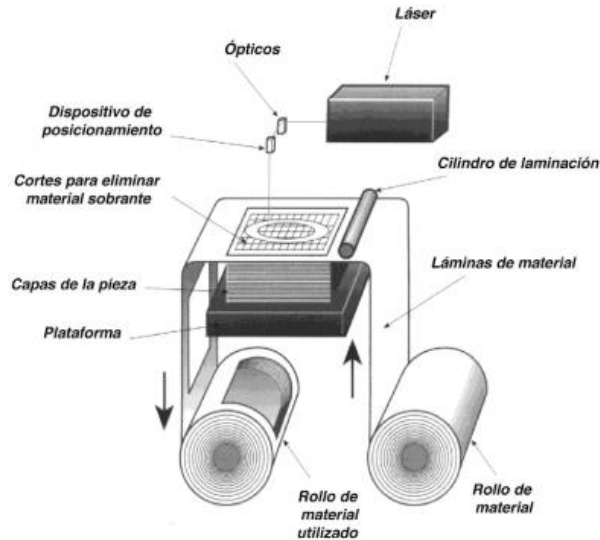


Figura 4.7. Impresora 3D de Fabricación mediante laminado de objetos (LOM).

Fuente: Manual de dirección de operaciones (Bañegil, Chamorro, Miranda & Rubio)

8. **Inyección de aglutinante (BJ):** utiliza dos materiales: uno de polvo, que puede ser cerámica, metal, arena o plástico, y un agente adhesivo, que se extruye desde un cabezal de impresión similar al de una impresora 2D de tinta convencional. Tiene una gran ventaja, pues puede imprimir a todo color agregando pigmentos al aglutinante. Se suele usar para crear prototipos de forma rápida y en la fabricación a corto plazo en las industrias automotriz, médica y aeroespacial.

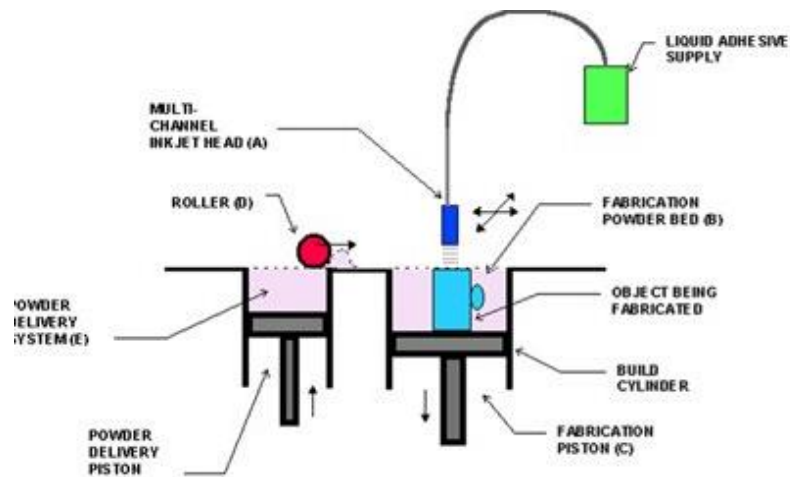


Figura 4.8. Impresora 3D de Inyección de aglutinante (BJ).

Fuente: [http://totalprototipo.com/images/Tecnologias/Zcorp/3DP\\_11.jpg](http://totalprototipo.com/images/Tecnologias/Zcorp/3DP_11.jpg)

9. **Inyección de material (MJ) o moldeo a la cera perdida:** es una técnica utilizada por joyeros desde hace siglos, lo que ha supuesto un gran avance para este sector.

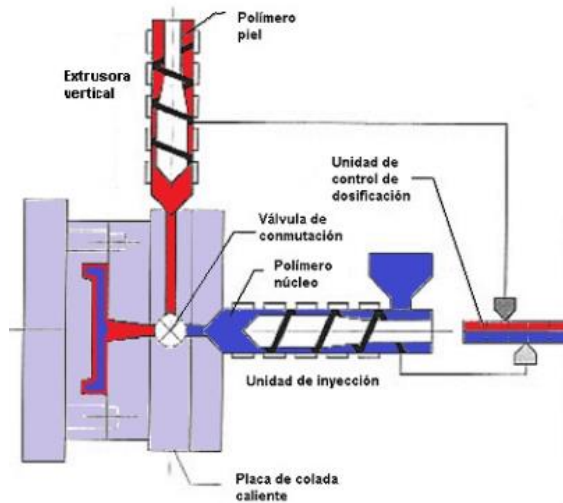


Figura 4.9. Impresora 3D de Inyección de material (MJ).

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2012/06/co-inyeccion.html>

A continuación, hemos realizado una tabla en la que se recogen los 9 tipos de impresoras 3D clasificadas según el tipo, la tecnología y los materiales que usa:

Tipo	Tecnología	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos, metales eutécticos, materiales comestibles.
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Procesamiento digital de luz (DLP)	Fotopolímero
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos
Granulado	Fusión selectiva por láser (SLM)	Casi cualquier aleación (acero inoxidable, aluminio, titanio y cromo-cobalto)
Hilado	Fusión por haz de electrones (EBM)	Casi cualquier aleación
Laminado	Fabricación mediante laminado de objetos (LOM)	Papel, papel de aluminio, capa de plástico
	Inyección de aglutinante (BJ)	Yeso
	Inyección de material (MJ)	

Tabla 4.1. Tipos de impresoras 3D.

Fuente: Elaboración propia con base en diversas fuentes consultadas

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA E IMPRESIÓN 3D

Las características que posee la fabricación aditiva le confieren grandes ventajas competitivas, pues permite ofrecer una respuesta inmediata a las cambiantes necesidades del mercado, y atender a la creciente demanda de diferenciación y personalización de los productos por parte de los consumidores, con mayor calidad y sin penalizar el coste ni por la complejidad geométrica ni por la personalización. En la industria 4.0. la tecnología modela el cambio (Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2016). Por ello, es necesario estudiar a partir de qué cantidad de piezas es rentable fabricar de la manera tradicional, por ejemplo, a través de molde de inyección o, si por el contrario, es más rentable la fabricación aditiva, con la ventaja de realizar modificaciones durante la vida del producto sin apenas coste adicional. Ya que, si bien el coste de producción por unidad será más alto que la producción a gran escala, el coste final tenderá a nivelarse por los ahorros en costes de distribución, almacenaje y de financiamiento (Schneider, 2013).

Además de estas ventajas, permitirá la producción descentralizada, una reducción del consumo energético, mayor productividad, disminución de productos fallidos, etc. (LaFuente, 2011).

Las impresoras 3D pueden convertirse en un arma de doble filo, pues si llegan a los hogares, provocará que muchos clientes se fabriquen sus propios productos, obligando a las empresas a rediseñar su visión y misión empresarial (Alaminos & Ruiz, 2017) al perder gran parte de sus ventas.

Además, debería tener cierta regulación legal pues *“la versatilidad de la impresión 3D es tal que hasta se han llegado a imprimir armas de fuego funcionales. Polémicas creaciones que han llevado a varios gobiernos a buscar alguna manera de regular este tipo de usos”* (Silicon, 2013), y permitir únicamente su uso para una mejora en la calidad de vida.

##### 4.4.1 Ventajas e inconvenientes de la fabricación aditiva

Las distintas **ventajas** que pueden derivarse de la implantación de la fabricación aditiva se pueden diferenciar en dos grupos según Saunders (2016):

1. **Ventajas de producción** que se obtienen durante la fabricación del producto, como puede ser:
  - a. Utilización de menos material y, por tanto, es necesario menos espacio para almacenaje.
  - b. Rapidez por la inexistencia de diseño y fabricación de utillajes especiales necesarios en otros procesos productivos. Es decir, se usan menos herramientas, y el tiempo de proceso y preparación es menor.
  - c. Automatización y montaje más sencillo, debido también a la ventaja anterior.
  - d. Personalización del producto a un coste muy inferior, por lo que modifica la conducta del consumidor (Crump, 2014).
  - e. Posibilidad de reparar piezas de alto valor a bajo coste.
  - f. Hace compatible la flexibilidad con un gran volumen de producción (Prodintec).
  - g. Fabricación casi sin limitaciones de objetos, imposibles de fabricar con otras tecnologías, como piezas huecas sin orificio de vaciado o

conjuntos de piezas móviles y asociadas entre ellas (García, 2016), es decir, amplía las ofertas de fabricación (Crump, 2014).

2. **Beneficios sostenidos** que se obtienen cuando el producto está en uso. Así, podemos nombrar el menor peso del producto, fiabilidad, mayor rendimiento, mejor adaptación y más responsabilidad.

Entre los **inconvenientes**, la Red Gipuzkoa 4.0 de Fabricación Avanzada, nombra los siguientes:

- Inversiones elevadas, tanto de la tecnología de aporte de material metálico, como en materia prima.
- No es posible el uso de toda variedad de materiales.
- Tolerancias de fabricación por encima de 0,1 mm, por lo que limita el uso de materiales.
- Tamaño limitado de los productos, aunque cada vez menos.
- Vulneración de los derechos de autor (López, 2016).

Sin embargo, estos inconvenientes se podrían solucionar a corto y medio plazo a medida que aumente el uso de dicha tecnología.

Saunders (2016) define un modelo de escalera con los distintos niveles de implantación de la fabricación aditiva:

1. Prototipado rápido de herramientas. Tiradas cortas de piezas fabricadas directamente desde el diseño asistido por ordenador (CAD).
2. Recambio de piezas directo. Permiten la reproducción de piezas, que evitan la fabricación compleja.
3. Consolidación de piezas complejas, que simplifican el montaje y aumentan la fiabilidad.
4. Optimizado con fabricación aditiva. Estos nuevos diseños de productos proporcionan beneficios sostenidos durante el uso, así como permiten la fabricación masiva a medida.

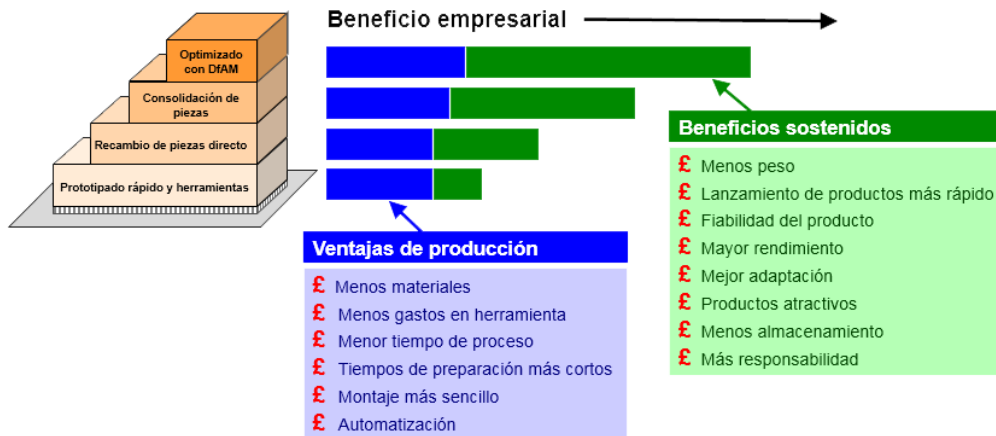


Figura 4.10. Modelo de implantación de la fabricación aditiva de Saunders

Fuente: Renishaw (Saunders, 2016).

Para escalar niveles, es necesario una disposición progresiva para diseñar y cumplir los requisitos de productos radicalmente nuevos. Por su parte, las ventajas aumentan

a medida que se escalan los niveles, ya que se aprovechan cada vez más las prestaciones exclusivas de la fabricación aditiva (Saunders, 2016).

#### 4.5 APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D

La fabricación aditiva tiene especial aceptación en los sectores de la joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, topografía, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, electrónica, transportes, ingeniería civil y muchos otros.

En algunos sectores donde pueden permitirse fuertes inversiones ya es imprescindible afrontar estos cambios para no quedar rezagado, ya que la tendencia a la personalización es cada vez mayor (Prodintec).

Por ejemplo, en la industria médica, más en concreto en la ortopédica, se usa para prótesis. Este es el caso de Nextep (2007), una prótesis de rodilla personalizada fabricada por el Fraunhofer Institute de Stuttgart (ver foto en Anexo A).

Otros casos parecidos son las Botas Ortopédicas (2008) de la compañía alemana Ortema (ver foto en Anexo B), para un ciclista con discapacidad física, diseñadas con precisión para carreras de ciclismo o el proyecto Protective Sports Mask (2010) de la empresa inglesa Cavendish Imaging (ver foto en Anexo C). Es una máscara ortopédica personalizada con datos tridimensionales de la cara (extraídos por escáner óptico, rayo cónico o tomografía digital), por lo que tiene una forma perfectamente acorde a la ergonomía del receptor, para poder cubrir zonas quemadas, tejido cicatrizado, preservar injertos faciales, evitar fracturas en la barbilla, nariz, pómulos, etc. (Malé-Aleman & Monedero, 2015).

Así como destaca también su uso para implantes óseos, cuyo procedimiento sería el siguiente: primero se obtiene mediante escáner una foto tridimensional del esqueleto del paciente y se integra en la memoria del ordenador. Este ordenador está conectado a una impresora que suelta un ácido, en vez de tinta, sobre una película de polvo de cemento con el cual reacciona para producir un objeto cerámico que calca la forma del hueso a reconstruir (Marsh, 2007). Ejemplos que nos proporciona Renishaw (2015) de estos implantes son:

- El implante craneal que encargó el Dr. Oliver al centro de investigación aplicada PDR de Reino Unido, que creó un modelo virtual 3D de la placa craneal duplicando la parte sana del cráneo. Permitted ahorrarse el 30% del tiempo de quirófano.
- El implante maxilofacial de Stephen, al cual se le realizó una tomografía computarizada (TC) de su cabeza. Ello permitió al equipo diseñar la estructura ósea postoperatoria para lograr la mejor simetría. Utilizando los datos preoperatorios y postoperatorios, se diseñaron y fabricaron dos guías metálicas para cada etapa del proceso quirúrgico: una guía de corte y una guía de reposicionamiento.

Renishaw suministró las guías de corte y de posicionamiento, que se imprimieron en 3D a partir de una aleación de cobalto cromo (ver foto en Anexo D).

Otros proyectos, ya dirigidos a la comercialización, pueden ser: Sunglasses (2006) de Kathinka Bryn (ver foto en Anexo E), para la producción en masa de gafas de sol que proporcionen un mayor valor al adaptarse perfectamente al tamaño de la cabeza y fisonomía del consumidor. Propone un modelo que permite ajustar la parte interior de las gafas, mientras que la parte exterior sigue parámetros definidos. Una vez determinada la estructura, los clientes pueden introducir elementos decorativos. O el proyecto de zapatos Head Over Heels (2006) del diseñador Sjors Bergmans (ver foto

en Anexo F), que quiere mostrar las consecuencias económicas de la personalización rápida de cualquier tipo de calzado. Presenta una colección de zapatos impresos en 3D con varios acabados y colores. Muestra un escenario en el que la zapatería cuenta con un ordenador, un escáner, una impresora 3D y una máquina de café; sin zapatos. El cliente podría seleccionar un modelo a partir de una base de datos que contendría todos los zapatos posibles y customizarlo (Malé-Alemaný & Monedero, 2015). Esta idea espera materializarse como una concept store este año en los Países Bajos, con el proyecto QUANT-U. Se trata de un proceso de tres etapas: análisis en tiempo real del pie del usuario, diseño basado en datos y, finalmente, impresión 3D del calzado en la tienda (Contreras, 2018).

O la colección de joyas Joint Jewels (2008) de Alissia Melka-Teichroew, que utiliza una unión articulada en forma de esfera para fabricar collares, pulseras y anillos que pueden lucirse nada más acabe el proceso de impresión 3D (Malé-Alemaný & Monedero, 2015).

En el sector textil ya han empezado a sistematizar procesos, extrayendo medidas y patrones. En este sector, no todo el mundo está preparado, pues es un negocio en el que la velocidad para ofrecer el producto es estratégica y, además, nadie está acostumbrado a compartir información. En la actualidad, la industria de la moda es capaz de colocar en el mercado un diseño en 20 días con normalidad; con proveedores en proximidad, puede forzar las entregas a 10 días. Con la digitalización, lo podría hacer en 24 horas, y con la impresión 3D desde la misma tienda, en 15 minutos (Prodintec).

Un ejemplo de esta industria sería el proyecto Freedom of Creation del diseñador Janne Kytanen crea y comercializa materiales textiles, como el bolso Punch Bag (2005) y el vestido Dress (2005), hechos sin hilos ni costuras. Los tejidos se diseñan a base de imprimir pequeños aros o elementos tridimensionales, entrelazados unos con otros (Malé-Alemaný & Monedero, 2015).

Empresas como Nike o Adidas están produciendo calzado personalizado a atletas profesionales (Silicon, 2013), como las Nike Zoom Superfly Elite (ver foto en Anexo G) que se han usado en los Juegos Olímpicos de Rio de Janeiro 2016 (Impresoras3D, 2018).

También empieza a ser importante en las empresas de alimentación y bebidas, donde la demanda es cada vez más compleja y la variedad de producto a fabricar mayor (Prodintec).

Un proyecto que destaca en esta industria es Babines (ver foto en Anexo H), empresa que apuesta por la fabricación de piruletas artesanales con cualquier forma, pues crean moldes de silicona alimentaria mediante una impresora 3D, lo que le permite fabricar en pequeñas cantidades y a bajo coste (Contreras, 2015). *“Sin el proyecto de impresión 3D Babines no podría existir”* (Barnoim, 2015).

Por otro lado, la arquitecta Dinara Kasko aprovechó su experiencia en modelado 3D para crear pasteles con formas complejas (ver foto en Anexo I), utilizando una impresora FDM que le permite crear diseños geométricos o inspirados en la naturaleza para desarrollar los moldes que utiliza en sus pasteles (Contreras, 2016).

Otra industria que destaca en el uso de la impresión 3D, como ya hemos comentado anteriormente, es la automovilística. Por ejemplo, la empresa de BMW abrirá un nuevo campus de fabricación aditiva en 2019 en Munich (Contreras, 2018). *“El equipo evaluará las tecnologías nuevas y existentes en la impresión de plásticos y metales y las desarrollará hasta la madurez en serie. Nuestro objetivo es proporcionar la tecnología y la cadena de proceso óptimas, ya sea para componentes individuales, pequeñas tiradas de producción o incluso para la fabricación a gran escala”* (Ertel, 2018).

Otra firma que ya trabajan en impresión 3D es Audi, la cual ya ha hecho uso del metal y ha dejado patente la sencillez de producir con este sistema. El único problema, por el momento, es superar la barrera que limita las dimensiones de producción de las piezas, que será lo que determinará que, en un futuro, se puedan imprimir coches de calle en 3D (CCOO, 2017). Este problema ya ha empezado a superarlo la empresa Bugatti, que ha fabricado una nueva pinza de freno que se ha convertido en el componente funcional más grande impreso en 3D en aleación de titanio, a través de láseres para fusionar dicho polvo en formas precisas y complejas (Global Robot Expo, 2018). *“Fue un momento muy emotivo para el equipo cuando sostuvimos nuestra primera pinza de freno de titanio de la impresora 3D en nuestras manos (...) Todos los que miran la pieza se sorprenden de lo liviana que es, a pesar de su gran tamaño”* (equipo Bugatti, 2018).

En la arquitectura de España también se está usando la impresión 3D, pues Be More 3D, una start up valenciana dio a conocer la primera casa impresa en 3D (ver foto en Anexo J) con la colaboración de la Universidad Politécnica de Valencia y entidades como Acciona (Contreras, 2018). *“Actualmente se está demostrando que este tipo de tecnología es factible para realizar promociones de viviendas, ya que además de reducir el plazo de fabricación, reduce los costes y riesgos laborales. En muy poco tiempo vamos a ver como la construcción 3D será un porcentaje muy significativo en las promociones inmobiliarias, hasta tal punto que será una herramienta indispensable en cualquier obra de construcción”* (Muñoz, 2018).

Por otro lado, este tipo de fabricación no requiere de una amplia infraestructura empresarial e industrial (Guillén, 2015, p.40), por lo que podría ser la solución en países desfavorecidos y en zonas de conflicto, pues la asociación asociación New Story e ICON construyeron una casa impresa en 3D en 24 horas, con la impresora denominada Vulcan. Dicha impresora 3D móvil podría funcionar en condiciones impredecibles, en lugares sin acceso a agua y electricidad. En los próximos meses, el objetivo de New Story será imprimir los primeros hogares impresos en 3D para las familias que viven en El Salvador (Contreras, 2018).

Como ya hemos comentado anteriormente, este tipo de fabricación aumentará la productividad en las empresas, lo que puede generar un efecto sustitución del factor trabajo por el factor capital, suponiendo una mayor necesidad de infraestructura tecnológica y provocando repercusiones sociales (Guillén, 2015, p.40). Aunque, a su vez, tendrá consecuencias positivas en los trabajadores que continúen en su trabajo, pues según una encuesta salarial realizada por Alexander Daniels Global, los salarios en la impresión 3D durante 2018, aumentarán, al menos, un 9%, dependiendo del campo y la experiencia del usuario (Contreras, 2018).

A continuación, en el capítulo 5, vamos a exponer las principales consecuencias de la industria 4.0. y de la fabricación aditiva en la educación, en los trabajadores, en el mercado laboral, en las industrias en general y, en particular, en el sector de la impresión 3D. Para finalizar, indicamos los perfiles más demandados en el mercado de trabajo español en 2018.





## 5 CONSECUENCIAS DE LA INDUSTRIA 4.0.

Todos estos cambios que se están produciendo en la industria afectarán a la sociedad en general, el sistema industrial y educativo, los gobiernos y sindicatos, los mercados laborales y, sobre todo, a los empleados de las fábricas que implementen estas nuevas herramientas (CCOO, 2017, p.2).

### 5.1 CONSECUENCIAS EN LAS INDUSTRIAS

Según el estudio de Capgemini de 2017, se estima que para 2022 el 21% de las plantas serán inteligentes. Como consecuencia, tendrán una reducción significativa de sus costes de explotación, siendo *“la reducción de los costes laborales directos un 25% en los próximos cinco años”* (CCOO, p.35 & Narayan, 2017). Estas mismas empresas (54%), proporcionan formación en competencias digitales a sus empleados y un 44% invierte en talento externo (Narayan, 2017).

Esto se debe a que *“la inteligencia artificial, las telecomunicaciones y otras formas de alta tecnología están sustituyendo rápidamente la mano de obra humana en muchos procesos de fabricación, distribución y logística. Jeremy Rifkin plantea el fin del trabajo como el inicio de una nueva era de la civilización”*. Pues no serán sustituidos solo los trabajos de baja cualificación, sino también directivos, médicos, economistas o abogados (CCOO, 2017, p.37). Sin embargo, los robots no podrán sustituir al ser humano en profesiones creativas o de espíritu crítico, pues están destinados a ayudar y facilitar los objetivos humanos y llegar más allá de donde ellos pueden. Muestra de ello es que los países más robotizados del mundo son los que menos desempleo tienen (CCOO, 2017, p.38).

Es decir, hay que considerar también el efecto complementariedad que se puede producir con el uso de los robots en las industrias. Pues gracias a ellos aumentará la productividad, de acuerdo con datos del McKinsey Global Institute, se estima que la automatización podría aumentar la productividad global entre 0,8% y 1,4% anualmente (Riveroll, 2017) consiguiéndose más bienes y servicios con los mismos recursos, lo que aumentará el PIB y la riqueza, con el consiguiente incremento del bienestar (Vaquero, 2017).

En este sentido, hay que destacar la importancia que tendrán los altos cargos a la hora de transmitir la nueva metodología que deberá conocer todo el personal de la empresa. Así, la formación y la educación deberán ser un proceso continuo y proactivo, teniendo en cuenta las necesidades existentes en el futuro próximo, para que todas las modificaciones persigan el mismo objetivo: una estrategia de transformación global de la empresa (Salinero, Ruiz & Garrido, 2016, p.61).

*“Los sistemas tradicionales de empleo se enfrentan a cambios profundos y de largo alcance, aunque la dirección, la velocidad y el alcance de los mismos no se pueden predecir con certeza”* (CCOO, 2017, p.2) y, por este motivo, no debemos olvidar la posible resistencia al cambio, tanto por parte de los directivos como por parte de los empleados, ya que será necesario un cambio organizativo completo (CCOO, 2017, p.65).

Debido a estos cambios en el entorno laboral, los trabajadores deberán estar continuamente formándose, de manera que podrán optar por una formación continua presencial o virtual ('e-Learning'). Del mismo modo, la manera de transmitir los conocimientos cambiará y *“llegará el momento en el que serán las máquinas las que ofrezcan la formación, pues es más fácil mantenerlas actualizadas de los contenidos. El sistema educativo tradicional quedará obsoleto en el mismo instante en el que surja.*

*Sin embargo, también tendrá consecuencias negativas, pues dificultará la tarea de diferenciar contenidos verídicos o alterados” (Guerrero, 2017).*

Para poder llevar a cabo estos cambios, es determinante la inversión tanto pública, es decir, del Estado, como de empresas privadas.

Por un lado, *“el gobierno ha aprobado la cantidad de 757, 5 millones de euros en ayudas para el desarrollo de proyectos industriales que supongan una nueva reindustrialización de nuestro país, con el proyecto “Reindustrialización y Fortalecimiento de la Competitividad Industrial”. Se trata de apoyos financieros mediante préstamos reembolsables a 10 años, con tres de carencia y con un interés entre el 1,7% y el 4%. Y en el que se incorpora la canalización de ayudas a la Industria 4.0.” (CCOO, 2017, p.28).*

Por otro lado, *“el reto sindical es la gestión de las personas mediante el diálogo social y la negociación colectiva, con nuevos derechos e integrando nuevas competencias digitales (...) Porque el problema no es el número de empleos que se pierdan con la automatización, sino que se produzcan los suficientes para compensar la pérdida de puestos de trabajo” (CCOO, 2017, p.4).* Y, seguramente, no serán suficientes los empleos creados y, además, serán perfiles muy distintos a los de las personas despedidas.

Es decir, la tecnología destruye ciertas profesiones, pero no la posibilidad de trabajar. Simplemente, se reorienta la naturaleza del trabajo, liberando a los trabajadores de realizar esfuerzos físicos y se dediquen a desarrollar su verdadero potencial (CCOO, 2017, p.39).

A pesar de que se trate de una reorientación, *“este proceso conllevará un crecimiento del desempleo importante, desigualdades crecientes de renta a corto plazo, situaciones de pobreza cada vez más extendidas, dificultades para mantener la demanda global, ralentización consecuente del crecimiento... Por lo que se defiende la renta básica automática, como una solución necesaria para evitar que el desempleo generado por el cambio tecnológico se convierta en una bomba social” (CCOO, 2017, p.41).*

Sin embargo, el mercado de trabajo debe evitar que las empresas inviertan más en el desarrollo de las habilidades profesionales que requieren los empleados actuales que en las personas que van a contratar en un futuro próximo (CCOO, 2017, p.73).

## **5.2 CONSECUENCIAS EN LA EDUCACIÓN**

En cuanto a la educación, si el cambio no afecta al conjunto del sistema, se producirá una fractura social, formándose una brecha de conocimiento digital entre los simplemente escolarizados y los formados en capacitación para el mundo de la industria 4.0. (CCOO, 2017, p.78). Se requiere de un sistema educativo perdurable en el tiempo, que no dependa de coyunturas políticas (CCOO, 2017, p.89).

*“Los empleos del futuro requieren de una formación específica; los jóvenes necesitarán una sólida base teórica, una buena formación práctica y estar en contacto con el mundo del hardware y del software” (CCOO, 2017, p.66).* Para poder obtener esta base, resultan cruciales los niveles más bajos del sistema educativo (Cotec, 2017), pues cada vez son más las empresas que tienen menos en cuenta el título, apostando por otro tipo de competencias como la comunicación, el trabajo en equipo, la crítica constructiva, la imaginación, la innovación o los idiomas. Personas dispuestas a aprender, flexibles, adaptables, empáticas, emprendedoras y que tomen la iniciativa (CCOO, 2017, p.66). *“Son virtudes que están lejos del actual sistema escolar zombi, con un currículum homogéneo para una industria que ha dejado de existir” (Martínez, 2017).* Es decir, realmente, es muy complicado encontrar jóvenes con este perfil, ya

que no es algo teórico que se transmita en la enseñanza, sino que muchas de las competencias necesarias se adquieren en el lugar de trabajo.

Por ejemplo, *“el último Informe Infoempleo Adecco concluía que dos de cada tres empresas reconocen haberse encontrado con serias dificultades para cubrir determinados puestos vacantes durante el último año. Entre otras razones por la carencia de competencias técnicas (50%), la falta de experiencia (38,9%) y unas expectativas salariales demasiado elevadas (38,9%)”*. *“Para poner fin a esta situación, la mitad de las empresas apuestan por llevar a cabo acciones formativas (54%) y por la introducción de mejoras en los procesos selectivos (49%), a lo que se une un 33% que selecciona el personal en los centros educativos”* (Costa, 2016).

Otro estudio afirma que *“en el 20% de las empresas no se realiza ninguna formación digital y en un 62% de las empresas que lo han ofrecido, menos del 40% de sus empleados han recibido un curso”* (CCOO, 2017, p.69).

Por ello, la industria y los servicios deben influir en los planes de estudio universitarios y de formación profesional (CCOO, 2017, p.3), pero no pueden dictar cómo ha de ser la educación del futuro, pues eso debe realizarse cambiando la escuela desde abajo (Martínez, 2017). Otros autores, sin embargo, apoyan la idea de que sean las empresas las que realicen el cambio desde el interior para lograr sus objetivos (AF & Castillo, 2016). Por ende, lo ideal sería que el claustro académico tenga experiencia empresarial (CCOO, 2017, p.63 & Moreno, 2016), ya que en el sistema actual los docentes sólo se encuentran en el ámbito universitario e imparten conocimientos puramente técnicos (Castillo, 2016) que no serán suficientes para los empleos que se crearán en el futuro próximo. Una encuesta realizada por Vanson Bourne asegura que el 56% de las escuelas necesitarán enseñar el cómo aprender en lugar del qué aprender (Aguilar, 2018). *“Para que esta nueva educación tenga efecto, hacen falta unos 25 años”* (Martínez, 2017), afirmación que asusta a los expertos pues la rapidez de los cambios precisa de un efecto en el corto plazo.

Así, podemos destacar el sistema de educación STEM, referido al acrónimo de los términos en inglés ‘Science, Technology, Engineering and Mathematics’ (Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), que es un enfoque científico integrado, según el cual, estos cuatro campos forman un todo donde los elementos interactúan unos con otros. En lugar de enseñar las cuatro disciplinas como sujetos separados y discretos, este sistema los integra en un enfoque de aprendizaje unido basado en aplicaciones y situaciones del mundo real (Arduino). Es decir, *“son estudiantes capaces de hacer conexiones significativas entre la institución educativa, la comunidad, el trabajo y los problemas globales. En un mundo cada vez más globalizado y complejo, es importante que los jóvenes cuenten con los conocimientos y las habilidades necesarias para resolver problemas difíciles, reunir y evaluar las pruebas, así como dar sentido a la información”* (Miller & Guerrero, 2016). Por este motivo, se requiere el uso de métodos innovadores y alternativos de enseñanza y aprendizaje, tales como proyectos, prácticas de laboratorio para la experimentación, herramientas tecnológicas y robótica colaborativa (CCOO, 2017, p.63).

A pesar de que los estudiantes de STEM son los más demandados, según Eurostat y Randstad Research (2016), en España cada vez son menos los matriculados en estas carreras, y prevalecen las de humanidades, periodismo, filología y derecho.

Las características que destacamos de la educación 4.0. son las siguientes:

- Aprendizaje flexible en función de las necesidades e intereses de cada alumno, siendo el foco principal de este nuevo sistema de educación.
- Aprendizaje al propio ritmo y a la velocidad de cada alumno con independencia de su edad y curso.

- Aprendizaje digital con feedback constante a partir del análisis de los datos derivados del progreso del propio aprendizaje (Learning Analytics).

Un ejemplo sería el Programa Recapacita de la Fundación MAPFRE, en el cual usan la gamificación en la educación, que consiste en realizar una actividad lúdica o llevar al aula los elementos y características principales de los juegos para el proceso de aprendizaje, creando un vínculo emocional, aumentando la motivación y mejorando los resultados finales. *“En definitiva, produce y crea experiencias que facilitan la construcción del conocimiento”* (Fundación Mapfre, 2015).

Otra innovación importante en este sentido sería la formación dual, que *“es aquella en la que los aprendices, jóvenes de hasta los 19 años aproximadamente, realizan una formación estructurada y a largo plazo, que combina períodos en el aula y períodos en la empresa y conduce a la obtención de una acreditación. El proceso se articula mediante un contrato laboral-formativo específico y, a menudo, está motorizado por los sindicatos y los empresarios”* (CCOO, 2017, p.71). Ya que, según Moreno (2016) *“existe un vacío enorme entre la Universidad y la empresa. La sensibilidad del mundo de los negocios dista muchísimo de lo que se enseña a los graduados”*. Dicho problema podría ser fácil erradicarlo con esta nueva formación.

En estos casos, a la empresa se le exige contar con, al menos, un formador acreditado oficialmente, que será el responsable de monitorizar a los aprendices, con la intervención en el proceso de empresas y sindicatos que definen los programas formativos y los criterios de evaluación de las habilidades adquiridas, mientras la administración apoya legislativa y financieramente los acuerdos alcanzados en la esfera laboral.

En España se intentó poner en marcha un modelo similar a través del RD 1592/2012, *“por el que se desarrolla el contrato para la formación y el aprendizaje y se establecen las bases de la formación profesional dual”* (CCOO, 2017, p.71). Pero no existe este tipo de formación en sentido estricto, y las que se practican son una excusa para la precarización del trabajo y un negocio para las consultoras privadas (CCOO, 2017, p.72).

La información a la que tenemos acceso sobre *“la evolución a nivel nacional de la formación profesional dual fue publicada por la Subdirección General de Orientación y Formación Profesional y corresponde al curso 2013/14. Un resumen de esta información se presenta en la figura 5.1. En dicha figura se observa un rápido crecimiento en el número de alumnos que escogen estudiar ciclos formativos de grado medio (CFGM) o superior (CFGS) duales”*.

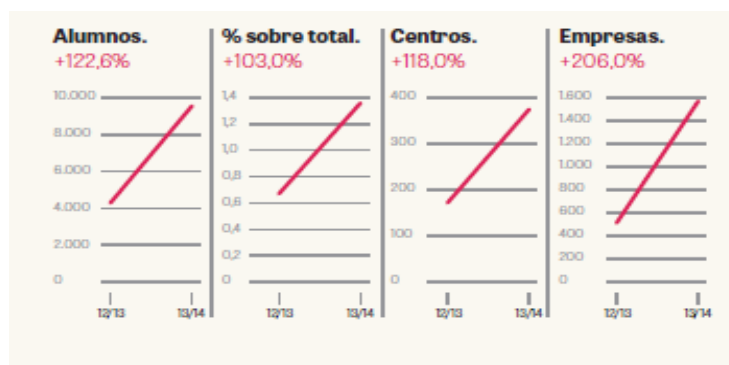


Figura 5.1. Participación de alumnos, centros y empresas en programas de formación profesional dual en España (2012/13 y 2013/14).

Fuente: Subdirección General de Orientación y Formación Profesional (2014) y datos del MECD (Cotec, 2017).

Las conclusiones que se obtienen de los datos analizados es que *“en términos agregados, la posición de España resulta positiva en cuanto a la proporción de jóvenes graduados en educación superior en áreas claves para la innovación, al situarse por encima de la media de la UE-28”*, observándose además que existe un desequilibrio entre hombres y mujeres, a favor de los primeros.

Además, la brecha entre los graduados universitarios en áreas STEM y en otras áreas es mucho más amplia en países como Alemania que en España o Francia, por ejemplo. Es decir, existe una reducida capacidad de absorción del mercado de trabajo español de las personas con cualificaciones superiores en general, y una ventaja comparativa muy reducida de los graduados en áreas STEM (Cotec, 2017).

Muestra de ello es que *“en los últimos siete ejercicios, el número de estudiantes matriculados en carreras STEM en España ha descendido, en términos absolutos, en más de 65.000 profesionales, representando el 26% del total de estudiantes”*, según datos de Randstad Research.

### **5.3 CONSECUENCIAS PARA LOS TRABAJADORES**

La cuarta revolución industrial se puede equiparar, en términos de despidos, con la primera, en la que la introducción de la tecnología provocó una oleada de despidos masivos.

*“Cuando se explican las revoluciones industriales se pone el foco en los grandes acontecimientos, pero no en qué les sucedió a aquellos operarios a los que despidieron con la entrada de las primeras máquinas”* (Vidal, 2017). El experto asegura que, al final, estas revoluciones terminaron por aportar mejoras en los derechos laborales. No obstante, también señala que la clase política debe ser capaz de buscar soluciones para este periodo de transición.

No sucedió así en la segunda revolución industrial con la aplicación del taylorismo y del fordismo, que no precisaban trabajadores especializados, por lo que no se produjeron muchos movimientos.

En la tercera revolución industrial, con la llegada de las TICs y de la ‘Lean Production’, se enriqueció el rol del trabajador y se le otorgaron mayores competencias (Sarriés, 2016), es decir, se liberó talento para otras funciones más estratégicas (Demaitre, 2016).

En la actualidad, diferentes expertos consideran que no hay que preocuparse, porque la revolución tecnológica no causará grandes estragos en el empleo, sino que conllevará a un cambio en las ocupaciones y en los puestos de trabajo, así como en los procesos de negocio. Todo ello obligará a adquirir nuevas habilidades, competencias y responsabilidades, siendo necesarios programadores, analistas matemáticos, estadísticos o diseñadores industriales (Riera, López & Pérez-Barco, 2017).

En este sentido, la nueva función del trabajador será la de solucionador de problemas, teniendo que tomar decisiones rápidas e innovadoras. Como consecuencia, aparecerá la relación entre la autonomía y el control hombre – máquina, convirtiéndose en aliados para cumplir los objetivos planteados por la empresa (Miller, 2016). Sin embargo, es importante destacar que hay que realizar una nueva humanización de esta relación para que el hombre tenga la cualificación necesaria para jugar su papel (Schell, 2016), es decir, que pueda aportar sentido a los datos que se obtienen de las máquinas e indiquen el porqué de esos números, y aportar así valor a la empresa (Galtés & Vidal, 2017).

En este campo hay que hacer también hincapié en que el talento requerido es independiente del sexo de la persona, es decir, hay que enfrentarse al pensamiento

que aún permanece en nuestra sociedad en cuanto al género femenino y hacer igualmente accesible el mundo laboral de la industria 4.0. a la mujer (Ardila, 2017). En la actualidad, solo el 13% de los trabajadores en este sector son mujeres (Contreras, 2018).

#### 5.4 CONSECUENCIAS EN EL MERCADO LABORAL

En este apartado aportamos datos de puestos de empleos y profesiones creadas, destruidas o modificadas, según diferentes estudios que han realizado varias empresas.

En Alemania, el Institute of Business Consulting de Boston Consulting Group, calcula que hasta 2025 se destruirán en torno a 350.000 empleos. El uso masivo de robots y computadoras en los procesos de ensamblaje y de producción de las factorías de automoción provocará la destrucción de 610.000 trabajadores (Sarriés, 2016).

En sentido contrario, *“según el Ministerio de Empleo y Seguridad Social de España, en menos de dos años se van a generar 300.000 nuevos empleos en el marco de la contratación digital”* (CCOO, 2017, p.66).

Si alargamos el estudio a los próximos cinco años, Randstad afirma que se generarán más de 1.250.000 empleos (Martínez, 2017).

Del mismo modo, las previsiones de la Unión Europea indican un crecimiento de 900.000 nuevos puestos de trabajo hasta 2020, sobre todo relacionados con la tecnología, que ya se están incorporando a las empresas y tendrán gran demanda a corto plazo: analista web, especialista en posicionamiento web, responsable e-Commerce y de contenido digital, desarrollador de Apps, digital marketing manager, Social Media Manager, experto en comunicación digital, etc. (Fariás 2017).

En España, los principales sectores que demandan esta tecnología son el farmacéutico, la automoción y el de alimentación y bebidas, debido especialmente al alto nivel de automatización de sus fábricas, cada vez más inteligentes (Bueno, 2017).

Las tendencias actuales podrían generar un impacto neto en el empleo de más de 5,1 millones de puestos de trabajo perdidos por cambios disruptivos en el mercado laboral durante el período 2015-2020, con una pérdida total de 7,1 millones de empleos, mostrando una ganancia total de 2 millones de empleos en los campos relacionados con la informática y las matemáticas y la arquitectura e ingeniería (World Economic Forum, 2016 & Pérez Barco, 2017).

Otro estudio realizado por la Universidad de Oxford y Deloitte indica que el 47% de las profesiones actuales desaparecerá en la próxima década (CCOO, 2017, p.75) y, además, aventura que 700 profesiones se extinguirán en los próximos 20 años, surgiendo un desequilibrio entre lo que las empresas demandan y la formación que tendrán los profesionales (Pérez-Barco, 2017).; por ello, se prevé que en España para 2020 faltarán 1,9 millones de profesionales altamente cualificados (Pérez-Barco & Martínez, 2017).

Si alargamos estas previsiones, *“el sector industrial necesitará 3,5 millones de profesionales especializados hasta 2025. Tres millones corresponden a puestos para reemplazar a profesionales jubilados y medio millón a nuevas oportunidades laborales, derivadas de las nuevas tecnológicas, según el Ministerio de Empleo y Seguridad Social”* (CCOO, 2017, p.66).

Para el caso español, un informe de Caixabank de 2015 estima que alrededor del 29% de los empleos tiene un perfil bajo de ser automatizados, el 28% tiene una probabilidad media y el 43% restante presenta una alta probabilidad. Un segundo informe, en este caso publicado por la OCDE, señala que el 12% de los puestos de

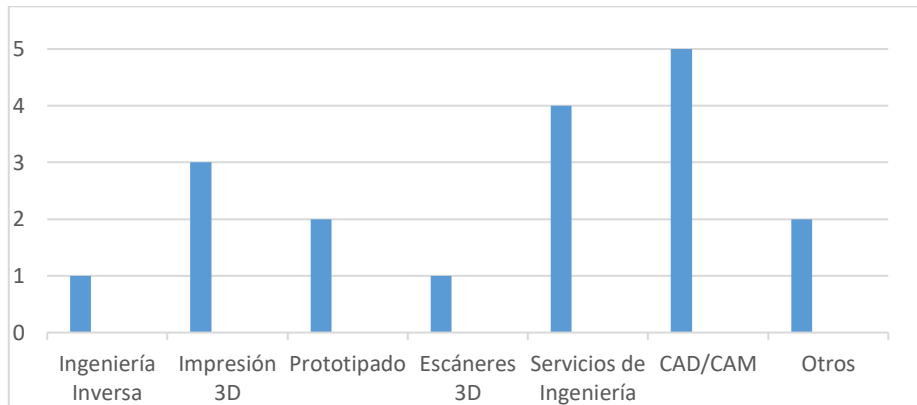
trabajo en España están en alto riesgo de desaparición por la robotización de la economía (Martínez, 2017).

## 5.5 SECTOR DE LA IMPRESIÓN 3D

Centrándonos en el sector que nos interesa, el de la impresión 3D, “en 2014 se publicó un estudio sobre la contratación que demostró que las tecnologías de impresión 3D han dado lugar a la creación de un creciente número de perfiles debido a la demanda existente en el mercado laboral naciente” (Contreras, 2017). A pesar de que cada día tiene más potencial, las consecuencias sobre el mercado de trabajo son a largo plazo, y como dice Baillais (2017) “estamos muy lejos de un mundo en el que todos los oficios de la construcción y manufactura sean reemplazados por los servicios de impresión en 3D en línea como la nuestra y las impresoras personales”.

Pero, a pesar de que en España tenemos centros tecnológicos y universidades con conocimiento en fabricación aditiva, no se produce el avance necesario, debido a que invierte un 9,1% menos que en 2009 en I+D, mientras que la UE en su conjunto, invierte un 27,4% más (Gómez & Contreras, 2018).

A causa de ello, y para estar más actualizado en la industria 4.0., el 26% de las empresas cuentan con programas de capacitación internos en áreas relacionadas con sistemas de manufactura aditiva, principalmente en programas informáticos CAD/CAM<sup>9</sup>, servicios de ingeniería e impresión 3D, según la encuesta realizada por la Cámara Nacional de la Industria de Transformación (a partir de ahora, CANACINTRA) (Guillén, 2015).



Gráfica 5.1. Tipo de capacitación que actualmente usa la empresa en Manufactura Aditiva.

Fuente: encuestas realizadas por CANACINTRA (CANACINTRA, 2015).

Como consecuencia del uso de la impresión 3D, los puestos de trabajo serán valorados por su creatividad en los diseños de productos y por las soluciones genuinas que puedan aportar los empleados (Alaminos & Ruiz, 2017, p.33).

En cuanto a la formación, los profesores, científicos e ingenieros valoran positivamente la impresora 3D como una herramienta para enseñar a la próxima generación de inventores. Por ejemplo, un informe oficial del Departamento de Educación del Reino

<sup>9</sup> Programas informáticos CAD/CAM: el diseño y fabricación con ayuda de computador, comúnmente llamado CAD/CAM, es una tecnología que podría descomponerse en numerosas disciplinas pero que normalmente, abarca el diseño gráfico, el manejo de bases de datos para el diseño y la fabricación, control numérico de máquinas herramientas, robótica y visión computarizada.

Unido ha concluido que las impresoras 3D *“tienen un importante potencial como recurso didáctico”*, además de *“tener un impacto positivo en la participación activa de los alumnos en el aprendizaje”*.

Según Contreras (2017), las impresoras 3D son una de las mejores herramientas pedagógicas incorporada en los últimos años.

Ejemplos de ello son los robots que se usan en las clases de robótica, la mayoría de los cuales tienen partes impresas en 3D, siendo los propios alumnos los que pueden imprimirlas y, así, personalizarlo a su gusto.

O en la Universidad tailandesa de Mahido, donde utilizan una impresora 3D para hacer modelos precisos de cráneos y órganos humanos para que los estudiantes puedan practicar los implantes dentales y técnicas quirúrgicas avanzadas.

La asignatura de Historia se podría explicar mejor con objetos de museos imprimidos en 3D por los propios estudiantes después de haber sido escaneados de los originales en los museos. También se puede acercar a los estudiantes a estudios paleontológicos y arqueológicos.

En la asignatura de Matemáticas la impresión 3D puede ayudar a visualizar demostraciones matemáticas. Un ejemplo de ello se explica en el artículo ‘Illustrating Mathematics using 3D Printers’ (Uso de las impresoras 3D para ilustrar las Matemáticas), publicado por la Universidad de Harvard (Arduino).

*“Precisamente son, en este contexto, los alumnos más pequeños los que mayor rendimiento pueden obtener de contar entre sus manos con una reproducción fidedigna del concepto estudiado en una asignatura”*.

*“El AULA 3D es el único proyecto integral para el uso de la impresión 3D en los colegios. Un proyecto totalmente personalizado para cada centro cuyo eje se basa en la formación al profesorado y en el apoyo pedagógico”*.

Por otra parte, en CoLiDo han desarrollado un plan estructurado que guía al profesorado en las actividades que integran la tecnología de las impresoras 3D pero siguiendo el contenido del curso.

Además, utilizan el software DIBUPRINT 3D para acercar el diseño 3D a los más pequeños, al ser intuitivo y permitir su uso sin poseer conocimientos previos de modelado en 3D (Contreras, 2017).

Para todo ello, se pueden alquilar aulas 3D desde 225€ al mes (CoLiDo, 2018).

## **5.6 PERFILES MÁS DEMANDADOS EN EL MERCADO DE TRABAJO ESPAÑOL EN 2018**

El análisis llevado a cabo por Randstad Professionals tiene en cuenta los perfiles de responsabilidad que buscan las compañías, las competencias más valoradas y los sectores que impulsarán la creación de empleo. En este sentido, prevé que los 5 perfiles más buscados en 2018 serán:

1. Ingenieros especializados en robótica y mecatrónica<sup>10</sup>. Es decir, ingenieros de automatización y control, ingenieros de proyectos de automatización y perfiles con mecatrónica, electrónica y mecánica. El aumento del uso de

---

<sup>10</sup> Mecatrónica: disciplina que integra los sistemas mecánicos, electrónicos y de software para crear un dispositivo, máquina o sistema, que cumple su función automáticamente.



la Inteligencia Artificial en diferentes ámbitos de la sociedad, como el ocio o el hogar, ha impulsado que las compañías busquen trabajadores especializados en esta área.

2. Financial controller. Se buscan controladores financieros y de costes. Se valorará la capacidad de negociación, adaptación a los cambios y trabajo en equipo.
3. Export manager. Se buscarán profesionales con dominio en inglés y segundo idioma. Las habilidades más valoradas serán negociación, planificación y organización.
4. Customer experience. Perfiles encargados de analizar y tomar decisiones para que el cliente viva la mejor experiencia de compra posible, con conocimientos técnicos de base para defender sus propuestas frente a la competencia (Costa, 2016).
5. Médicos especializados. Como traumatólogos, ginecólogos o pediatras.

*“Al igual que en la mayoría de los sectores, la transformación digital ha modificado profundamente también el sector Retail, ya que se necesitan dos perfiles muy distintos: los orientados a tiendas físicas y aquellos con un perfil más digital, como profesionales especializados en SAP, business intelligence y big data”* (Randstad Professionals, 2018). *“Cualquier empresa tiene grandes cantidades de datos de sus clientes y usuarios. Hay que saber sacar partido a esos datos para dar mejor servicio”,* explica Francisco Ruiz Antón (Pérez-Barco, 2017).

En este sentido, si comparamos con las profesiones más demandadas en 2016 según el “XI Informe Los + Buscados en 2016” de la consultora Spring Professional del Grupo Adecco, no se han producido muchos cambios.

Por otro lado, un estudio realizado por Iberdrola (2018) ha ofrecido la siguiente afirmación: *“el empleo en estos sectores ha crecido en la última década mucho más rápido que en el resto de ramas profesionales: un 24,4% frente al 4,0% del empleo no STEM, según las cifras del Departamento de Comercio estadounidense. Y la tendencia continuará en los próximos años, cuando surjan profesiones que aún no existen o que están empezando a perfilarse ahora: piloto de drones, agregador de talento o tecnólogo financiero son solo algunos ejemplos. Sin embargo, se estima que el reclamo de ingenieros y matemáticos aumentará un 14% hasta el final de la década y las empresas tendrán dificultades para cubrir todas estas vacantes”.*

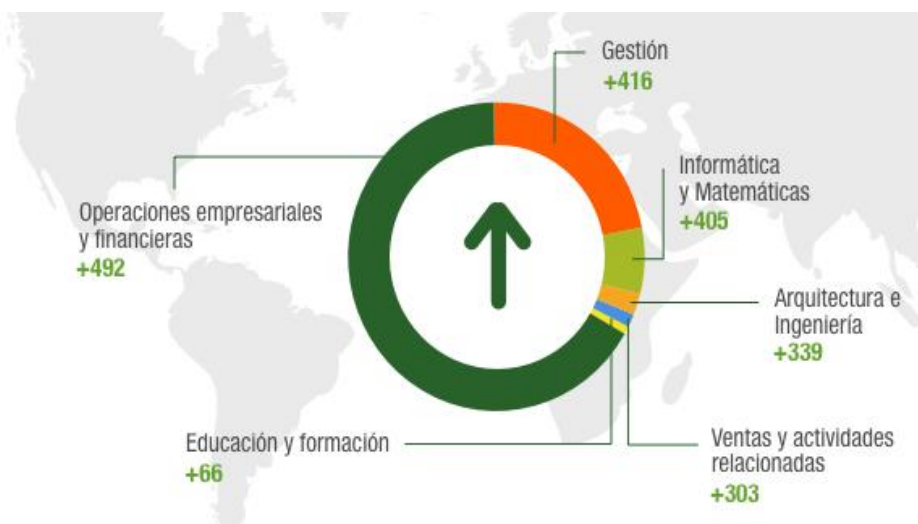


Figura 5.2. Trabajos con demanda creciente de profesionales entre 2015 – 2020.

Fuente: Iberdrola (2018).

Así, en este mismo sentido, World Economic Forum (2016) destaca únicamente dos tipos de trabajo que tendrán mucha importancia en esta nueva industria: los analistas de datos y los representantes de ventas especializados.

En su estudio, han obtenido resultados de la perspectiva neta de empleo por tipología en todos los países durante los años 2015-2020:

<b>Tipología de empleo</b>	<b>Perspectiva neta de empleo</b>
Oficinas y Administración	-4.759
Manufacturas y producción	-1609
Construcción y extracción	-497
Artes, Diseño, Entretenimiento, Deportes y Medios Sociales	-151
Legal	-109
Instalaciones y Mantenimiento	-40
Negocios y Operaciones Financieras	492
Empresarios directivos	416
Informáticos y Matemáticos	405
Arquitectos e Ingenieros	339
Agentes Comerciales y otros relacionados	303
Educación y Formación	66

Tabla 5.1. Perspectiva neta de empleo por familia de trabajo en todos los países (2015 – 2020), en miles.

*Fuente: World Economic Forum (2016).*

## 6 CONCLUSIONES

Los modelos de la industria 4.0. que hemos explicado tratan de resumir los principios que deberán asumir las nuevas fábricas inteligentes para conseguir los objetivos planteados. En este sentido, hemos comprobado que la mayoría comparten las mismas ideas, pero ninguno resultaría adecuado al completo si lo aplicáramos en su totalidad.

Tras conseguir nuestro primer subobjetivo, planteado en el capítulo 2, y estudiar qué es, las características, las herramientas y los avances que comporta la industria 4.0., podemos concluir que las fábricas se verán claramente beneficiadas al conseguir dos resultados simultáneamente: reducir sus costes y aumentar su productividad.

Sin embargo, la sociedad en general y los trabajadores de las fábricas que implementen dichos avances en particular, se verán afectados tanto positiva como negativamente.

En este sentido, las consecuencias positivas que traerá, principalmente, son:

- Opción de comprar productos personalizados a un precio mucho menor que en la actualidad y en un plazo mínimo de tiempo, e incluso a veces, al instante.
- Los trabajadores que se queden obsoletos en la formación podrán asistir a cursos para reciclarse y, además, el cambio será para mejor porque no tendrán que realizar esfuerzos físicos.
- Los recién titulados en áreas STEM tendrán grandes facilidades para incorporarse al mundo laboral, por lo que disminuirá la tasa de desempleo juvenil.

Asimismo, afirmamos que los habilitadores digitales son indispensables para conseguir una industria 4.0. y, en particular, destacamos la importancia de la herramienta de la fabricación aditiva en todo tipo de producciones.

Si tenemos en cuenta la evolución de las aplicaciones de la fabricación aditiva, seremos conscientes de las grandes ventajas que aporta a la sociedad, pues ya ha contribuido en sectores tan importantes como la salud y la educación.

En cuanto a los tipos de impresoras, se deberá elegir la más adecuada en función de la finalidad para la que se adquiera. Es decir, dependerá tanto del material a utilizar como del presupuesto disponible.

En otro sentido, habrá que cambiar la estructura del sistema educativo, así como el contenido, pues si continúa como hasta ahora, la formación y las competencias adquiridas quedarán obsoletas en el corto plazo. Por ello, estimamos necesaria la formación continua y el reciclaje de los empleados pues, aunque posean los conocimientos necesarios para empezar a trabajar en la organización, se producen cambios constantemente y deberán estar actualizados para poder ofrecer a los clientes lo que demanden en cada momento.

De la misma manera, consideramos necesaria la fomentación de las nuevas formas de educación como la gamificación y el uso de impresoras 3D para hacer partícipes y motivar a los niños a que aprendan el uso de estas nuevas herramientas tan necesarias en el futuro cercano.

En cuanto a las ayudas del Gobierno, observamos que son insuficientes en España para realizar una buena transición hacia la digitalización de las fábricas. Únicamente hace falta comparar las cifras con otros países punteros en tecnología e innovación como Estados Unidos o China para ver que estamos muy por debajo.

Con toda la información obtenida, no es posible cuantificar con claridad cuántos empleos se crearán y cuántos serán destruidos. Lo que sí es seguro es que los empleos más demandados serán distintos a épocas pasadas, e incluso si son los mismos empleos, requerirán de un perfil más cualificado pues la naturaleza del trabajo será modificada en la mayoría de los empleos hacia un mundo más digitalizado.

Creemos que es posible que se produzca la automatización completa de las fábricas en el medio plazo, pero el capital humano seguirá siendo necesario e igualmente importante, aunque sus funciones sean totalmente distintas a las actuales.

Para finalizar, opinamos que la fabricación aditiva aún tiene mucho camino por recorrer y su evolución en el futuro seguirá siendo importante, quedándose atrás todo lo que ahora nos parece increíble. Es decir, lo actual se convertirá en lo normal, y surgirán más aplicaciones que nos sorprenderán.

En resumen, consideramos que la industria 4.0., y las impresoras 3D en particular, traerán consecuencias positivas para las industrias y para la mayoría de la sociedad. Tan sólo consideramos que podría afectar negativamente a aquellos empleados que, por culpa de estas innovaciones, pierdan su empleo. Especialmente, en oficinas como administrativos, en la producción y en la construcción y extracción.

## Bibliografía

- AF (2016, 11 de Octubre). Formación industrial 4.0 para empresarios. Recuperado de: <https://www.advancedfactories.com/formacion-industrial-4-0-para-empresarios/>
- Aguilar, J.F. (2018, 5 de Marzo). ¿Cuál será la oferta de candidatos en tecnología? Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/cual-sera-la-oferta-de-candidatos-en-tecnologia/>
- Alaminos & Ruiz (2017). La nueva era digital y su incidencia en el mercado laboral. (Trabajo de fin de grado inédito). Universidad de Sevilla, Facultad de Turismo y Finanzas, España.
- Archanco, R. (2016, 11 de Mayo). Qué es industria 4.0 y por qué debería importarte si produces átomos. Recuperado de: <http://papelesdeinteligencia.com/que-es-industria-4-0/>
- Ardila & Ruiz (2017). Recursos Humanos en la Industria 4.0 (Trabajo fin de máster inédito). Universidad de Sevilla, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, España.
- Arduino. El porqué del sistema STEM en la educación actual. Recuperado de: <https://descubrearduino.com/educacion-stem/>
- Arduino. La impresión 3D en la educación, unas breves ideas. Recuperado de: <https://descubrearduino.com/la-impresion-3d-en-la-educacion/>
- Arizton (2017, Septiembre). 3D Printing Market - Global Outlook and Forecast 2017 – 2022. Recuperado de: <https://www.arizton.com/market-reports/3d-printing-market>
- Bejerano, P. (2013, 7 de Marzo). Reciclaje doméstico para nutrir impresoras 3D. Recuperado de: [https://www.eldiario.es/turing/impresora\\_3d-reciclaje-plastico\\_0\\_107439950.html](https://www.eldiario.es/turing/impresora_3d-reciclaje-plastico_0_107439950.html)
- Bueno, C. (2017, 26 de Diciembre). La industria 4.0 busca empleados: la demanda aumenta un 50%. Recuperado de: <http://www.economista.es/economia/noticias/8832104/12/17/La-industria-40-busca-empleados-la-demanda-aumenta-un-50.html>
- Castillo, A. (2016, 30 de Noviembre). Universidad, ¿un modelo del pasado? Recuperado de: <http://www.elmundo.es/f5/campus/2016/11/30/583dda52e5fdeaf93a8b45a4.html>
- CCOO (2017, Septiembre). La digitalización y la industria 4.0.: Impacto industrial y laboral. Recuperado de: <https://industria.ccoo.es/4290fc51a3697f785ba14fce86528e1000060.pdf>
- CoLiDo (2018). Recuperado de: <http://colido.es/aula-3d>
- Contreras, L. (2015, 1 de Diciembre). Babines reinventa las piruletas con la impresión 3D. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/babines-piruletas-impresion-3d-01122015/>

Contreras, L. (2016, 30 de Septiembre). Dinara Kasko crea pasteles únicos con impresión 3D. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/dinara-kasko-pasteles-3d-30092016/>

Contreras, L. (2017, 22 de Diciembre). Impresión 4D, el siguiente paso en fabricación aditiva. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-4d-fabricacion-aditiva-221220172/>

Contreras, L. (2017, 25 de Octubre). La importancia de incorporar la impresión 3D en los colegios. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-en-los-colegios-251020172/#.WfBisIRaAV4.linkedin>

Contreras, L. (2017, 28 de Agosto). HP y Deloitte se unen para llevar la fabricación aditiva a gran escala. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/hp-y-deloitte-fabricacion-aditiva-280820172/>

Contreras, L. (2017, 8 de Febrero). ¿La impresión 3D como el futuro del mercado laboral? Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-futuro-mercado-laboral-08022017/>

Contreras, L. (2017, 9 de Octubre). La impresión 3D podría eliminar el 25% del comercio mundial. Recuperado de: [https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-comercio-mundial-091020172/#.WdtKlyFmj\\_k.linkedin](https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-comercio-mundial-091020172/#.WdtKlyFmj_k.linkedin)

Contreras, L. (2017, Septiembre). ¿Cuáles son las previsiones de la fabricación aditiva para el 2022? Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/previsiones-de-la-fabricacion-aditiva-180920172/>

Contreras, L. (2018, 14 de Marzo). Be More 3D fabrica la primera casa impresa en 3D de España. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/be-more-3d-casa-impresa-espana-140320182/>

Contreras, L. (2018, 15 de Febrero). El libro Impresión 3D de Sergio Gómez, el manual para convertirte en experto. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/libro-impresion-3d-150220182/>

Contreras, L. (2018, 18 de Abril). BMW abrirá un campus de fabricación aditiva en 2019. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/bmw-campus-de-fabricacion-aditiva-180420182/>

Contreras, L. (2018, 22 de Febrero). ¿Ascenso de los salarios en la impresión 3D? Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/salarios-en-la-impresion-3d-220220182/>

Contreras, L. (2018, 23 de Marzo). Hogares impresos en 3D por menos de \$4,000 dólares. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/hogares-impresos-en-3d-230320172/>

Contreras, L. (2018, 29 de Marzo). ECCO se lanza a la producción masiva de zapatillas impresas en 3D. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/ecco-zapatillas-impresas-3d-290320182/>

Contreras, L. (2018, 8 de Marzo). ¿Cómo incrementar el número de mujeres en la impresión 3D? Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/mujeres-en-la-impresion-3d-080320182/>

Costa, V. (2016, 22 de Junio). La impresión 3D y la revolución del mercado laboral. Recuperado de: [https://www.elnacional.cat/es/economia/impresion-3d-mercado-laboral\\_105180\\_102.html](https://www.elnacional.cat/es/economia/impresion-3d-mercado-laboral_105180_102.html)

Deloitte AG (2015). Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Recuperado de:

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>

Deloitte AG (2017). Technology, Media and Telecommunications Predictions 2018. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/tmt-predictions.html>

Domínguez, A. (2013, 5 de Noviembre). ¿Cómo afectarán las impresoras 3D a los procesos de distribución y las cadenas de suministros de las empresas, y como consecuencia los procesos logísticos? Recuperado de: <https://impresoras3dblog.wordpress.com/2013/11/05/como-afectaran-las-impresoras-3d-a-los-procesos-de-distribucion-y-las-cadenas-de-suministros-de-las-empresas-y-como-consecuencia-los-procesos-logisticos/>

Fundación Cotec para la Innovación (2017, 12 de junio). Informe Cotec 2017. Recuperado de: <http://informecotec.es/>

Fundación Mapfre (2015). El desafío de las tecnologías educación 4.0. Recuperado de: [https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es\\_es/images/desafio-tecnologias-educacion-libro-profesor\\_tcm1069-421445.pdf](https://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/images/desafio-tecnologias-educacion-libro-profesor_tcm1069-421445.pdf)

García, A. (2014, 30 de Noviembre). El futuro de la industria en manos de la impresión 3D. Recuperado de: <http://www.qtorb.com/2014/11/el-futuro-de-la-industria-en-manos-de-la-impresion-3d.html>

García, N. (2016, 22 de febrero). Fabricación aditiva mediante Impresión 3D. Recuperado de: <https://www.andaltec.org/plastico-a-fondo-impresion-3d/>

Geinfor. ¿Qué es la Industria 4.0? Recuperado de: <http://geinfor.com/blog/industria-40/>

Geissbauer, Vedso & Schrauf (2016). Industry 4.0: Building the digital Enterprise. Recuperado de: <https://www.pwc.es/es/publicaciones/gestion-empresarial/assets/global-industry-digital-survey-2016.pdf>

Global Robot Expo (2018, 9 de Febrero). Impresión 3D: Fabricación aditiva y aplicaciones. Recuperado de: <https://www.globalrobotexpo.com/es/impresion3d-fabricacion-aditiva/>

Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2015, 23 de Julio). La transformación digital de la industria española. Recuperado de: <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>

Gradiant (2016, 16 de Noviembre). Seis tecnologías para explicar la Industria 4.0. Recuperado de: <https://www.gradiant.org/noticia/tecnologias-industria-4-0/>

Gravel, J.P. (2018, 10 de Mayo). Conferencia “Tendencias en Tecnología y Tecnologías exponenciales”. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Sevilla, España.

Guerrero, M. (2017, 4 de Septiembre). Trabajadores del conocimiento en la Industria 4.0. Recuperado de: <https://manuelguerrerocono.com/trabajadoresdelconocimiento/>

Guillén, E. (2015, 13 de Marzo). Diagnóstico para el desarrollo de procesos de fabricación de manufactura aditiva. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015\\_Diagn\\_stico\\_para\\_desarrollo\\_de\\_procesos\\_de\\_fabricaci\\_n\\_de\\_manufactura\\_aditiva.\\_Parte\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015_Diagn_stico_para_desarrollo_de_procesos_de_fabricaci_n_de_manufactura_aditiva._Parte_1.pdf)

Guillén, E. (2015, 13 de Marzo). Diagnóstico para el desarrollo de procesos de fabricación de manufactura aditiva. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F->

13032015\_Diagnóstico\_para\_desarrollo\_de\_procesos\_de\_fabricación\_de\_manufactura\_aditiva.\_Parte\_1.pdf

Iberdrola. Educación STEM: las carreras con mayor demanda y futuro. Recuperado el 4 de mayo de 2018 de: <https://www.iberdrola.com/te-interesa/lifestyle/profesionales-stem>

IK4 Research Alliance (2018). Recuperado de: <http://www.ik4.es/es/default.asp>

IK4-tekniker (2016, 15 de febrero). ¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0? Recuperado de: <http://www.tekniker.es/es/que-es-la-Industria-40>

Impresoras3D (2018, 1 de Enero). Nike lleva la impresión 3D a los Juegos Olímpicos de Rio. Recuperado de: <https://www.impresoras3d.com/nike-lleva-la-impresion-3d-a-los-juegos-olimpicos-de-rio/>

Interempresas (2018, 27 de Febrero). Tecnologías de fabricación aditiva más competitivas, eficientes y sostenibles. Recuperado de: <https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/209800-Tecnologias-de-fabricacion-aditiva-mas-competitivas-eficientes-y-sostenibles.html>

Interempresas (8 de Junio, 2015). Fabricación aditiva: Qué es cada tecnología. Recuperado de: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/138289-Fabricacion-aditiva-Que-es-cada-tecnologia.html>

Jiménez, M. (2015, 8 de Octubre). Primera iniciativa del plan Industria Conectada 4.0. Recuperado de: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/10/08/empresas/1444297561\\_168622.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/10/08/empresas/1444297561_168622.html)

Lafuente, R. (2011, 16 de Noviembre). La Fabricación Aditiva conduce a una nueva revolución industrial. Recuperado de: [https://www.tendencias21.net/La-Fabricacion-Aditiva-conduce-a-una-nueva-revolucion-industrial\\_a8558.html](https://www.tendencias21.net/La-Fabricacion-Aditiva-conduce-a-una-nueva-revolucion-industrial_a8558.html)

Locker, A. (2018, 3 de Enero). ¿Cómo funciona una impresora 3D? 9 tipos de impresoras 3D – Guía de tecnologías de impresión 3D. Recupeardo de: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

López, J.E. (2016). Nota de futuro 2/2016. Impresoras 3D. Recuperado de: [http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranetmpl/prog/local\\_repository/documents/17854.pdf](http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranetmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf)

Malé-Alemany & Monedero (2015). EL POTENCIAL DE LA FABRICACIÓN ADITIVA EN LA ARQUITECTURA: Hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción (Tesis doctoral). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB), España. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96262>

Margarita (2015, 30 de Julio). ¿Qué es la impresión 4D? Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/que-es-la-impresion-4d30072015/>

Marsh, V. (2007, 5 de Abril). Impresoras de chorro de tinta pueden fabricar prótesis de huesos humanos. Recuperado de: [https://www.tendencias21.net/Impresoras-de-chorro-de-tinta-pueden-fabricar-protesis-de-huesos-humanos\\_a1488.html](https://www.tendencias21.net/Impresoras-de-chorro-de-tinta-pueden-fabricar-protesis-de-huesos-humanos_a1488.html)

Martínez, S. (2017, 1 de Marzo). El mercado laboral 4.0: predicciones y realidades. Recuperado de: <http://www.zemania.com/mercado-laboral-40-empleo-futuro/>

Martínez, X. (2017, 6 de Febrero). Educación y cuarta revolución industrial. Recuperado de: <http://eldiariodelaeducacion.com/blog/2017/02/06/educacion-y-cuarta-revolucion-industrial/>



Miller, F. (2016, 17 de Marzo). Descúbren las STEM y su importancia en la educación. Recuperado de: <http://educacion.digital/descubre-las-stem-y-su-importancia-en-la-educacion/>

Mizar (2016, 20 de Julio). Fabricación aditiva vs. Impresión 3D. Recuperado de: <http://mizaradditive.com/impresion-3d/>

Narayan, K. (2017, 15 de Mayo). Las fábricas inteligentes podrían aportar 500.000 millones de dólares a la economía mundial en los próximos cinco años. Recuperado de: <https://www.capgemini.com/es-es/news/las-fabricas-inteligentes-podrian-aportar-500000-millones-de-dolares-a-la-economia-mundial/>

PASTOR, J. (2014, 9 de Junio). Reciclar el plástico de los océanos ya permite generar objetos impresos en 3D. Recuperado de: <https://www.xataka.com/aplicaciones/reciclar-el-plastico-de-los-oceanos-ya-permite-generar-objetos-impresos-en-3d>

Pérez-Barco, M.J. (2017, 25 de Septiembre). Las nuevas profesiones y habilidades que demanda la revolución tecnológica. Recuperado de: [http://www.abc.es/economia/abci-nuevas-profesiones-y-habilidades-demanda-revolucion-tecnologica-201603282128\\_noticia.html](http://www.abc.es/economia/abci-nuevas-profesiones-y-habilidades-demanda-revolucion-tecnologica-201603282128_noticia.html)

Prodintec. Fabricación aditiva (impresión 3D). Recuperado de: <http://www.prodintec.es/es/nuestra-actividad/fabricacion-avanzada/fabricacion-aditiva-impresion-3d>

Randstad Professionals (2018, 29 de Enero). Ingenieros, perfiles IT, ventas y retail serán los perfiles más buscados en 2018. Recuperado de: <https://www.randstad.es/nosotros/sala-prensa/ingenieros-perfiles-it-ventas-y-retail-seran-los-perfiles-mas-buscados-en-2018/>

Randstad Professionals (2018, 29 de Enero). Los 5 perfiles más demandados en 2018. Recuperado de: <https://www.randstad.es/tendencias360/los-5-perfiles-mas-demandados-en-2018/>

Ranz, R. Una educación 4.0 para el fomento del talento 4.0. Recuperado de: <https://robertoranz.com/2016/05/30/una-educacion-4-0-para-el-fomento-del-talento-4-0/>

Red de Centros de Acompañamiento Tecnológico e Innovación para el Desarrollo Económico de Asturias (Red de Centros SAT) (2016, 20 de Octubre). Los habilitadores digitales de la Industria 4.0. Recuperado de: <http://www.fundacionctic.org/sat/articulo-los-habilitadores-digitales-de-la-industria-40>

Red de Centros de Acompañamiento Tecnológico e Innovación para el Desarrollo Económico de Asturias (Red de Centros SAT) (2016, 30 de Agosto). La Industria 4.0. Aclarando conceptos. Recuperado de: <http://www.fundacionctic.org/sat/articulo-la-industria-40-aclarando-conceptos>

Red Gipuzkoa 4.0 de Fabricación Avanzada. Fabricación Aditiva Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa. Recuperado de: <http://www.gipuzkoa.eus/documents/20933/1883176/DFG-Industria4-0-Caso-Fabricacion-Aditiva-IMH-Esp.pdf>

Red Gipuzkoa 4.0 de Fabricación Avanzada. Fabricación Aditiva Oportunidades y claves para su incorporación en la empresa. Recuperado de: <http://www.gipuzkoa.eus/documents/20933/1883176/DFG-Industria4-0-Caso-Fabricacion-Aditiva-IMH-Esp.pdf>

Renishaw (2015). El método pionero de fabricación aditiva remodela el rostro del paciente. Recuperado de: <http://www.renishaw.es/es/impresion-de-metales-3d--32084>

Renishaw (2015). Evolución digital de la cirugía craneal. Recuperado de: <http://www.renishaw.es/es/impresion-de-metales-3d--32084>

Rick Burke, Adam Mussomeli, Stephen Laaper, Martin Hartigan, Brenna Sniderman (2017, 31 de agosto). The smart Factory. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>

Riera, S. (2017, 10 de Julio). Adaptarse o morir: la industria 4.0 vuelve a poner en jaque al textil. Recuperado de: <https://www.modaes.es/entorno/adaptarse-o-morir-la-industria-40-vuelve-a-poner-en-jaque-al-textil.html>

Riveroll, E. (2017, 3 de Julio). Los desafíos para la industria 4.0. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/los-desafios-para-la-industria-4-0/>

Salinero, Ruiz & Garrido (2016). Un primer acercamiento a la Industria 4.0: propuesta de un modelo y una guía de implantación. (Trabajo fin de máster inédito). Universidad de Sevilla, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, España.

Sarriés, L. (2016, 2 de Julio). El trabajador del futuro en la industria 4.0. Recuperado de: <https://www.negociosennavarra.com/trabajador-del-futuro-la-industria-4-0/>

Saunders, M. (2016, 11 de marzo). Impacto de la fabricación aditiva, 1ª parte: cómo puede transformar la Fabricación aditiva su sector. Recuperado de: <http://www.renishaw.es/es/articulo-impacto-de-la-fabricacion-aditiva-1a-parte-como-puede-transformar-la-fabricacion-aditiva-su-sector--37549>

Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa (2017, 23 de Noviembre). Ayudas a la iniciativa Industria Conectada 4.0. Recuperado de: <http://www.minetad.gob.es/PortalAyudas/IndustriaConectada/Paginas/Index.aspx>

Sinc (2018, 20 de Febrero). Nuevas tecnologías de fabricación aditiva más competitivas y sostenibles. Recuperado de: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Nuevas-tecnologias-de-fabricacion-aditiva-mas-competitivas-y-sostenibles>

Tecnalia. Informe Fábrica del Futuro (FoF). Recuperado el 25 de Abril de 2018 de: <https://www.tecnalia.com/images/stories/Catalogos/informe-fabrica-del-futuro.pdf>

Vaquero, A. (2017, 9 de Octubre). La cuarta revolución industrial y sus efectos sobre el empleo. Recuperado de: <http://www.laregion.es/articulo/euro/cuarta-revolucion-industrial-efectos-empleo/20171009132605740778.html>

Wikipedia. Impresión 3D. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D)

Wikipedia. Recuperado el 25 de Abril de 2018 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Industria\\_4.0](https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0)

Wohlers & Gornet (2016). Wohlers Report 2016. History of additive manufacturing. Recuperado de: <http://www.wohlersassociates.com/history2016.pdf>

World Economic Forum (2016, Enero). The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. Recuperado de: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_FOJ\\_Executive\\_Summary\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_FOJ_Executive_Summary_Jobs.pdf)

---

## Anexos



Anexo A. Prótesis Nextep (2007) de Jannis Breuninger

*Fuente: Malé-Alemaný & Monedero (2015)*



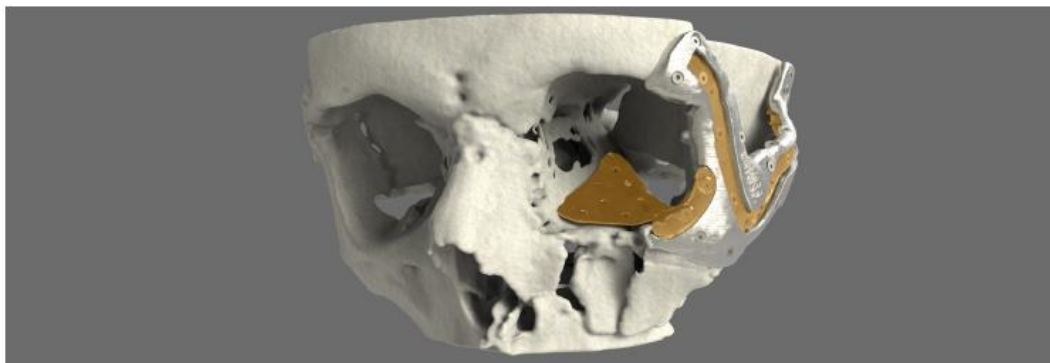
Anexo B. Botas ortopédicas (2008).

*Fuente: Malé-Alemaný & Monedero (2015).*



Anexo C. Protective Sports Mask (2010).

*Fuente: Google imágenes.*



Anexo D. Guía de reposicionamiento con los implantes en su sitio

*Fuente: Renishaw (2015).*



Anexo E. Proyecto Sunglasses (2006) de Kathinka Bryn.

*Fuente: Malé-Alemaný & Monedero (2015).*



Anexo F. Zapatos Head Over Heels (2006) de Sjors Bergmans.

*Fuente: Malé-Alemany & Monedero (2015).*



Anexo G. Nike Zoom Superfly Elite

*Fuente: Impresoras3D (2018).*



Anexo H. Piruletas artesanales diseñadas por Babines.

*Fuente: 3Dnatives (2015).*



Anexo I. Pasteles diseñados por Dinara Kasko.

*Fuente: 3Dnatives (2016).*



Anexo J. Casa impresa en 3D por Be More 3D.

*Fuente: 3Dnatives (2018).*