



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

LAS MANUFACTURAS ESPAÑOLAS ANTE LA  
DENOMINADA INDUSTRIA 4.0

SPANISH MANUFACTURING FIRMS FACING THE  
SO-CALLED INDUSTRY 4.0

Autora

Jhanela M. Chamba Bastidas

Directores

María Jesús Alonso Nuez y Jorge Rosell Martínez

Máster en Dirección, Estrategia y Marketing  
2016-2017

**MÁSTER EN DIRECCIÓN, ESTRATEGIA Y MARKETING  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA.**

**MEMORIA**

**LAS MANUFACTURAS ESPAÑOLAS ANTE LA  
DENOMINADA INDUSTRIA 4.0**

Autora: Jhanela M. Chamba Bastidas

Directores: María Jesús Alonso Nuez y Jorge Rosell Martínez

Fecha: 10 de septiembre de 2017

## INDICE DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN A INDUSTRIA 4.0</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?</b>	<b>6</b>
2.1.	DEFINICIÓN DE INDUSTRIA 4.0	7
2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA 4.0	9
2.3.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INDUSTRIA 4.0	10
2.4.	EL FUTURO DE LA INDUSTRIA 4.0 Y LOS RETOS DE LA FABRICACIÓN INTELIGENTE	12
2.5.	POLÍTICA INDUSTRIAL Y PLANES DE GOBIERNO ORIENTADOS A LA INDUSTRIA 4.0	15
<b>3.</b>	<b>LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS Y LA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE FABRICACIÓN</b>	<b>20</b>
3.1.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL TAMAÑO DE LA EMPRESA	25
3.2.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN LA EDAD DE LA EMPRESA	28
3.3.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN PARTICIPACIÓN DE CAPITAL EXTRANJERO	30
3.4.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL SECTOR DE LA EMPRESA	33
3.5.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN LA TENDENCIA A CAMBIAR EL TIPO DE PRODUCTOS	36
3.6.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL SISTEMA DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA	39
3.7.	IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN Y ESTANDARIZACIÓN DE PRODUCTOS	42
<b>4.</b>	<b>DETERMINANTES DEL GRADO DE ADOPCIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0</b>	<b>45</b>
4.1.	ESTIMACIÓN DEL MODELO Y RESULTADOS	49
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIONES</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>62</b>

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de implantación de tecnologías de SM en empresas españolas entre 1998-2014.....	23
Gráfico 2. Implantación de varias tecnologías de SM en empresas españolas .....	24
Gráfico 3. Implantación de Robótica por tamaño de empresa .....	26
Gráfico 4. Implantación de CC por tamaño de empresa .....	26
Gráfico 5. Implantación de LAN por tamaño de empresa .....	26
Gráfico 9. Implantación de Robótica por edad de la empresa .....	28
Gráfico 10. Implantación de CC por edad de la empresa .....	28
Gráfico 11. Implantación de LAN por edad de la empresa.....	29
Gráfico 12. Implantación de Robótica y capital extranjero de la empresa .....	31
Gráfico 13. Implantación de CC y capital extranjero de la empresa .....	31
Gráfico 14. Implantación de LAN y capital extranjero de la empresa.....	31
Gráfico 15. Implantación de Robótica según sector de actividad .....	34
Gráfico 16. Implantación de CC según sector de actividad.....	34
Gráfico 17. Implantación de LAN según sector de actividad .....	34
Gráfico 18. Implantación de Robótica y cambio en el tipo de productos .....	36
Gráfico 19. Implantación de CC y cambio en el tipo de productos .....	36
Gráfico 20. Implantación de LAN y cambio en el tipo de productos .....	37
Gráfico 21. Implantación de Robótica y sistemas de fabricación .....	39

Gráfico 22. Implantación de CC y sistemas de fabricación .....	39
Gráfico 23. Implantación de LAN y sistemas de fabricación .....	40
Gráfico 24. Implantación de Robótica y estandarización de productos.....	42
Gráfico 25. Implantación de CC y estandarización de productos .....	42
Gráfico 26. Implantación de LAN y estandarización de producto.....	43

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Spearman .....	51
Tabla 2. Logit ordenado. Estimaciones de los coeficientes del modelo para la adopción de Industria 4.0.....	53
Tabla 3. Logit ordenado. Estimaciones de los efectos marginales del modelo para la adopción de Industria 4.0.....	56

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Clasificación de España y benchmark en "Business Usage Index" 18	
Ilustración 2. Áreas prioritarias de inversión en nuevas tecnologías .....	19

## 1. INTRODUCCIÓN A INDUSTRIA 4.0

Actualmente, nos encontramos en la era digital que gira en torno a las nuevas tecnologías e internet y que ha hecho posible el surgimiento, en el ámbito industrial, de una nueva manera de organizar los medios de producción. Este fenómeno de transformación digital, es conocido en algunos países como Industria 4.0, Smart Manufacturing o Internet Industrial, ya que aún no hay un término generalizado para definirlo.

Según algunos expertos de la industria y de la investigación, la próxima revolución industrial vendrá desencadenada por el desarrollo y los avances tecnológicos que surgirán de la manufactura inteligente, lo que supondrá un nuevo cambio de paradigma en la producción industrial (Lasi et al., 2014), sin embargo, algunos países como Alemania ya han propuesto la Industria 4.0 como una cuarta Revolución Industrial (Lee et al., 2014), de ahí su nombre. Lo que está claro, es que esta tecnología se basa en el desarrollo de plantas industriales inteligentes donde se busca maximizar la eficiencia y utilizar la información que hoy en día está disponible para hacer que los procesos y los productos sean lo más flexibles posible. De esta forma, se pretende hacer frente a la demanda cada vez más personalizada del cliente y así poder competir en el mercado.

Estas plantas industriales, están formadas por procesos automatizados e interconectados, que cuentan con tecnologías avanzadas como la robótica, control numérico, diseño por ordenador y redes para la transmisión de datos en tiempo real, y con tecnologías punta más recientes como la realidad aumentada, el almacenamiento en la nube, el Big Data, entre otros (Schmidt et al., 2015, Rüßmann et al., 2015).

Los objetivos de este trabajo son: en primer lugar, estudiar la evolución en la implantación de alguna de estas tecnologías claves de Industria 4.0 en la manufactura española, para dar una noción de qué características tienen las empresas que evolucionan hacia este tipo de industria; y en segundo lugar, analizar cuáles son los determinantes para la implantación de la Industria 4.0 en España. De este modo se pretende ofrecer una idea de cómo estas empresas se pueden enfrentar a los desafíos que ofrece la Industria 4.0, ya que el desarrollo tecnológico llevado a cabo en los últimos años, así como la hiperconectividad y la globalización de la economía están suponiendo grandes oportunidades y retos para la economía española.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en el segundo apartado se revisa el estado del arte de Industria 4.0 y se aporta una visión de los cambios actuales en las manufacturas dentro del devenir histórico de las llamadas “Revoluciones Industriales”. En el tercer apartado se analiza la implantación por parte de las empresas españolas de técnicas avanzadas de fabricación desde el año 1998 hasta 2014, a partir de una base de datos representativa de las empresas españolas y se ofrecerá una primera intuición de las características que tienen las empresas que optan por poner en marcha estas inversiones y su relación con otro tipo de decisiones empresariales.

En el apartado cuarto se pretende demostrar empíricamente cuáles son los determinantes de la implantación de Industria 4.0 en España, a través de modelos econométricos de elección discreta. El trabajo termina con un apartado de conclusiones y contribuciones de este Trabajo Fin de Máster y un resumen de las observaciones más relevantes que, para las empresas, tiene esta investigación.

## **2. ¿QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0?**

A lo largo de la historia han tenido lugar tres Revoluciones Industriales, cada una desencadenada por innovaciones tecnológicas que marcaron grandes cambios en el desarrollo industrial, mejoraron enormemente la productividad de las empresas y promovieron el desarrollo económico a nivel mundial. La primera Revolución Industrial arrancó en 1776 con la aparición de la máquina de vapor, en las fábricas de producción; la Segunda Revolución con el uso de la energía eléctrica en las fábricas y la producción en cadena, adelantos que en 1913 dieron lugar a las cadenas de montaje de Henry Ford (Sachon et al., 2017); y la Tercera Revolución Industrial, vino desencadenada por la aparición de varios avances tecnológicos como el procesador Intel en 1971, la integración de unidades de control de procesos en máquinas y robots, mediante controladores lógicos programables y el control numérico (CNC), (Qian et al., 2017).

Hoy en día contamos en las empresas con procesos con un alto nivel de automatización, con la electrónica y con la incorporación de las tecnologías de la información (IT en adelante). La industria manufacturera al fusionarse con las IT, ha dado lugar a los denominados sistemas ciber-físicos (cyber-physical systems o CPS en inglés) que integran sistemas informáticos, de comunicación y físicos. De este modo se han mejorado los sistemas de ingeniería actuales, que junto a la hiperconectividad y la aparición de nuevas tecnologías, han permitido desarrollar sistemas de fabricación “inteligentes” que pueden verse implementados en empresas de todo el mundo, dando lugar a lo que hoy en día se conoce como Industria 4.0.



## 2.1. DEFINICIÓN DE INDUSTRIA 4.0

Las ideas principales de Industria 4.0 se publicaron por primera vez en el año 2011, como una iniciativa del gobierno alemán, que fue incluida en el Plan de acción estratégico 2020 y que tenía como objetivo mejorar la productividad y eficiencia de la manufactura alemana (Mrugalska & Wyrwicka, 2017). El término de Industria 4.0 se dio a conocer en el año 2014 por la asociación alemana de fabricantes de maquinaria (VDMA), por la asociación digital alemana Bitkom y por la asociación alemana de fabricantes eléctricos y electrónicos ZVEI. Este término hacía referencia a una iniciativa que reflejaba la necesidad de optimizar las cadenas de valor de las empresas a través de la automatización de procesos mediante la utilización de CPS, así como la necesidad de conseguir que la fabricación fuera dinámica, autónoma y totalmente flexible. Es decir, se quería contar con fábricas inteligentes que aportasen la máxima eficiencia a la empresa (Kolberg & Zühlke, 2015).

Algunos autores definen la Industria 4.0 como *“la combinación de fortalezas de la fabricación industrial optimizada con las tecnologías de internet de vanguardia... que consiste en la incorporación de productos inteligentes en procesos digitales y físicos que interactúan entre sí”* (Schmidt et al., 2015, p.1-2).

Otros autores definen la Industria 4.0 como una visión caracterizada por sistemas de producción futuros altamente individualizados, reticulados y flexibles, donde la realidad virtual y física se integran de tal forma que sus diferencias son casi inapreciables (Schuster, et al., 2016, Schlechtendahl et al., 2015) o como, *“la integración de máquinas y dispositivos físicos complejos... utilizados para predecir, controlar y planificar mejores resultados empresariales y sociales”* (Mrugalska & Wyrwicka, 2017, p.469). Además, varios autores mencionan que uno de los puntos clave de la Industria 4.0, es satisfacer la demanda y hacer

frente a las complejidades que se presentan, con los menores costes posibles y con el menor impacto ambiental (Schmidt et al., 2015 y Ganzarain & Errasti, 2016). Es decir, impulsando tecnologías que permitan un alto grado de sostenibilidad (Lasi et al., 2014 y Kagermann, 2015).

Como se mencionaba anteriormente, la Industria 4.0 es considerada como una visión hacia una cuarta oleada del avance tecnológico. De este modo, el término fue establecido ex ante en Alemania para abrir una vía a una “planeada cuarta Revolución Industrial”, con el objetivo de poner en marcha las llamadas “fábricas inteligentes” o “fábricas del futuro” (Lasi et al., 2014, Rüßmann et al., 2015). Sin embargo, no se puede asegurar si nos encontramos ante una tercera Revolución Industrial “mejorada” por la aparición de diversas tecnologías, que como se sabe, están marcando un cambio tecnológico muy fuerte, o si ya nos encontramos ante una cuarta Revolución Industrial. Será el paso de los años el que marque inequívocamente la transición histórica de las Revoluciones Industriales.

De acuerdo a esto, cabe mencionar que las definiciones recogidas en este trabajo, no representan una realidad consolidada y experimentada sino más bien, un nuevo hito en el desarrollo industrial que marcará importantes cambios sociales en los próximos años.

Por último, se debe tener en cuenta que este concepto no solo es conocido como Industria 4.0. Así por ejemplo, en Estados Unidos, este término fue acuñado como “Internet Industrial” o “Smart Manufacturing” (Schmidt et al., 2015); en Europa, también se utilizan otros términos como “Fábricas del futuro” o “Advanced Manufacturing”; en China, se utiliza el término “Internet +” (Mrugalska & Wyrwicka, 2017), y en la República de Corea habla de “Manufacturing Innovation 3.0” (Jun et al., 2017); por lo que a pesar del gran interés que tiene

la Industria 4.0 en todo el mundo, no hay una definición comúnmente aceptada para hacer referencia a este término.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA 4.0

Este cambio de paradigma en la producción industrial está caracterizado por sistemas de producción modulares y eficientes que permitirán aumentar la productividad, fomentar el crecimiento industrial y cambiar la competitividad de las empresas. De esta forma, la Industria 4.0 tiene como objetivo aportar una mayor flexibilidad y rapidez, así como mejorar la productividad y calidad de los procesos productivos mediante la creación de fábricas de producción inteligentes. Esto a su vez dará pie a la creación de nuevos modelos de negocio hasta ahora inconcebibles (Ganzarain & Errasti, 2016); a nuevos niveles de organización y de gestión de la cadena de valor a través del ciclo de vida de los productos, que cada vez tienden a ser más cortos (Mrugalska & Wyrwicka, 2017); a la personalización masiva de los productos mediante la reducción del tamaño de los lotes de fabricación (Schlechtendahl et al., 2015); y la creación de entornos cada vez más digitalizados.

Las fábricas inteligentes están compuestas por tecnologías avanzadas que permiten recoger y analizar los datos generados por las máquinas, para obtener procesos más rápidos, flexibles y con menos errores, además de poder fabricar productos de mayor calidad y con menores costes (Lasi et al., 2014 ). Estas Tecnologías de Manufactura Avanzada (Advanced Manufacturing Technologies o ATM) están formadas por un conjunto de tecnologías que abarcan el diseño, planeación, ejecución y control de operaciones. Ejemplos de estas pueden ser el diseño y manufactura asistidos por ordenador (Computer Aided Design o CAD y Computer Aided Manufacturing o CAM), el intercambio de datos electrónico (Electronic Data Interchange oEDI), la robotización y automatización de procesos, el uso de sistemas de

manufactura flexible (Flexible Manufacturing Systems o FMS), las redes de integración de datos en fabricación que permitirán desarrollar cadenas de valor automatizadas, así como tecnologías más recientes como la realidad aumentada, el almacenamiento en la nube, Big Data, el Internet de las cosas, entre otros, (Moyano-Fuentes et al., 2016, Kang et al., 2016).

Como mencionan algunos autores, las fabricas inteligentes tienen la capacidad para prever futuros productos y responder a variedad y complejidad con bajos costes y bajo impacto ambiental, (Herrmann et al., 2014), y además de integrar objetos físicos, personas, máquinas inteligentes y procesos para formar una cadena de valor inteligente, interconectada y ágil (Ganzarain y Errasti, 2016).

Por lo tanto, se puede decir que la Industria 4.0 cambiará el diseño, la fabricación, la operación y el servicio de los productos. La conectividad y la interacción entre máquinas y personas permitirán que el sistema de producción sea más rápido y eficiente y favorezca la personalización de productos y servicios para lograr una mayor adaptación a las necesidades del cliente.

### 2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA INDUSTRIA 4.0

El aumento de la productividad, de la calidad del producto y de la reducción de costes se verán reflejadas en el aumento de ingresos de todas las empresas, especialmente en los fabricantes de equipos y nuevas aplicaciones tecnológicas. El consumidor tendrá a mano una mayor gama de productos y servicios cada vez más personalizados, que satisfarán sus necesidades aumentando así la demanda de los mismos. Por otro lado, también favorecerá el empleo de profesionales de algunos sectores como ingeniería mecánica, mecatrónica y

desarrollo de software y tecnologías IT, capaces de desarrollar dichos equipos (Rüßmann et al., 2015).

Otra de las ventajas de la Industria 4.0 es que permite la integración con otros sectores e industrias, así como el desarrollo de procesos de creación de valor, métodos y plataformas innovadoras para la planificación, desarrollo de sistemas de fabricación y transferencia de datos (Lasi et al., 2014). Pero también se debe tener en cuenta que no todo son ventajas, ya que la Industria 4.0 puede requerir que las empresas realicen inversiones considerables para poder adaptar sus procesos productivos tanto en maquinaria, nuevos sistemas de IT, recursos humanos, formación...etc. El proceso de adaptación será complejo y en este se verá implicada toda la cadena de valor ya que los productos, procesos de producción automatizados y sistemas de comunicación se optimizarán mediante sistemas informáticos integrados con todos los stakeholders, de tal forma que las decisiones puedan ser tomadas de manera autónoma y eficiente tanto dentro como fuera de la empresa (Lee et al., 2014). Por otra parte, el perfil del trabajador también cambiará, ya que se necesitarán conocimientos y habilidades especiales, para hacer frente a las actividades más complejas y menos repetitivas propias de la Industria 4.0 (Rüßmann et al., 2015).

Algunas encuestas realizadas a expertos de las pequeñas empresas muestran la preocupación por la garantía y certificación de los productos personalizados, ya que no es económico realizar pruebas extensas a productos individuales. También opinan que los fabricantes de maquinaria y tecnologías todavía no cuentan con la experiencia en términos de seguridad y fallo de los componentes, por lo que resulta arriesgado llevar a cabo este tipo de inversiones. Además, mencionan que para lograr la flexibilidad total en la cadena de valor se precisa que la información sea accesible en todas las redes colaborativas posibles, lo que puede

acarrear varios conflictos, ya que las empresas normalmente no están dispuestas a revelar información sobre sus procesos productivos ni información interna de la empresa, ya que se puede ver afectada su posición negociadora, evidenciándose así una falta de confianza que las empresas deben superar previamente (Brettel et al., 2014).

Por último, cabe mencionar que un desafío cada vez más grande para la producción inteligente es que los fabricantes necesitan tener conocimientos técnicos avanzados para poder utilizar las nuevas tecnologías y mejorar los sistemas dentro de las empresas. Estas se encontrarán con grandes barreras para implementar las tecnologías y tendrán que invertir una gran cantidad de recursos en capacitación, seguridad cibernética, funcionamiento del nuevo entorno de fabricación y protocolos instaurados por la empresa (Helu et al., 2015).

## 2.4. EL FUTURO DE LA INDUSTRIA 4.0 Y LOS RETOS DE LA FABRICACIÓN INTELIGENTE

La Industria 4.0 se puede describir como un proyecto futuro que inducirá una gran cantidad de cambios económicos, políticos y sociales, provocados por el gran impulso tecnológico que se ha llevado a cabo en los últimos años en la industria manufacturera a nivel mundial (Lasi et al., 2014).

Estos avances tecnológicos se aprecian de manera más clara, en la aparición de “productos inteligentes” como los smartphones, apps o impresoras 3D, que en la evolución de las fábricas hacia la “manufactura inteligente”. Sin embargo, la naturaleza cambiante de los productos también afecta a la cadena de valor, ya que las empresas tienen que adaptar sus procesos productivos y adaptar sus métodos y estrategias para hacer frente a las nuevas oportunidades competitivas y amenazas que se presentan. Se puede decir que de igual manera

que se han desarrollado los “productos inteligentes”, se hace evidente el desarrollo de las industrias y la creación de estructuras organizacionales e infraestructuras tecnológicas totalmente nuevas, que hará que las empresas se replanteen en qué tipo de negocio se encuentran y cuáles son los nuevos límites de la industria (Porter & Heppelmann, 2014).

La industria está a punto de experimentar una gran disrupción, ya que las nuevas tecnologías de fabricación y proceso aumentan la flexibilidad y eficiencia de la empresa; y los nuevos modelos de negocio se están centrando en la creación de valor para el cliente (Sachon et al., 2017). De hecho, uno de los temas clave en el desarrollo de la Industria 4.0, es cómo resolver los desafíos que esta presenta, en cuanto a la obtención de dicha flexibilidad. Esta se verá marcada por los cambios en los modos de producción, a través del lanzamiento de nuevos productos, el cambio en el tipo de productos que se ofrece, la fabricación en lotes cada vez más pequeños y la personalización de los productos, aspectos que se estudiarán en los siguientes apartados de este trabajo.

Por otra parte, también está muy en boga el estudio de la ciberseguridad, un tema relevante en este entorno cada vez más interconectado, donde las fábricas de producción están conectadas en línea y el control de la producción se puede realizar desde un dispositivo móvil (Sachon et al., 2017). Este tipo de sistemas son muy vulnerables en el sentido que la empresa está más expuesta a sufrir ciberataques y la pérdida de datos de gran valor para la empresa.

En cuanto a los retos a los que se enfrenta la empresa, se sabe que estas están compitiendo en un mercado global que exige la excelencia en la calidad y el servicio, agilidad y tiempos de respuesta cortos, por lo que el principal reto de la fabricación inteligente, es mejorar el dinamismo de los sistemas de producción así como la rapidez de adaptación y eficacia de los recursos (Wang & Shih, 2016). De esta forma, la Industria 4.0 está basada en el

desarrollo de sistemas autónomos e inteligentes que permiten gestionar los recursos, así como simular, optimizar y controlar los procesos.

De hecho, algunos autores, han marcado las fases para hacer frente a los desafíos de la Industria 4.0: en primer lugar, conseguir la integración y optimización de toda la fábrica de producción con la ayuda de la automatización de procesos y los sistemas cibernéticos (CPS), sin que esta afecte a las relaciones comerciales y estratégicas que tiene la empresa; en segundo lugar, se debe explotar la inteligencia de fabricación al máximo adaptándola a las necesidades de cada empresa; y en tercer lugar, las empresas deben trabajar en la creación de modelos de negocio disruptivos (Bogle, 2017). Según este autor, la primera fase ya está en marcha, pero la segunda y la tercera todavía suponen grandes retos para la industria.

En conclusión, se puede decir que la Industria 4.0 está siendo percibida como una estrategia que permite a la empresa ser competitiva en el futuro (Mrugalska & Wyrwicka, 2017) y aunque es evidente que aún quedan grandes retos por superar, las empresas cada vez están más preparadas para afrontar los desafíos que se presentan. Como mencionan algunos autores, *“la Industria 4.0 no consiste en construir la fábrica del futuro, sino la que tiene futuro”* (Sachon et al., 2017, p.14).



## 2.5. POLÍTICA INDUSTRIAL Y PLANES DE GOBIERNO ORIENTADOS A LA INDUSTRIA 4.0

Aunque el concepto de Industria 4.0 nació en Alemania, varios países como Estados Unidos, China o Reino Unido han lanzado planes estratégicos en el que pretenden dar un giro a las prácticas de fabricación actuales, diseñando un modo de fabricación inteligente que permita impulsar el crecimiento económico del país. A continuación, se hace un breve análisis de las políticas industriales orientadas a la Industria 4.0 que se han llevado a cabo en algunos países en los últimos años.

Alemania es considerado como uno de los países precursores en la transformación digital de la industria. En el año 2006, propuso la “High-Tech Strategy” donde se marcaron objetivos para mejorar la productividad a través de la digitalización de los procesos industriales. Más adelante, en el año 2011, se lanzó el plan de “Industria 4.0” con el mismo objetivo. Estas iniciativas del gobierno alemán junto a varias asociaciones de empresas manufactureras, se encuentran reflejadas en el Plan de acción estratégico 2020 y se estima que para entonces, se conseguirá alcanzar en Alemania, un incremento de la productividad entre el 15%-25% , un aumento del 1% del PIB y un crecimiento de empleo del 6% (Rüßmann et al., 2015).

Por otra parte, Estados Unidos lanzó un plan denominado “Advanced Manufacturing” en el año 2010, con el fin de impulsar el desarrollo de la industria hacia la transformación digital. Para ello, se crearon unos institutos llamados IMIs (Institutes for Manufacturing Innovation) destinados a la investigación, desarrollo e implantación de tecnologías avanzadas. Más adelante, en el año 2012, la US Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC en adelante), lanzó un programa para desarrollar un nuevo paradigma de fabricación e impulsar la competitividad industrial en Estados Unidos a partir de estas tecnologías (Qian et al., 2017).

La SMLC, junto a la colaboración de empresas líderes de la industria manufacturera, consorcios y el gobierno estadounidense, fue fundada para que las empresas pudieran superar los costes y riesgos asociados a la comercialización de los sistemas de manufactura inteligente y así, incorporarlos más rápidamente a sus procesos. De esta forma, la SMLC compartía prácticas y tecnologías avanzadas, desarrollaba e implementaba proyectos de I+D y contaba con plataformas prototipo y bancos de pruebas para realizar ensayos con sistemas de manufactura inteligente (SM), que posteriormente las empresas podían implantar en sus procesos. Además, estas tenían la oportunidad de llevar a cabo alianzas y proyectos con otras empresas de cualquier tamaño, y tenían facilidades para obtener ayudas del gobierno.

Por otro lado, el gobierno francés lanzó en el año 2006 una iniciativa llamada “Pôles de Competitivité” con el objetivo de impulsar la innovación tecnológica y la capacidad competitiva del país. Más adelante, en el año 2013 también lanzó una iniciativa llamada “La Nouvelle France Industrielle” que consiste en treinta y cuatro planes de actuación y la identificación de tecnologías avanzadas para implantar en una nueva política industrial (Industria Conectada 4.0, 2017).

En el año 2015 en China, se presentó la estrategia “Made in China 2025”, como una iniciativa basada en el plan alemán de Industria 4.0. Esta propuesta fue presentada por el Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información del gobierno chino (MIIT) y la colaboración de 150 expertos de la “China Academy of Engineering”. El objetivo general de esta iniciativa era hacer que la fabricación estuviera basada en I+D, calidad, protección del medioambiente, talento humano y el objetivo específico, era poder optimizar la estructura de la industria china, aumentando a un 40% la fabricación de componentes y materiales básicos en el año 2020 (Made in China 2025, 2016).

En los Países Bajos se lanzó una iniciativa llamada “Smart Industry” en el año 2014, que tenía como objetivo la digitalización de la industria y el desarrollo del conocimiento a través de estudios de campo o “field labs” y a nivel más global, la Comisión Europea elaboró recomendaciones e iniciativas en el “Marco Europa 2020” con el objetivo de conseguir que la manufactura europea represente un 20% del PIB de Europa (Industria Conectada 4.0, 2017).

Finalmente y haciendo especial énfasis en España, mencionar que a pesar de sus esfuerzos por digitalizar la industria en los últimos años, aún no cuenta con un nivel avanzado de digitalización. Tal vez debido a la falta de cultura digital y formación, por la resistencia al cambio, por la falta de talento o por el desconocimiento de los beneficios económicos de invertir en las tecnologías digitales. Aunque, se observa que cada vez más, las empresas están poniendo en marcha una transformación digital hacia la Industria 4.0, y algunos sectores como los de automoción y electrónica, parece que van a experimentar una profunda transformación digital a nivel mundial en los próximos años (Industry 4.0, 2017).

Concretamente, en el año 2014 se puso en marcha en España una iniciativa denominada “Industria Conectada 4.0”, promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR) en colaboración con el Banco Santander, Telefónica y el grupo Indra. El objetivo de este proyecto era aumentar la contribución del sector industrial en el PIB y en el empleo mediante el impulso de la transformación digital de la industria española.

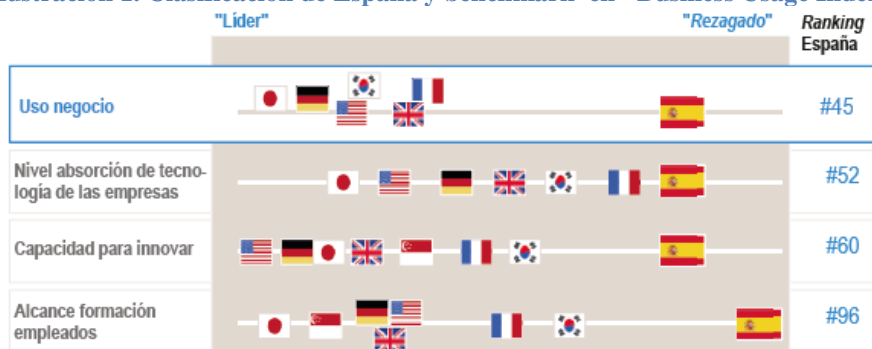
En el informe de esta iniciativa, D. José Manuel Soria, ministro de Industria, Energía y Turismo de España, mencionó que: *“El desarrollo digital avanza de manera exponencial y por tanto no hay tiempo que perder. Quienes se adapten serán más competitivos y productivos. Quienes no lo hagan, quedarán rezagados”*(Industria Conectada 4.0, 2017, p. 3). Por lo tanto, lo que se puede decir a día de hoy, es que España está evolucionando y tiene como objetivo

posicionarse como un sector fuerte y competitivo a nivel internacional, y aunque en las últimas décadas se han producido grandes progresos y mejoras significativas en los procesos industriales, la transformación digital supondrá un gran desafío para la industria española.

En el año 2015, la consultoría Roland Berger con el patrocinio de Siemens y la colaboración del Instituto alemán de tecnología de la producción y automatización (IPA) realizó un estudio denominado “España 4.0: el reto de la transformación digital de la economía”. En él se estimó que el impacto positivo en el valor añadido bruto de la digitalización en la industria manufacturera en España, será de 120.000 millones de euros para el año 2025.

En este estudio también se incorporaron unos índices que mostraban el uso de la tecnología digital a nivel mundial por parte de las empresas (Business Usage Index), índices que aparecieron en el “Informe Global de Tecnología de la Información” del Foro Económico Mundial (World Economic Forum, WEF) o Foro de Davos, del año 2015. En la Ilustración 1, se puede ver que España se posiciona en unos puestos bastante “discretos”, ya que se encuentra en el puesto 45 a nivel mundial en el uso de tecnologías digitales, en el puesto 52 en cuanto al nivel de absorción de tecnologías, en el puesto 60 en su capacidad para innovar y en el puesto 96 en el alcance de formación a empleados.

**Ilustración 1. Clasificación de España y benchmark en "Business Usage Index"**

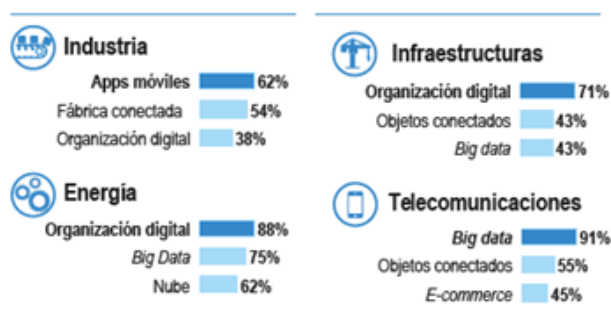


Fuente: Modificado a partir de Informe Global de Tecnologías de la Información (2015) del Fondo Monetario Internacional y Roland Berger

Por otro lado, se estimaron cuáles iban a ser las principales áreas de inversión digital en España a través de un cuestionario de digitalización realizado en el año 2015, a altos cargos directivos de una muestra seleccionada de empresas españolas (ver Ilustración 2). En él, se observa que el 54% de las empresas manufactureras tienen la intención de invertir en el futuro, en la implantación de una fábrica conectada, es decir, Industria 4.0 y el 38% de las empresas quieren contar con un sistema de organización digital, es decir, digitalizar los procesos, gestiones y métodos de la empresa. Este último porcentaje se incrementa hasta un 88% en el caso de las empresas pertenecientes al sector de la energía. Este último sector pretende además incorporar, en el futuro, otras herramientas como el Big Data y la Nube.

Los sectores de Infraestructuras y Telecomunicaciones, muestran también interés por los objetos conectados, lo que se conoce como el Internet de las cosas.

**Ilustración 2. Áreas prioritarias de inversión en nuevas tecnologías**



Fuente: Modificado a partir de Roland Berger- Cuestionario de Digitalización 2015

En conclusión, la digitalización de la industria está siendo una revolución en el paradigma de la fabricación industrial. La globalización, la hiperconectividad y la demanda cada vez más exigente, han hecho que sea necesario para las empresas contar con procesos digitalizados ya que de lo contrario, se ve afectada su competitividad, su posicionamiento y su cuota de mercado (España 4.0, 2016).

### **3. LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS Y LA IMPLANTACIÓN DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE FABRICACIÓN**

La base de datos elaborada en este trabajo se obtuvo a partir de la Encuesta Sobre Estrategias Empresariales (ESEE). Dicha encuesta la elabora la Fundación SEPI con el objetivo de generar información con una estructura de panel. La población de referencia de la ESEE son las empresas con 10 o más trabajadores, de lo que se conoce habitualmente como industria manufacturera. El ámbito geográfico de referencia es el conjunto del territorio nacional y las variables tienen una dimensión temporal anual. En la ESEE, la selección inicial de empresas se realizó combinando criterios de exhaustividad y de muestreo aleatorio. En el primer grupo se incluyeron las empresas de más de 200 trabajadores, a las que se requirió su participación. El segundo grupo quedó formado por las empresas con empleo comprendido entre 10 y 200 trabajadores, que fueron seleccionadas por muestreo estratificado, proporcional con restricciones y sistemático con arranque aleatorio. Cada año se incorpora a la encuesta todas las empresas de nueva creación mayores de 200 trabajadores y una muestra seleccionada aleatoriamente que representa el 5% de las empresas nuevas entre 10 y 200 trabajadores. La ESEE está orientada a captar información acerca de las estrategias de las empresas, es decir, relativas a aquellas decisiones que adoptan sobre los instrumentos de competencia a su alcance.

El panel resultante para esta investigación consta de 5304 empresas manufactureras españolas presentes en ESEE. Esta encuesta contiene algunas preguntas que nos permiten saber si las empresas analizadas hacen uso de ciertas tecnologías encaminadas hacia procesos de producción inteligentes, y por tanto, analizar su evolución en el período de estudio analizado que comprende de 1998 a 2014. Cabe mencionar que se ha tomado un panel no equilibrado de

5304 empresas de las cuales un promedio de 1500 empresas encuestadas contestan cada año y reflejan los resultados obtenidos en este análisis.

La ESEE dispone de información sobre la implantación de cinco tecnologías en el ámbito de la fabricación, que son:

1. Robótica: Implantación de maquinaria automática programable en los procesos productivos de la empresa que permite realizar operaciones de manera autónoma, evitando la realización de tareas repetitivas, pesadas y peligrosas, aportando una mayor eficiencia a la actividad de la empresa.
2. Ordenador central (CC): hace referencia a la utilización de Robótica, diseño asistido por ordenador (CAD) o sistemas de control numérico (CNC) de manera combinada mediante la utilización de un ordenador central de tal manera que exista compatibilidad entre estas tecnologías y transferencia de información en tiempo real. Se pueden ver en sistemas de fabricación integrados a través de un ordenador.
3. Red de área local (LAN) en actividades de fabricación: consiste en la utilización de una serie de ordenadores instalados en la planta de producción de la empresa y que se encuentran interconectados entre sí a través de la red, de tal forma que permite la transferencia de información en tiempo real entre los diferentes puestos de producción, así como la minimización de errores y asimetrías de información entre el personal de la fábrica.
4. Control numérico por ordenador (CNC): consiste en la utilización de máquinas herramientas accionadas por un sistema de automatización mediante comandos programados en un medio de almacenamiento como puede ser un ordenador.

5. Diseño asistido por ordenador (CAD): hace referencia a la utilización de programas de dibujo en 2D y modelado en 3D que permiten diseñar piezas de productos, herramientas y maquinaria que intervienen en el proceso de producción.

De estas cinco tecnologías, tanto la utilización de CNC como CAD fueron descartadas como objeto de análisis debido a que son tecnologías tan comúnmente establecidas en las empresas que su implantación, en las empresas manufactureras en el período de estudio analizado, es apenas apreciable. La existencia de CAD y CNC en las empresas data de los años 50 por lo que es normal que hoy en día casi todas las empresas manufactureras que tengan que fabricar piezas en sus instalaciones posean ordenadores con software de diseño en 2D o 3D y máquinas de control numérico que les permita diseñar y fabricar de manera fácil y rápida los productos más especiales. Por otra parte, aunque la robótica es una tecnología muy antigua, su implantación sí ha evolucionado con el tiempo ya que al principio las empresas empleaban robots para ejecutar tareas complejas, pero hoy en día los procesos están cada vez más automatizados, tanto en actividades complejas como de fácil ejecución. Con el tiempo, la robotización va siendo más accesible e implantada en las empresas ya que hace que los procesos productivos sean más eficientes.

Aunque no cabe duda que las tecnologías CAD y CNC también se han desarrollado mucho en los últimos años, lo que resulta de interés en este estudio es saber cómo estas dos tecnologías con el tiempo han ido evolucionando hacia la manufactura inteligente, y este efecto ya queda recogido en la utilización de ordenadores centrales (CC), tecnología que permite la interconexión entre herramientas como CAD, CNC y Robótica, la transferencia de información en tiempo real, y la reducción de errores en su utilización.

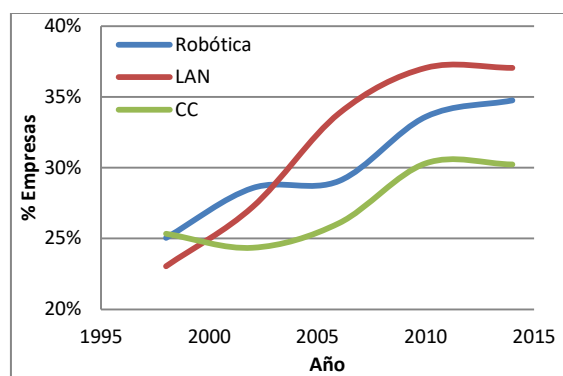


Las empresas españolas y la implantación de tecnologías  
avanzadas de fabricación

La siguiente tabla muestra la implantación de Robótica, ordenadores centrales (CC) y redes LAN en las empresas españolas así como su evolución en el tiempo:

**Gráfico 1. Porcentaje de implantación de tecnologías de SM en empresas españolas entre 1998-2014**

AÑO	ROBÓTICA	CC	LAN
1998	25%	25%	23%
2002	29%	24%	27%
2006	29%	26%	34%
2010	34%	30%	37%
2014	35%	30%	37%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

En el año 2014, alrededor de un tercio del total empresas afirma tener implantada al menos una de estas tres tecnologías. En mayor medida, las redes LAN están implantadas en los procesos de fabricación en el 37 por ciento de las empresas manufactureras españolas. La tecnología menos implantada es la del ordenador central en fabricación, con un 30 por ciento de las empresas.

Además, se puede apreciar una tendencia positiva en el uso de estas tecnologías, sobretodo en la implantación de redes LAN en las actividades de fabricación, que ha aumentado en 14 puntos porcentuales en los últimos 17 años. El uso de robótica en las empresas ha aumentado en diez puntos y el de ordenadores centrales para combinar procesos de CAD, CNC y Robótica, en cinco puntos.

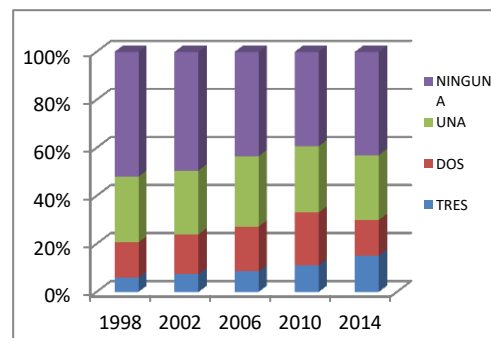
Con el tiempo, las empresas tienden a implantar más de dos tecnologías a la vez en sus procesos productivos, aspecto interesante a la hora de estudiar si las empresas manufactureras españolas se van adaptando a los procesos de manufactura inteligente, ya que uno de los

aspectos clave de esta es la combinación e interconectividad de varias tecnologías, de tal forma que se pueda transferir los datos en tiempo (Lasi et al., 2014; Schmidt et al., 2015), y por lo tanto, se pueda lograr una mayor eficiencia en la producción.

A continuación, se analiza en qué medida las empresas españolas cuentan con varias tecnologías a la vez en sus procesos productivos, así como su evolución en el tiempo. Los resultados son los siguientes:

**Gráfico 2. Implantación de varias tecnologías de SM en empresas españolas**

AÑO	TRES	DOS	UNA	NINGUNA	% TOTAL	TOTAL
1998	6%	15%	27%	52%	100%	1328
2002	7%	17%	27%	49%	100%	1145
2006	9%	19%	29%	43%	100%	1381
2010	11%	22%	28%	39%	100%	1330
2014	15%	15%	27%	43%	100%	1525



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Se puede observar que cada vez es más habitual que las empresas españolas cuenten con las tres tecnologías a la vez, con un aumento de nueve puntos porcentuales entre 1998 y 2014. Sin embargo, en el último año de estudio, todavía el 43% del total de empresas<sup>1</sup> no cuentan con ninguna de estas tres tecnologías, un porcentaje considerable que muestra el poco desarrollo de las tecnologías de manufactura en España, aunque se puede observar que este comportamiento tiende a reducirse con el tiempo.

<sup>1</sup> Total de empresas que contestaron exclusivamente que sí cuentan con un número de tecnologías determinado, quedando excluidas las empresas que dejaron la respuesta en blanco o NS/NC

El porcentaje de empresas que cuentan con dos tecnologías ha aumentado hasta 2010 en torno a 7 puntos, aunque hasta 2014 disminuye nuevamente. El porcentaje de empresas que solamente cuentan con una de las tecnologías parece no haber variado notablemente en el período de estudio considerado y representa alrededor del 27% de las empresas. Esto indica que el aumento en la implantación de las tecnologías, analizadas individualmente en el Gráfico 1, corresponde a empresas que generalmente cuentan con más de una tecnología instalada en su proceso productivo.

A continuación, se realiza un análisis más detallado donde se pretende estudiar la implantación de las tres tecnologías en las empresas atendiendo a distintas características de la estructura empresarial de la muestra entre los años 1998 y 2014. Todas las categorías de estudio constan de un número representativo de empresas que permitirán analizar la tasa de penetración de las tecnologías atendiendo a cada una de ellas y en cada año de estudio.

### 3.1. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL TAMAÑO DE LA EMPRESA

Para clasificar las distintas empresas de la muestra según su tamaño, se toma el número de empleados de cada una de ellas haciendo referencia a la clasificación 2003/361CE recomendada por la Unión Europea<sup>2</sup>. En las siguientes tablas se puede observar cómo ha

---

<sup>2</sup> Clasificación 2003/61/CE del tamaño de empresas atendiendo al número de empleados:

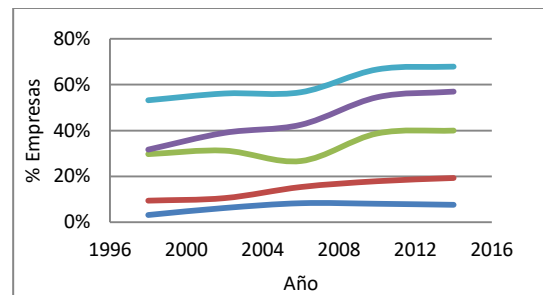
- Microempresas ( 1 a 9 empleados)
- Pequeñas empresas (10 a 49 empleados)
- Medianas empresas (50 a 249 empleados). En este trabajo se ha considerado conveniente realizar una subdivisión en esta categoría (50 a 149 empleados; 150 a 249 empleados)
- Grandes empresas (más de 250 empleados)

evolucionado la implantación de Robótica, CC y redes LAN para los distintos tamaños de las empresas españolas entre los años 1998 y 2014.

**Gráfico 3. Implantación de Robótica por tamaño de empresa**

Tamaño de empresa y Robótica					
nºemp	<9	10-49	50-149	150-249	>250
1998	3%	9%	30%	32%	53%
2002	6%	11%	31%	39%	56%
2006	8%	15%	27%	43%	57%
2010	8%	18%	39%	55%	67%
2014	8%	19%	40%	57%	68%

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

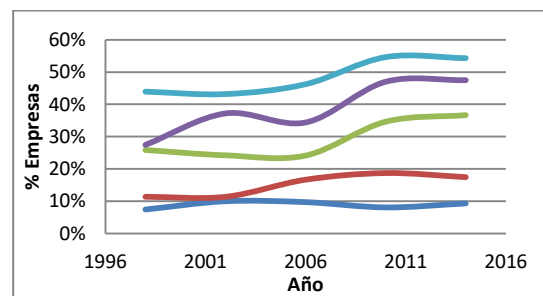


— <9 — 10-49 — 50-149 — 150-249 — >250

**Gráfico 4. Implantación de CC por tamaño de empresa**

Tamaño de empresa y CC					
nºemp	<9	10-49	50-149	150-249	>250
1998	7%	11%	26%	27%	44%
2002	10%	11%	24%	37%	43%
2006	10%	17%	24%	34%	46%
2010	8%	19%	35%	47%	55%
2014	9%	17%	37%	47%	54%

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

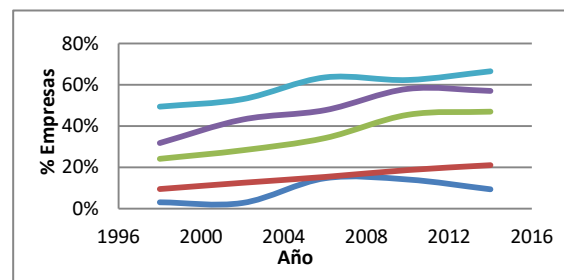


— <9 — 10-49 — 50-149 — 150-249 — >250

**Gráfico 5. Implantación de LAN por tamaño de empresa**

Tamaño de empresa y LAN					
nºemp	<9	10-49	50-149	150-249	>250
1998	3%	9%	24%	32%	49%
2002	3%	12%	28%	43%	53%
2006	15%	15%	34%	48%	64%
2010	14%	19%	45%	58%	62%
2014	9%	21%	47%	57%	67%

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia



— <9 — 10-49 — 50-149 — 150-249 — >250

---

Las empresas españolas y la implantación de tecnologías  
avanzadas de fabricación

Se puede observar que las empresas grandes, es decir, las que cuentan con más de 250 empleados son las que tienen implantadas en mayor medida las tres tecnologías en sus procesos de producción. Las empresas grandes que tienen Robótica han aumentado 15 puntos porcentuales entre 1998 y 2014, y en el caso de CC y LAN, 10 y 18 puntos respectivamente. Además, hay una diferencia considerable respecto a las empresas pequeñas, ya que del total de empresas grandes que contestaron a la encuesta, el 68% cuenta con robótica a diferencia de las empresas pequeñas de las cuales, solo el 8% tienen implantadas esta tecnología. Del mismo modo, en el caso de la implantación de Ordenadores centrales hay una diferencia del 54% de empresas grandes que cuentan con esta tecnología, frente al 9% en empresas pequeñas; y en la implantación de redes LAN, esta diferencia es del 67% frente al 9%.

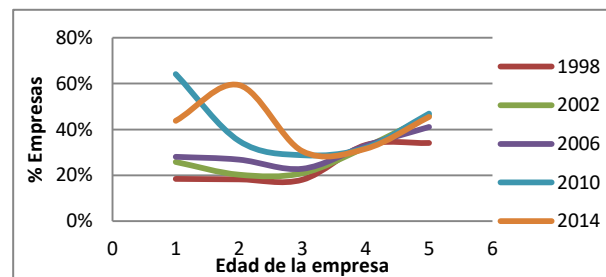
Los resultados muestran que las empresas españolas de mayor tamaño son las que tienen más predisposición a invertir en este tipo de tecnologías, seguramente por su mayor dotación de recursos y capacidad para invertir en proyectos de innovación, ya que las empresas más pequeñas, a menudo no pueden permitirse tener departamentos independientes para trabajar en la conectividad entre tecnologías, virtualización y simulación de procesos (Brettel et al., 2014).

### 3.2. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN LA EDAD DE LA EMPRESA

En este apartado se pretende estudiar cómo ha evolucionado la implantación de Robótica, CC y redes LAN, atendiendo a la antigüedad de la empresa. Dado que las empresas cada día se van renovando y sienten la necesidad de adaptar sus procesos a las demandas cada vez más personalizadas y sistemas de fabricación más flexibles (Schmidt et al., 2015), se espera que las empresas jóvenes ya cuenten con estas tecnologías y que las empresas más antiguas las vayan incorporando con el tiempo. Los resultados han sido los siguientes:

**Gráfico 6. Implantación de Robótica por edad de la empresa**

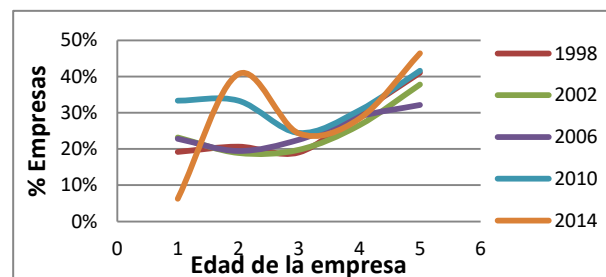
Edad de la empresa y Robótica					
Años	0-4	5-9	10-19	20-49	>50
1998	18%	18%	18%	33%	34%
2002	26%	20%	21%	32%	46%
2006	28%	27%	23%	33%	41%
2010	64%	35%	29%	32%	47%
2014	44%	59%	31%	32%	45%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 7. Implantación de CC por edad de la empresa**

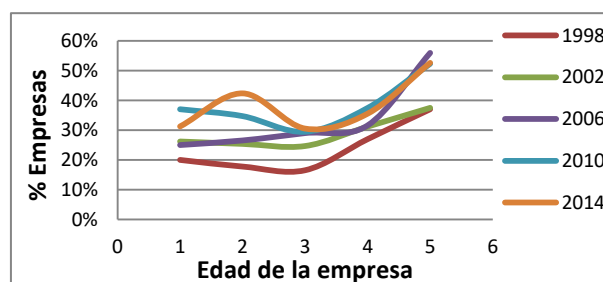
Edad de la empresa y CC					
Años	0-4	5-9	10-19	20-49	>50
1998	19%	21%	19%	30%	41%
2002	23%	19%	20%	27%	38%
2006	23%	19%	23%	29%	32%
2010	33%	33%	24%	31%	42%
2014	6%	41%	24%	28%	46%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 8. Implantación de LAN por edad de la empresa**

Edad de la empresa y LAN					
Años	0-4	5-9	10-19	20-49	>50
1998	20%	18%	17%	27%	37%
2002	26%	25%	25%	31%	38%
2006	25%	27%	29%	32%	56%
2010	37%	35%	29%	37%	52%
2014	31%	42%	31%	36%	53%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

En general, se observa una tendencia positiva en la implantación de las tres tecnologías, con un mayor énfasis en las empresas con más de 50 años de antigüedad, ya que las que cuentan con robótica en sus procesos, representan el 45% del total de empresas en el año 2014, y el 46% y 53% de estas empresas tienen implantados Ordenadores centrales y redes LAN, respectivamente. Esto se puede deber a que estas empresas seguramente se han visto obligadas a renovar sus procesos de producción, al quedar obsoletos después de tantos años y deciden implantar tecnologías avanzadas de fabricación.

También se observa un pico en las empresas más jóvenes (entre 0 y 4 años de antigüedad) que contestaron la encuesta en el año 2010. Puede ser que las empresas de reciente creación opten por instalar desde el primer momento tecnologías lo suficientemente modernas para que el proceso sea igual o más eficiente que el de sus competidores, durante el máximo tiempo posible. Estas empresas serían las mismas que en el año 2014 tienen entre 5 y 9 años de antigüedad, y que describen otro pico en color naranja en las gráficas.

Por último, se observa que los resultados de las empresas con menos de cinco años de antigüedad y en el año 2014 no siguen una tendencia natural ya que cabría esperar que las empresas más jóvenes tengan implantadas estas tecnologías de la misma forma que lo hicieron

las empresas del año 2010 cuatro años atrás. Este resultado se puede deber a que en la base de datos de 2014 para empresas de 0 a 4 años de antigüedad hay muchas menos observaciones de empresas recién creadas que en años anteriores, alrededor de 30 observaciones para el año 2014 frente a 180 observaciones en 1998, por lo tanto, la falta de datos puede llevar a que la muestra pierda representatividad entre las empresas de nueva creación en 2014. El número de empresas que entran en la encuesta ese año es anormalmente bajo y puede guardar relación con la severa y prolongada crisis financiera en España es esos años.

En suma, el efecto que la edad de la empresa puede tener sobre la decisión de implantar tecnologías avanzadas en la fabricación, parece estar condicionado por distintos aspectos. Las empresas más modernas y creadas en los últimos años podrían ser más propensas a implantar estas tecnologías, pero también es frecuente entre empresas antiguas que deciden modernizar procesos anticuados.

### 3.3. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN PARTICIPACIÓN DE CAPITAL EXTRANJERO

Otro aspecto importante a tener en cuenta es si las empresas que implantan estas tecnologías cuentan con capital proveniente del extranjero o son empresas exclusivamente nacionales, ya que España no es un país pionero en sistemas de manufactura (Qian et al., 2017) y por tanto, la implantación de estas tecnologías pueden venir impuestas por empresas más desarrolladas procedentes de otros países . Además, los resultados permitirán conocer si las empresas nacionales cuentan con las condiciones tecnológicas para adaptarse a los procesos de Industria 4.0 o por el contrario, tendrían que realizar grandes inversiones en tecnología para

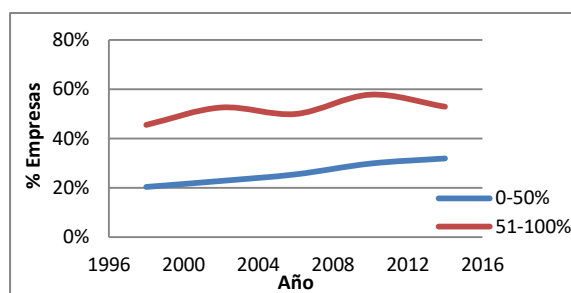


Las empresas españolas y la implantación de tecnologías  
avanzadas de fabricación

adaptar sus procesos a los propios de las “fábricas inteligentes”. Los resultados han sido los siguientes:

**Gráfico 9. Implantación de Robótica y capital extranjero de la empresa**

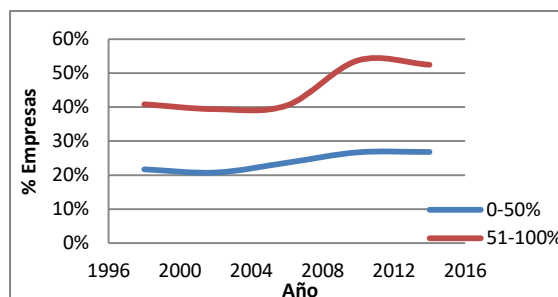
Capital extranjero y Robótica		
	0-50%	51-100%
1998	20%	46%
2002	23%	53%
2006	25%	50%
2010	30%	58%
2014	32%	53%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 10. Implantación de CC y capital extranjero de la empresa**

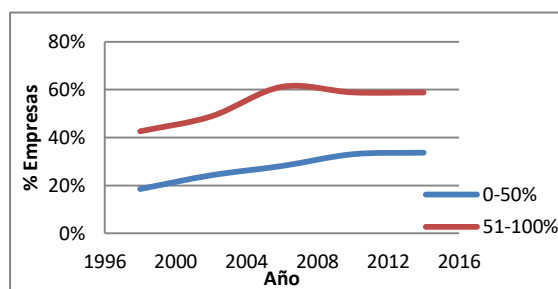
Capital extranjero y CC		
	0-50%	51-100%
1998	22%	41%
2002	21%	39%
2006	24%	40%
2010	27%	54%
2014	27%	52%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 11. Implantación de LAN y capital extranjero de la empresa**

Capital extranjero y LAN		
	0-50%	51-100%
1998	19%	43%
2002	24%	49%
2006	28%	61%
2010	33%	59%
2014	34%	59%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

---

Las empresas españolas y la implantación de tecnologías  
avanzadas de fabricación

Como se puede observar, la mayor parte de las empresas españolas que tienen implantadas estas tecnologías en sus procesos productivos cuentan con una participación del 51% o más de capital extranjero. Así por ejemplo, en el año 2014 el 32% de las empresas que contestaron a la encuesta contaba con robótica y no tenía participación mayoritaria de capital extranjero, frente a un 53% que sí contaba con capital de procedencia extranjera. En el caso de la implantación de CC, el 52% de las empresas contaban con más del 50% de capital extranjero y un 59%, en el caso de las redes LAN en producción, frente a un 27% y 33% que no contaban con capital extranjero respectivamente. Un aspecto a resaltar y que influirá a la hora de adaptar los procesos productivos de la empresa hacia la Industria 4.0, es que las empresas que cuentan con una participación mayoritaria de capital extranjero tienen implantadas en mayor medida las tres tecnologías, y por lo tanto, pueden tener más facilidades para buscar la interconexión entre estas y adaptar sus procesos; mientras que las empresas que no cuentan con una participación mayoritaria de capital extranjero, tendrían que realizar un esfuerzo mayor en la adquisición de las tecnologías así como en su familiarización con éstas. Sin embargo, también puede verse desde otro enfoque. Ya que el hecho de que las empresas que cuentan con capital mayoritario extranjero son las que tienen implantadas en mayor medida las tecnologías avanzadas, puede suponer un impulso para las empresas de capital español, que se pueden ver favorecidas de la experiencia y técnicas más avanzadas de digitalización de las anteriores. Es decir, la mayor participación de capital extranjero puede actuar como impulsor o influir positivamente en las demás empresas a la hora de que estas adopten la Industria 4.0.

### 3.4. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL SECTOR DE LA EMPRESA

En este apartado se hace una distinción por sectores manufactureros para ver en qué medida las empresas han implantado estas tecnologías en cada uno de ellos. La clasificación sectorial se realiza a partir de la ofrecida por la OECD (1997), como se puede ver a continuación:

S1	1. Industria cárnica
	2. Productos alimenticios y tabaco
	3. Bebidas
S2	4. Textiles y confección
	5. Cuero y calzado
S3	6. Industria de la madera
	7. Industria del papel
	8. Industria del mueble
S4	9. Artes gráficas
	10. Productos informáticos, electrónicos y ópticos

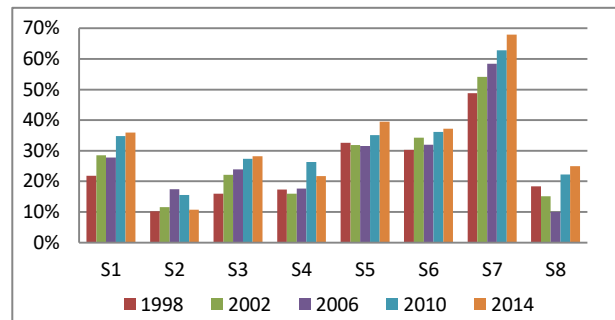
S5	11. Industria química y productos farmacéuticos
	12. Productos de caucho y plástico
	13. Productos minerales no metálicos
S6	14. Metales férreos y no férreos
	15. Productos metálicos
	16. Máquinas agrícolas e industriales
	17. Maquinaria y material eléctrico
S7	18. Vehículos de motor
	19. Otro material de transporte
S8	20. Otras industrias manufactureras

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Los resultados han sido los siguientes:

**Gráfico 12. Implantación de Robótica según sector de actividad**

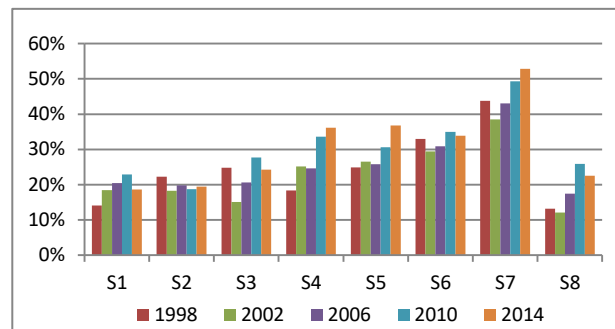
Sector de actividad y Robótica								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1998	22%	10%	16%	17%	33%	30%	49%	18%
2002	29%	12%	22%	16%	32%	34%	54%	15%
2006	28%	17%	24%	18%	32%	32%	58%	10%
2010	35%	16%	27%	26%	35%	36%	63%	22%
2014	36%	11%	28%	22%	40%	37%	68%	25%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 13. Implantación de CC según sector de actividad**

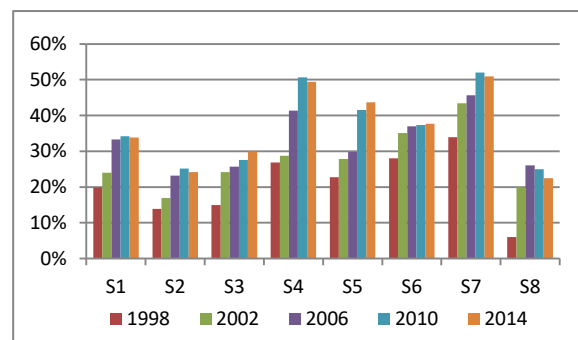
Sector de actividad y CC								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1998	14%	22%	25%	18%	25%	33%	44%	13%
2002	18%	18%	15%	25%	27%	29%	39%	12%
2006	20%	20%	21%	25%	26%	31%	43%	18%
2010	23%	19%	28%	34%	31%	35%	49%	26%
2014	19%	19%	24%	36%	37%	34%	53%	23%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 14. Implantación de LAN según sector de actividad**

Sector de actividad y LAN								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1998	20%	14%	15%	27%	23%	28%	34%	6%
2002	24%	17%	24%	29%	28%	35%	43%	20%
2006	33%	23%	26%	41%	30%	37%	46%	26%
2010	34%	25%	28%	51%	42%	37%	52%	25%
2014	34%	24%	30%	49%	44%	38%	51%	23%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Se puede observar una tendencia creciente en la implantación de Robótica, CC y LAN en todos los sectores aunque en algunos en mayor medida que en otros. Existe un mayor porcentaje de implantación de las tres tecnologías en el sector de automoción (S7) con más del 50% de las empresas en todos los casos, donde se puede apreciar un aumento de 19 puntos porcentuales en la implantación de Robótica en los últimos 17 años así como 9 y 17 puntos en el caso de CC y LAN respectivamente.

En el año 2014, alrededor del 40% de las empresas que contestaron la encuesta y cuentan con Robótica, CC o LAN en sus procesos productivos pertenecen a la industria química, productos farmacéuticos, caucho, plástico y productos minerales (S5). De igual forma, un 36% de las empresas que utilizan ordenadores centrales en sus procesos y un 49% de las empresas que cuentan con redes LAN pertenecen al sector de la informática, productos electrónicos y artes gráficas (S4).

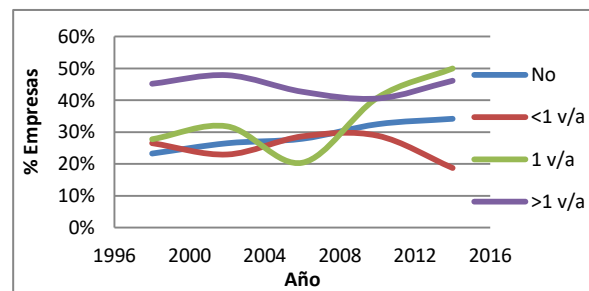
Se puede observar que las tres tecnologías están implantadas en mayor medida en sectores que cuentan con gamas muy amplias de productos como son el sector automoción, electrónico o farmacéutico, y que según algunos autores, son los que se beneficiarán en mayor medida de la flexibilidad que les aporta la Industria 4.0 y el aumento de productividad que esto conlleva (Rüßmann et al., 2015). Especialmente en este tipo de sectores será necesario ofrecer productos cada vez más personalizados y competitivos en calidad y precio por lo que el uso de estas tecnologías puede llevar a la empresa hacia procesos automatizados inteligentes con niveles de eficiencia mayores (Brettel et al., 2014).

### 3.5. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN LA TENDENCIA A CAMBIAR EL TIPO DE PRODUCTOS

Como se mencionaba en el apartado anterior, la flexibilidad es fundamental para atender a la demanda y hacer frente a los competidores, por lo que las empresas cada vez cuentan con procesos más interconectados y compatibles que permitan obtener esta flexibilidad. Además, con el tiempo las empresas tienen que hacer frente a la necesidad de desarrollar y cambiar rápidamente sus productos, así como adaptarse a entornos cada vez más complejos, ya que esto les permitirá ofrecer una gama más amplia y personalizada al cliente (Schlechtendahl et al., 2015). En este apartado se estudia la implantación de Robótica, CC y LAN según la predisposición que tienen las empresas a cambiar el tipo de productos.

**Gráfico 15. Implantación de Robótica y cambio en el tipo de productos**

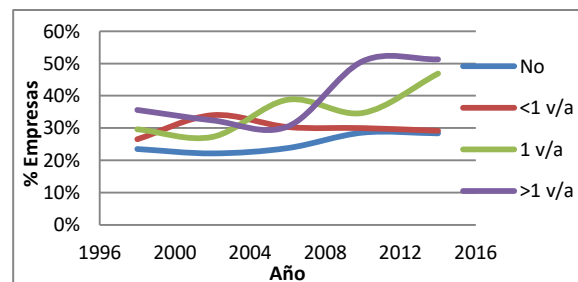
Cambio de productos y Robótica				
Vez/año	No	<1 v/a	1 v/a	>1 v/a
1998	23%	27%	28%	45%
2002	27%	23%	32%	48%
2006	28%	29%	20%	43%
2010	33%	29%	41%	41%
2014	34%	19%	50%	46%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 16. Implantación de CC y cambio en el tipo de productos**

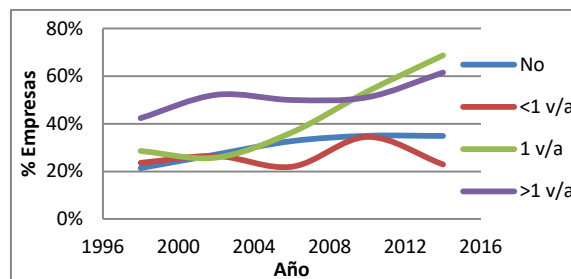
Cambio de producto y CC				
Vez/año	No	<1 v/a	1 v/a	>1 v/a
1998	24%	27%	30%	36%
2002	22%	34%	27%	32%
2006	24%	30%	39%	30%
2010	29%	30%	35%	51%
2014	28%	29%	47%	51%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Gráfico 17. Implantación de LAN y cambio en el tipo de productos

Cambio de producto y LAN				
Vez/año	No	<1 v/a	1 v/a	>1 v/a
1998	21%	24%	29%	42%
2002	27%	26%	26%	52%
2006	33%	22%	36%	50%
2010	35%	34%	54%	51%
2014	35%	23%	69%	62%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Como puede observarse en los gráficos anteriores, las empresas tienden a cambiar sus productos con más frecuencia. De esta forma, las que cambian sus productos una o más de una vez al año y tienen implantados Ordenadores centrales para conectar robótica, CNC o CAD han aumentado un promedio de 16 puntos porcentuales entre 1998 y 2014, mientras que las que cambian sus productos menos de una vez año apenas han sufrido cambios en estos 17 años.

De la misma forma y para el mismo periodo, las empresas que cambian sus productos una vez al año y tienen implantadas redes LAN en sus procesos productivos, han aumentado en 40 puntos porcentuales y las que cambian más de una vez sus productos, en 20 puntos porcentuales, unos valores muy altos que muestran la necesidad que ha habido de implantar esta tecnología en los últimos años, ya que por lo general las fábricas de producción de las empresas pequeñas y medianas no contaban con conexión a internet ni tenían facilidad para la transmisión de datos.

Cabe mencionar que acorde con los resultados, estas dos tecnologías son especialmente útiles en las empresas que tienden a cambiar sus productos continuamente. La utilización de redes LAN facilita la transferencia de información en diseños y modificaciones de productos

en tiempo real y el uso de ordenadores centrales para conectar CAD, CNC y robótica, aporta la flexibilidad necesaria, tanto en diseño como en fabricación para que la empresa incorpore nuevos productos y cambios con facilidad. Como mencionan algunos autores, una de las características de la Industria 4.0 es la capacidad para prever e incorporar nuevos productos (Schmidt et al., 2015) y parece ser que estas tecnologías facilitan esta labor.

Por otra parte, el número de empresas que cambian más de una vez sus productos y cuentan con robótica no han aumentado apenas en los últimos años aunque ha representado un porcentaje considerable de empresas, siempre entre un 41% y 48% del total de empresas que contestaron a la encuesta. Además, se observa que las empresas que tienen esta tecnología y cambian sus productos una vez al año, han sufrido un aumento considerable, de 22 puntos porcentuales.

Por lo general la robótica ha sido utilizada para la fabricación continua de productos muy estandarizados y por lo tanto, ha sido poco compatible con el cambio e incorporación de nuevos productos. Sin embargo, los robots están evolucionando hacia utilidades cada vez mayores ya que se están volviendo más autónomos, flexibles y cooperativos. Con la Industria 4.0, las empresas incorporarán a sus procesos robots capaces de interactuar, entre sí y con personas, de manera segura, que cuenten con más aplicaciones y con la capacidad de ajustar automáticamente los parámetros para adaptarse al siguiente producto antes de terminar con el anterior (Rüßmann et al., 2015).



### 3.6. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN SEGÚN EL SISTEMA DE FABRICACIÓN DE LA EMPRESA

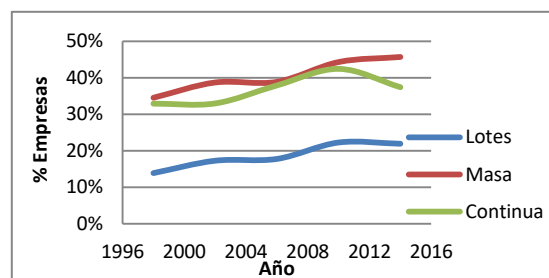
Como se ha mencionado en el apartado anterior, el modo de fabricación de la empresa también influye en el grado de implantación de estas tecnologías. Así por ejemplo, la robótica parece estar más relacionada con la fabricación continua o en masa.

En este apartado se analiza la implantación de las tres tecnologías según el sistema de fabricación de las empresas españolas de la muestra.

Los resultados han sido los siguientes:

**Gráfico 18. Implantación de Robótica y sistemas de fabricación**

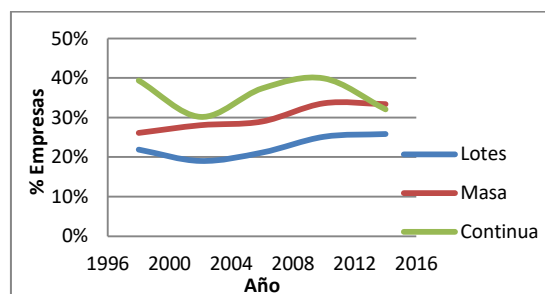
Sistema de fabricación y Robótica			
	Lotes	Masa	Continua
1998	14%	35%	33%
2002	17%	39%	33%
2006	18%	39%	38%
2010	22%	44%	42%
2014	22%	46%	37%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 19. Implantación de CC y sistemas de fabricación**

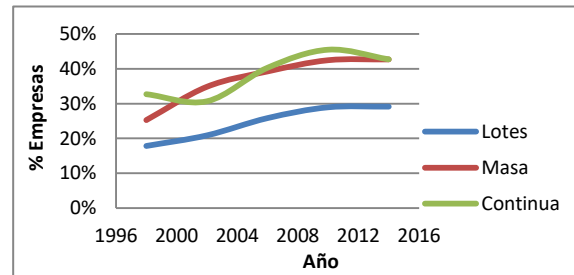
Sistema de fabricación y CC			
	Lotes	Masa	Continua
1998	22%	26%	39%
2002	19%	28%	30%
2006	21%	29%	37%
2010	25%	34%	40%
2014	26%	33%	32%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Gráfico 20. Implantación de LAN y sistemas de fabricación

Sistema de fabricación y LAN			
	Lotes	Masa	Continua
1998	18%	25%	33%
2002	21%	35%	31%
2006	26%	39%	40%
2010	29%	42%	46%
2014	29%	43%	43%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Como se puede observar, los sistemas de producción dominantes en las empresas que tienen implantadas estas tecnologías son la producción en masa y continua, aunque en los últimos años, se observa un descenso en la utilización de sistemas de producción continuos. De esta forma, el número de empresas que tienen implantadas Robótica en sus procesos y fabrican en masa, han aumentado once puntos porcentuales entre 1998 y 2014, representando un 46% en el año 2014, casi la mitad de las empresas de la muestra.

En el caso de la implantación de Ordenadores centrales y redes LAN, estos ascensos han sido de 7 y 18 puntos porcentuales durante el período de estudio, representando el 33% y 43% del total de empresas, respectivamente.

Cuando las empresas cuentan con un sistema de fabricación continuo estos valores son más volátiles, así el número de empresas que tienen implantadas Robótica han aumentado solo cuatro puntos porcentuales en el período de estudio, representando el 37% del total de empresas de la muestra. En el caso de las empresas que tienen implantados Ordenadores Centrales apenas se nota una diferencia hasta 2010, año a partir del cual se aprecia un decremento de 7 puntos porcentuales, aunque aún representa el 32% del total de empresas, casi

una tercera parte. Finalmente, las empresas que cuentan con redes LAN en fabricación, han aumentado en 10 puntos porcentuales y representan el 43% del total de empresas españolas analizadas.

Finalmente, cabe mencionar que las empresas cuyo sistema de fabricación es por unidades o lotes pequeños menores a 200 unidades, es la menos común en las empresas que tienen implantadas estas tecnologías. Las empresas que cuentan con Robótica representan el 22% del total de empresas y han aumentado en 8 puntos porcentuales en el período de estudio. Las empresas que cuentan con Ordenadores centrales y redes LAN, representan el 26% y 29% de la muestra y unos incrementos de 4 y 11 puntos porcentuales entre 1998 y 2014. Un resultado de alguna manera contradictorio, ya que la literatura sostiene que las empresas, con el tiempo se han tenido que ir adaptando a la demanda tan variable y cada vez más personalizada del cliente, por lo que se piensa que existe una tendencia a reducir los períodos de desarrollo de productos y a producir en lotes lo más pequeños posible para aportar flexibilidad a los procesos de producción (Lasi et al., 2014).

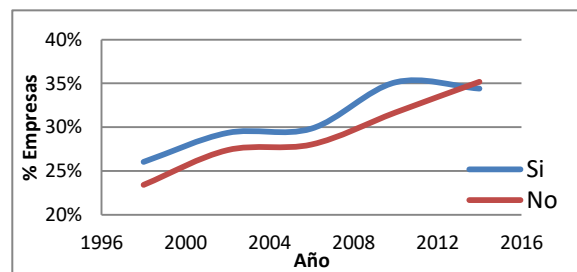
Según algunos autores, con la Industria 4.0, la fabricación en lotes se irá facilitando con la aparición de nuevas herramientas como robots, máquinas y productos inteligentes, que se comunican entre sí y actúan de manera autónoma, de tal forma, que será posible producir varios tipos de productos en una misma línea de producción en lotes más pequeños (Rüßmann et al., 2015). Por lo que más adelante, se estudiará este resultado en más profundidad.

### 3.7. IMPLANTACIÓN DE ROBÓTICA, CC Y LAN Y ESTANDARIZACIÓN DE PRODUCTOS

La oferta de productos personalizados, o lo que es lo mismo, la no estandarización de los productos, permite a las empresas competir mejor en el mercado, ya que ofrece un producto adaptado a las necesidades de cada cliente, disminuyendo así la cantidad de devoluciones y grandes cantidades de stock en los almacenes (Schmidt et al., 2015). En este apartado al igual que en los dos anteriores, se pretende estudiar otro factor importante que muestra si las tres tecnologías analizadas facilitan la obtención de flexibilidad tanto en los sistemas de fabricación como en los productos.

**Gráfico 21. Implantación de Robótica y estandarización de productos**

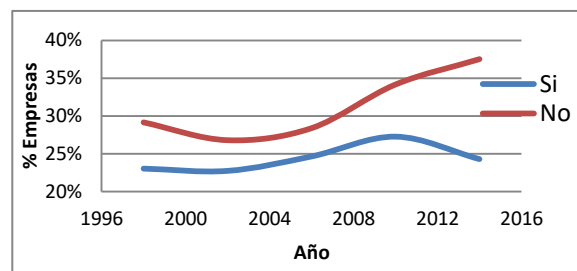
Estandarización y Robótica		
	Si	No
1998	26%	23%
2002	29%	27%
2006	30%	28%
2010	35%	32%
2014	34%	35%



Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 22. Implantación de CC y estandarización de productos**

Estandarización y CC		
	Si	No
1998	23%	29%
2002	23%	27%
2006	25%	28%
2010	27%	34%
2014	24%	38%



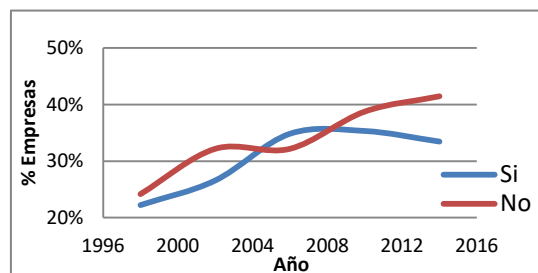
Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

**Gráfico 23. Implantación de LAN y estandarización de producto**

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia

Estandarización y LAN		
	Si	No
1998	22%	24%
2002	27%	32%
2006	35%	32%
2010	35%	39%
2014	33%	41%

Fuente: ESEE (1998-2014) y elaboración propia



En general, se aprecia una tendencia a aumentar el porcentaje de empresas que tienen implantadas las tres tecnologías independientemente de lo estandarizados que sean sus productos. Aunque este aumento se produce en mayor medida en las empresas cuyos productos no son estandarizados. Así, las empresas que tenían implantada robótica en sus procesos y sus productos no eran estandarizados ha aumentado desde el 23% en el año 1998 hasta un 35% en 2014, 12 puntos porcentuales. De la misma forma, en el caso de la implantación de ordenadores centrales, las empresas que cuentan con productos no estandarizados o personalizados han aumentado 9 puntos porcentuales durante este período, mientras que las empresas cuyos productos si eran estandarizados apenas han aumentado. En el caso de la instalación de redes LAN en fabricación, este aumento ha sido de 17 puntos porcentuales.

Concretamente, en el año 2014 se puede observar que las empresas que tienen implantadas robótica en sus procesos, cuentan con productos estandarizados y no estandarizados en porcentajes similares, alrededor del 35% para ambos casos, por lo que no se aprecia una diferencia considerable entre ambos. Por otro lado, las empresas que cuentan con ordenadores centrales en sus procesos han seguido tendencias distintas en los últimos años ya

---

Las empresas españolas y la implantación de tecnologías  
avanzadas de fabricación

que el 24% de las empresas contaban con productos estandarizados mientras que un 38% de las empresas por lo general no fabrica productos muy estandarizados. En el caso de las empresas que cuentan con redes LAN en producción, un 33% de las empresas cuentan con productos estandarizados mientras que un 41% no ofrecen productos muy estandarizados.

Al igual que en el apartado que se analizaba la tendencia a cambiar el tipo de productos, cabe mencionar que la robótica es una tecnología que se ha utilizado en procesos poco flexibles, generalmente para producir grandes cantidades de productos iguales y que no suelen ser modificados o adaptados a las necesidades del cliente. Sin embargo, se espera que con el tiempo los robots se incorporen en procesos flexibles, comportándose como sistemas autónomos y descentralizados con potencial para hacer frente a entornos complejos y productos personalizados (Schlechtendahl et al., 2015).

Por otra parte, el uso de ordenadores centrales para conectar CAD, CNC y robótica así como el uso de redes LAN en fabricación, sí que son tecnologías que aportan flexibilidad a los procesos y permiten ofrecer productos a la medida del cliente. Gracias a estas tecnologías, los diseños se pueden enviar a los puestos de trabajo en tiempo real, donde el trabajador puede revisarlo en un programa CAD, que a su vez puede estar conectado a una máquina de CNC o un robot a través de un ordenador central, haciendo que la producción sea más sencilla y eficiente. Como mencionan algunos autores, a medida que disminuye la estandarización es necesario tener conocimientos más específicos de los productos así como la capacidad para reaccionar rápidamente a los cambios, por lo que los datos deben centralizarse y los procesos deben modelarse globalmente (Brettel, Friederichsen, Rosenberg, & Keller, 2014) y estas dos tecnologías son idóneas para esto.

## **4. DETERMINANTES DEL GRADO DE ADOPCIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0**

Tras analizar la implantación de robótica, redes LAN y ordenadores centrales en fabricación, de una muestra representativa de empresas españolas, se tiene una primera intuición de qué características tienen las empresas que optan por realizar este tipo de inversiones y su inclinación hacia ciertos tipos de decisiones empresariales.

En este apartado se pretende demostrar de manera empírica cuáles son los determinantes de la implantación de Industria 4.0 en España. Para ello, se comienza con el planteamiento de siete hipótesis, que se basan tanto en una revisión de la literatura como en las relaciones univariantes analizadas anteriormente.

Se ha podido observar que el tamaño de la empresa tiene una influencia considerable en la implantación de tecnologías avanzadas. Las empresas de mayor tamaño parecen estar más familiarizadas con la incorporación de estas tecnologías y la digitalización de sus procesos que las pequeñas empresas, lo que puede deberse a que estas cuentan con la capacidad para realizar inversiones de mayor envergadura, así como una mayor dotación de personal (Jun et al., 2017). El grado de digitalización está muy ligado al tamaño de las empresas<sup>3</sup>, ya que las empresas grandes cuentan con más profesionales y mayores recursos, y son las que más aprovechan la tecnología para llegar al cliente a través de sus productos. Esto ha llevado a plantear la siguiente hipótesis:

---

<sup>3</sup> Informe Bankia Indicex 2016: La digitalización de las empresas en España

*Hipótesis 1 (H1): El tamaño de la empresa influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

Los resultados obtenidos en el apartado anterior, sobre la implantación de tecnologías según la edad de la empresa, mostraban que tanto las empresas más jóvenes como las más maduras, tenían predisposición a implantar Robótica, redes LAN y ordenadores centrales en fabricación. Por lo que resulta interesante incorporar la siguiente hipótesis, que será de carácter exploratorio, para confirmar las impresiones obtenidas en el análisis descriptivo:

*Hipótesis 2 (H2): La edad de la empresa influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

De la misma forma, se ha observado que las empresas que tienen instaladas en mayor medida las tres tecnologías (Robótica, Redes LAN y Ordenadores centrales), cuentan con una participación mayoritaria de capital extranjero, lo que se puede deber a que otros países se encuentran por delante de España en la implantación de “procesos inteligentes” y digitalización (Qian et al., 2017). De esta forma, empresas extranjeras se han asentado en España y han implantado sus sistemas de producción más avanzados o han podido adquirir una empresa española y readaptar sus procesos. Esto ha llevado a plantear la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 3 (H3): La participación mayoritaria de capital extranjero en la empresa influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

La Industria 4.0 está orientada a la consecución de flexibilidad, ya que la empresa necesita hacer frente a las necesidades cada vez más específicas y exigentes del cliente y por tanto, se ve obligada a adaptar sus modos de producción a las nuevas necesidades (Lasi et al., 2014, Schmidt et al., 2015). En otras palabras, la Industria 4.0 proporciona un excelente soporte para alcanzar la máxima flexibilidad de los procesos y por ello, a continuación se plantean cuatro



hipótesis que explicarán si la implantación de las tecnologías avanzadas analizadas anteriormente, están orientadas a la consecución de dicha flexibilidad.

En el análisis anterior se observaba que la implantación de tecnologías avanzadas, en empresas que suelen cambiar el tipo de productos con una frecuencia mayor al año, era considerablemente superior a las que no suelen cambiar el tipo de productos. Por otro lado, para conseguir flexibilidad, las empresas tienden cada vez más, a reducir el ciclo de vida de los productos (Sachon et al., 2017, Mrugalska & Wyrwicka, 2017), y a incorporar nuevas gamas de productos para satisfacer al mayor número de clientes (Schmidt et al., 2015), lo que nos lleva a plantear la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 4 (H4): La tendencia a cambiar el tipo de productos influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

En cuanto al sistema de fabricación utilizado en las empresas, se observaba que la producción continua y en masa eran las preponderantes frente a la producción en lotes. La literatura sostiene que existe una tendencia a producir en lotes cada vez más pequeños, en favor de conseguir que los sistemas sean más ágiles y dinámicos (Lasi et al., 2014, Rübmann et al., 2015). Aunque lo observado en el análisis descriptivo anterior parece no confirmar esta previsión de la literatura, planteamos el sentido de la hipótesis de acuerdo con autores previos.

*Hipótesis 5 (H5): La producción en lotes (frente a la producción más masiva) influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

De la misma forma, en el análisis descriptivo se estudió la implantación de tecnologías avanzadas y la estandarización de productos de las empresas españolas. Se observaba que la estandarización era frecuente en las empresas que contaban con Robótica pero no, en las empresas que contaban con redes LAN y Ordenadores Centrales, ya que estas últimas, son

herramientas orientadas a la consecución de mayor flexibilidad en los procesos. Por otra parte, en la literatura se considera que la personalización de productos es un impulsor muy fuerte de la Industria 4.0, ya que permite dar una respuesta individualizada a los clientes. Además, se ha demostrado empíricamente que la personalización de productos influye positivamente en el uso potencial de Industria 4.0 (Schmidt et al., 2015). Por lo que se plantea la siguiente hipótesis a modo de reafirmar lo que se muestra en la literatura:

*Hipótesis 6 (H6): La personalización de productos influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

Por último, se decide incorporar una hipótesis para saber si las empresas españolas que cuentan con una dirección o comité de tecnología o I+D, tienen más propensión a adoptar la Industria 4.0. Un estudio realizado por la consultoría Roland Berger y el patrocinio de Siemens, en el año 2016, muestra que las empresas españolas muestran cierto recelo a usar herramientas digitales avanzadas, lo que se puede deber al hecho de que las empresas no suelen destinar sus recursos para crear un área, que se ocupe exclusivamente de gestionar todo lo relacionado con las tecnologías o sistemas digitales avanzados. Según los resultados obtenidos, solo un 38% de las empresas españolas tienen una estrategia digital formalizada, porcentaje del cual el 40% no ha sabido transmitir adecuadamente tales estrategias. El 26% de las empresas encuestadas todavía no tiene formalizado un responsable del área digital en su empresa, el 20% de las empresas no realiza formación digital a los empleados y en el 62% de las empresas que sí lo han ofrecido, el 40% de los empleados ni siquiera han recibido un curso (España 4.0, 2016). Por esto, se considera interesante plantear la siguiente hipótesis:

*Hipótesis 7 (H7): Contar con una dirección de tecnología o I+D influye positivamente en la propensión a adoptar Industria 4.0.*

## 4.1. ESTIMACIÓN DEL MODELO Y RESULTADOS

Para estimar la influencia de cada una de las variables sobre el nivel de implantación de Industria 4.0, se utiliza un modelo Logit ordenado que es adecuado para explicar una variable dependiente que toma valores discretos de 0 hasta 3, que representan una creciente implantación. Se estima sobre la misma muestra utilizada en el análisis descriptivo, es decir, un panel no equilibrado de 5304 empresas manufactureras españolas presentes en ESEE, con un período de estudio comprendido entre los años 1998 y 2014.

Las variables utilizadas en el modelo son:

*Variable dependiente: Implantación de Industria 4.0 (I4.0)*

La variable dependiente toma valores discretos que representan una ordenación clara respecto a las elecciones de las empresas hacia la implantación de Industria 4.0. De esta forma, la variable dependiente toma el valor 0 cuando las empresas no han incorporado ninguna de las tecnologías, hasta el valor 3 en el caso de que las empresas tengan implantadas las tres tecnologías que se describieron en el apartado 3 del presente trabajo y que definen la Industria 4.0.

*Variables independientes*

- *Tamaño de la empresa (Tamaño):* el tamaño de la empresa se ha medido como el logaritmo neperiano del número total de empleados de la empresa, dato facilitado a través de la ESEE.
- *Edad de la empresa (Edad):* esta variable se obtiene a partir de la variable de la ESEE que indica el año de constitución de la empresa.

---

Determinantes del grado de adopción de la Industria 4.0

- *Participación mayoritaria de capital extranjero (PMCE)*: esta variable muestra si la empresa tiene una participación de más del 50% de capital extranjero y se obtuvo a partir de la variable de la ESEE, donde se pide el porcentaje de dicha participación.
- *Cambio del tipo de productos (CTP)*: esta variable coincide con la variable de la ESEE, donde se pide que se indique la periodicidad usual del cambio de productos, en caso de que sea normal para la empresa cambiar el tipo de productos que ofrecen. La respuesta puede variar de 1 hasta 4, donde 1 indica una frecuencia menor que la anual, hasta 4, que indica una frecuencia no regular, muy flexible.
- *Grado de continuidad en el proceso de fabricación (GCPF)*: esta variable se ha diseñado a partir de la variable discreta de la ESEE, que muestra si la empresa vende productos fabricados mediante determinados sistemas de fabricación. La respuesta puede variar de 1 hasta 3, donde 1 es un sistema de fabricación de unidades o de pequeños lotes que no superan las 200 unidades de productos, 2 es un sistema de fabricación en grandes lotes o en masa y 3 es un sistema de fabricación en producción continua.
- *Producción en lotes (PL)*: esta variable se obtiene transformando la variable anterior, tomando el valor 1 si la empresa produce en unidades o pequeños lotes de menos de 200 unidades y 0 si produce mediante otro sistema.
- *Dirección de tecnología o I+D (DTID)*: esta variable binaria coincide con la variable de la ESEE que indica si en el año en el que respondió a la encuesta, la empresa disponía de una dirección o comité de Tecnología o I+D

Por último, se incluirán en el modelo a estimar, el efecto de sector y de año con la introducción de las variables ficticias correspondientes.

La Tabla 1 presenta los coeficientes de correlación entre las variables a estimar.

**Tabla 1. Coeficientes de correlación de Spearman**

	<b>I 4.0</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Edad</b>	<b>PMCE</b>	<b>CTP</b>	<b>PL</b>	<b>GCPF</b>	<b>PP</b>	<b>DT</b>
<b>I 4.0</b>	1.0000								
<b>Tamaño</b>	0.5276*	1.0000							
<b>Edad</b>	0.1954*	0.3318*	1.0000						
<b>PMCE</b>	0.2769*	0.4605*	0.1666*	1.0000					
<b>CTP</b>	0.1021*	0.0848*	-0.0024	0.0390*	1.0000				
<b>PL</b>	-0.2131*	-0.3582*	-0.1354*	-0.2114*	0.0357*	1.0000			
<b>GCPF</b>	0.1886*	0.3193*	0.1264*	0.1827*	-0.0479*	-0.8702*	1.0000		
<b>PP</b>	0.0309*	-0.0748*	-0.0800*	-0.0150*	0.0999*	0.1570*	-0.1658*	1.0000	
<b>DTID</b>	0.1716*	0.2471*	0.1081*	0.1134*	0.0363*	-0.0797*	0.0648*	0.0122*	1.0000

\* Significativo al 95%

La variable I 4.0 presenta correlaciones significativas con todas las variables, particularmente con el tamaño de la empresa (mayor de 0,5). Entre las variables explicativas, las correlaciones no son excesivamente elevadas, aunque sean significativas, salvo la correlación entre Cambio del tipo de producto (CTP) y Edad de la empresa.

Entre Capital extranjero y Tamaño de la empresa, hay una correlación positiva cercana a 0,5, por lo que habrá que prestar atención si esta correlación disminuye la significatividad de sus coeficientes en la estimación del modelo. Por otra parte, la correlación entre las variables que miden si la empresa fabrica por lotes (variable 0, 1 PL) y la que mide el grado de continuidad de su proceso de fabricación (variable con valores que van de 1 a 3 GCPF) tienen una correlación muy elevada, cercana a -0,9, pero son variables que se introducirán en el modelo alternativamente, para probar la hipótesis de si la fabricación por lotes es la que favorece la adopción de Industria 4.0 o si al contrario, son los procesos de producción en masa y continua los que propician tales adopciones.

En la tabla 2 se presentan las estimaciones de las dos especificaciones alternativas del modelo mediante un logit ordenado:

Tabla 2. Logit ordenado. Estimaciones de los coeficientes del modelo para la adopción de Industria 4.0

	Especificación 1		Especificación 2	
	Coeficiente	p-valor	Coeficiente	p-valor
<b>Tamaño</b>	0.7442***	0.000	0.7223***	0.000
<b>Edad</b>	0.0021***	0.002	0.0018***	0.008
<b>PMCE</b>	0.0010**	0.013	0.0012***	0.004
<b>CTP</b>	0.0862***	0.000	0.1000***	0.000
<b>PP</b>	0.1213***	0.000	0.1147***	0.000
<b>DTID</b>	0.3168***	0.000	0.3219***	0.000
<b>PL</b>	-0.3017***	0.000		
<b>GCPF</b>			0.1758***	0.000
<b>Num obs</b>	21896		21896	
<b>LR X<sup>2</sup></b>	8515.27***	0.0000	8565.78***	0.0000
<b>Pseudo R<sup>2</sup></b>	0.1576		0.1586	

\*\*\* Significativo al 99%

\*\* Significativo al 95%

En la primera de las especificaciones, todos los coeficientes de las variables tienen signo positivo y son estadísticamente significativos al 99%, a excepción de la Participación mayoritaria de capital extranjero (PMCE), que es significativa al 95%. Esto indica, que todas las variables influyen positivamente en la propensión de la empresa a adoptar Industria 4.0. Esto ocurre con las variables Tamaño de la empresa, Edad de la empresa, Participación mayoritaria de capital extranjero, Cambio en el tipo de producto (CTP), Personalización del producto (PP), y Dirección de tecnología o I+D (DTID), por lo tanto, las hipótesis H1, H2, H3, H4, H6 y H7 se verían soportadas. Sin embargo, la variable Producción por lotes (PL) presenta un coeficiente negativo, es decir, en contra de lo que se mantiene en algunos de los trabajos

que se han revisado previamente, no es este tipo de fabricación el que favorece que las empresas decidan implantar Industria 4.0, por lo que H5 se vería refutada.

En la especificación 2, todas las variables tienen signo positivo y son estadísticamente significativos al 99%, por lo tanto, se puede decir que influyen positivamente en la propensión de la empresa a adoptar Industria 4.0. En esta ocasión, se cambia la variable de producción por lotes, por la variable que mide de 1 a 3 el nivel de Continuidad en el proceso de fabricación (GCPF), siendo 1 la producción por lotes y 3 la producción continua. Se obtiene que el coeficiente es positivo y significativo al 99%, por lo que en este caso, se encuentra soporte para todas las hipótesis anteriores y nuevamente queda refutada con otra construcción de la variable, la H5.

Este último resultado indica que es precisamente en las empresas con procesos de fabricación más continuos y de producción masiva, en los que las empresas tienen una mayor propensión a adoptar estas tecnologías de manera preferente, coincidiendo con los resultados obtenidos en el análisis descriptivo del apartado anterior.

Este resultado es contradictorio con la literatura, ya que como se mencionaba anteriormente, los autores sostienen, por lo general, que los procesos tienden a cambiar hacia una producción en lotes para conseguir una mayor flexibilidad, lo cual está en línea con lo que se consigue de implantar la Industria 4.0, salvando las lógicas diferencias sectoriales.

Una posible justificación para el resultado obtenido puede ser que por lo general, relacionamos los sistemas de fabricación en masa o continuos con ausencia de flexibilidad productiva, sin embargo, una empresa puede trabajar con estos sistemas de fabricación y a la vez ser flexible. O precisamente, una empresa de producción continua puede alcanzar la



flexibilidad para particular su producto o cambiarlo y por lo tanto, favorecer la adopción de Industria 4.0.

Los sistemas flexibles de fabricación (Flexible Manufacturing System o FMS), se basan en el uso intensivo de tecnologías avanzadas, en la automatización de la fábrica, la mejora de las tecnologías existentes, el cambio y personalización de productos y en la coordinación de todas las operaciones a través de sistemas informáticos integrados (Bueno Campos, 2004), como pueden ser las redes LAN y Ordenadores centrales. Estos sistemas aportan a la empresa la capacidad de reaccionar mejor a los cambios, de adaptarse rápidamente y dar respuesta a las nuevas exigencias requeridas, tanto por el entorno competitivo existente, como por los consumidores.

Como se puede ver, la flexibilidad no solo se rige por el sistema de fabricación, sino por otros aspectos como la implantación de tecnologías. Así por ejemplo, la conexión de redes LAN y Ordenadores centrales en fabricación están enfocadas a la consecución de flexibilidad, ya que permiten la transferencia de información en tiempo real a todos los puestos de trabajo que estén conectados. Por otra parte, cualquier modificación o diseño que se realice en un Ordenador central, puede lanzar órdenes inmediatas a otros ordenadores, a un robot o a una máquina de control numérico, ya que se encuentran interconectados, lo que permite que el sistema se vuelva más ágil y se puedan realizar cambios de manera eficiente.

Las empresas tienden a modificar sus sistemas de producción para lograr más flexibilidad, así por ejemplo, en el sector automoción se puede observar que el sistema de producción es en masa o continuo, pero a la vez se ofrecen coches altamente personalizados a cada cliente. Es decir, aunque haya una tendencia a ofrecer productos personalizados, puede haber una producción en masa o continua dominante (Brettel et al., 2014).

En conclusión, se podría decir que las tecnologías avanzadas permiten que las empresas que fabrican en masa o de manera continua sean más flexibles, dándoles la capacidad para particularizar y ampliar las gamas de productos, sin tener que interrumpir su sistema de fabricación para reconfigurarlo. Por lo tanto, los sistemas de producción en masa y continuos también pueden favorecer la implantación de Industria 4.0 en las empresas. De hecho, se espera que con la adopción de Industria 4.0, las empresas del sector automovilístico puedan ser capaces de producir varios modelos de coches con diferentes estilos de carrocería y diseños, utilizando una línea de producción flexible (Rüßmann et al., 2015).

Tras realizar las dos estimaciones, la Tabla 3 presenta el cálculo de los efectos marginales de cada una de las variables ( $dy/dx_i$ ) de la especificación 2, con el fin de que el valor del coeficiente tenga una interpretación más directa que en la tabla anterior. Nos hemos decantado por esta segunda especificación por presentar una  $R^2$  ligeramente más elevada y tener todos los coeficientes, una significatividad superior al 99%. En esta tabla cada una de las columnas corresponde a cada uno de los valores considerados para la variable dependiente I4.0.

**Tabla 3. Logit ordenado. Estimaciones de los efectos marginales del modelo para la adopción de Industria 4.0**

	<b>Predicción I4.0=0</b>	<b>Predicción I4.0= 1</b>	<b>Predicción I4.0= 2</b>	<b>Predicción I4.0= 3</b>
	<b>Efecto marginal</b>	<b>Efecto marginal</b>	<b>Efecto marginal</b>	<b>Efecto marginal</b>
<b>Tamaño</b>	-0.1326***	0.0273***	0.0575***	0.0478***
<b>Edad</b>	-0.0003***	0.0001***	0.0001***	0.0001***
<b>PMCE</b>	-0.0002***	0.0001***	0.0001***	0.0001***
<b>CTP</b>	-0.0183***	0.0038***	0.0080***	0.0066***
<b>PP</b>	-0.0210***	0.0043***	0.0091***	0.0076***
<b>DTID</b>	-0.0591***	0.0122***	0.0256***	0.0213***
<b>GCPF</b>	-0.0323***	0.0067***	0.0140***	0.0116***

\*\*\* Significativo al 99%

Cada valor se debe interpretar como la contribución a la probabilidad de que se dé el valor correspondiente de la variable. De esta forma, se aprecia que el tamaño de la empresa es un determinante considerable a tener en cuenta en la adopción de Industria 4.0, ya que a medida que este aumenta en una unidad, la probabilidad de que la empresa tenga implantada una tecnología aumenta 2,73%, y la probabilidad de que tenga implantada dos y tres tecnologías aumenta 5,75% y 4,78% respectivamente. Además, se reduce en 13,26% la probabilidad de no tener ninguna tecnología implantada. Estos resultados son estadísticamente significativos al 99% y reafirman que el tamaño de la empresa influye positivamente en la adopción de Industria 4.0.

Menos relevantes pero igual de significativos, son las variables de Edad y Participación mayoritaria de capital extranjero, ya que por cada año más de la empresa o cuando esta cuenta con una Participación mayoritaria de capital extranjero, solo aumenta en 0,01% la probabilidad de que la empresa tenga implantada una tecnología más. Y se reduce en 0,03% y 0,02%, respectivamente, la probabilidad de no tener ninguna tecnología.

También se observa que cuando aumenta la frecuencia de Cambio de productos que ofrece la empresa, se reduce en 1,83% la probabilidad de que una empresa no tenga implantada ninguna de las tecnologías y aumenta en 0,80% y 0,66% la probabilidad que tenga instaladas dos y tres tecnologías respectivamente. De la misma forma, se reduce en 2,1% la probabilidad de no tener ninguna tecnología cuando las empresas mayoritariamente personalizan los productos para cada cliente y aumenta en 0,91% y 0,76%, la probabilidad de tener dos y tres tecnologías.

Por otra parte, cuando la empresa cuenta con una Dirección o comité de tecnología o I+D, se reduce en un 5,91% la probabilidad de que no se tenga implantada ninguna tecnología,

---

Determinantes del grado de adopción de la Industria 4.0

y aumenta en 2,56% y 2,13% la probabilidad de tener implantadas dos o tres tecnologías respectivamente, lo que demuestra la importancia de contar con un comité de tecnología o I+D, a la hora de adoptar la Industria 4.0. De la misma manera ocurre con el Grado de continuidad en el proceso de fabricación, ya que a medida que el sistema de fabricación se acerca al continuo, la probabilidad de que una empresa no cuente con ninguna tecnología se reduce en un 3,23%, un resultado razonable, ya que por lo general este tipo de sistema suele tener un alto grado de automatización. Y aumenta en 1,4% y 1,16% la probabilidad de tener implantadas dos y tres tecnologías.

## 5. CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIONES

Las tecnologías avanzadas son el núcleo de la Industria 4.0, un fenómeno que, según anuncian diferentes autores, marcará una disrupción en los próximos años, reemplazando las tecnologías convencionales y marcando nuevos modelos de negocio en las empresas.

En este contexto, el presente trabajo ha pretendido ofrecer una aproximación a cómo ha evolucionado la implantación de tecnologías avanzadas en las empresas manufactureras españolas y a la vez, estudiar cuáles son los factores que las hace más propensas a adoptar la Industria 4.0.

Por una parte, se ha acotado el término y definición de Industria 4.0, además de tratarlo desde diferentes perspectivas. Desde un punto de vista práctico, se ha explicado qué es lo que aporta la Industria 4.0 a las empresas, así como el giro que están dando los sistemas de producción actuales, y el reto que supondrá para las empresas españolas en los próximos años. Se ha ofrecido también el punto de vista de las políticas industriales y planes gubernamentales, recogiendo las distintas iniciativas de Industria 4.0 que se están poniendo en marcha a nivel internacional; también se define el contexto actual y estado de desarrollo en el que se encuentra España en relación a otros países, en cuanto a la adopción de tecnologías avanzadas.

Partiendo de un nivel de implantación en España inferior al que le correspondería por su desarrollo económico general, se ha llevado a cabo una primera aproximación a este fenómeno, desde el punto de vista aplicado, tomando una muestra representativa de empresas manufactureras españolas. En un análisis descriptivo de la información, se muestra cómo han evolucionado estas empresas en el período de estudio comprendido de 1998 a 2014 y cuál es el grado de implantación de cada una de las tecnologías avanzadas de fabricación en función de

sus características. En general, se aprecia que las empresas españolas, tienden cada vez más a implantar tecnologías avanzadas en sus procesos productivos, y algunos factores como el tamaño, la edad, la participación mayoritaria de capital extranjero y la búsqueda de flexibilidad en sus sistemas productivos, aumentan la predisposición de estas empresas a adoptar las distintas tecnologías que definen la Industria 4.0.

Finalmente, se ha realizado un análisis empírico donde se demuestra cuáles son los factores determinantes en la decisión de que las empresas adopten la Industria 4.0, mediante la estimación de un modelo econométrico que permita ofrecer contrastes de significatividad.

Uno de los hallazgos más relevantes es que, contrariamente a lo que establecen algunos autores, no es la fabricación por lotes pequeños (sistema de máxima flexibilidad) el contexto en el que las empresas deciden implantar esas tecnologías. Al contrario, son las empresas que fabrican por lotes masivos o en producción continua las que tienen mayor propensión a adoptarlas, especialmente si tienen también un producto particularizado para el cliente, frente al estandarizado. Ello permite dar una lectura diferente de la flexibilidad: es precisamente la adopción de tecnologías avanzadas la que convierte una empresa con un sistema general de fabricación poco flexible en uno flexible. Ello permite a las empresas disfrutar las ventajas en costes que proporcionan sistemas productivos más continuos sin sacrificar las ventajas de ser flexibles en la oferta del producto al cliente.

Para futuras investigaciones queda superar algunas limitaciones de este trabajo de investigación. Solo se han analizado tres tecnologías: Robótica, redes LAN y Ordenadores Centrales, que fueron las que mejor definían el comienzo hacia la digitalización de los procesos productivos, sin embargo hubiera sido interesante incorporar otras tecnologías como

el uso de la Nube, Fabricación aditiva o Big Data. Pero desafortunadamente, en la ESEE de 2015 aún no se han incorporado estas tecnologías.

La capacidad explicativa del modelo es moderada y, aunque se ha obtenido una significatividad muy clara para las distintas variables, sigue quedando una porción muy relevante de las decisiones de las empresas, por explicar.

Como valoración final, a lo largo del trabajo se ha pretendido arrojar luz sobre un fenómeno cuyo nombre comienza a estar manido. En el marco de la literatura más académica, se ha definido el concepto y se ha descompuesto en distintas tecnologías aplicadas con el fin de ofrecer una perspectiva práctica, tanto desde el punto de vista empresarial como de la política industrial. El análisis de una muestra representativa de empresas manufactureras españolas ha permitido obtener no sólo una descripción del comportamiento de las mismas, sino contribuir a la propia academia aclarando la verdadera relación causal entre la Industria 4.0 y la flexibilidad de la fabricación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bogle, Ian David Lockhart (2017). A Perspective on Smart Process Manufacturing Research Challenges for Process Systems Engineers. *Engineering*, 3(2), 161-165.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Rosenberg, M., & Keller, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:8, No:1*. 37-44
- Bueno Campos, E. (2004). *Curso básico de Economía de la Empresa*. Ed. Anaya.
- España 4.0: el reto de la transformación digital de la economía - Estudio de Digitalización - Siemens. (2015). Recuperado de [http://w5.siemens.com/spain/web/es/estudioidigitalizacion/Documents/Estudio\\_Digitalizacion\\_Espana40\\_Siemens.pdf](http://w5.siemens.com/spain/web/es/estudioidigitalizacion/Documents/Estudio_Digitalizacion_Espana40_Siemens.pdf)
- Ganزارain, J. & Errasti, N. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management JIEM*, 2016-9(5):1119-1128.
- Helu, M., Morris, K., Jung, K., Lyons, K., & Leong, S. (2015). Identifying performance assurance challenges for smart manufacturing. *Manufacturing Letters*, 6, 1-4.
- Herrmann, C., Schmidt, C., Kurlle, D., Blume, S., & Thiede, S. (2014). Sustainability in manufacturing and factories of the future. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1(4), 283-292.
- Industria Conectada 4.0. (2017). Recuperado de <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>



- Industry 4.0: Building the Digital Enterprise (2016). Recuperado de <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Informe Bankia Índicex 2016. (2016). Recuperado de [https://api.bankiaindicex.com/indicex\\_webservices/rest/informe/2016.pdf?UUID=](https://api.bankiaindicex.com/indicex_webservices/rest/informe/2016.pdf?UUID=)
- Jun, C., Lee, J. Y., Yoon, J.-S., & Kim, B. H. (2017). Applications' Integration and Operation Platform to Support Smart Manufacturing by Small and Medium-sized Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 11(Supplement C), 1950-1957.
- Kagermann, H. (2015). Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. En *Management of Permanent Change*. 23-45.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Noh, S. D. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111-128.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine. Conference Paper Archive* 48(3), 1870-1875.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Made in China 2025: The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries | Mercator for Institute for China Studies. (2016). Recuperado de [http://www.iberchina.org/files/2016/MadeinChina\\_2025\\_merics.pdf](http://www.iberchina.org/files/2016/MadeinChina_2025_merics.pdf)
- Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., & Garrido-Vega, P. (2016). Improving supply chain responsiveness through Advanced Manufacturing Technology: the mediating role of internal and external integration. *Production Planning & Control*, 27(9), 686-697.

- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466-473.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*. *HBR*, 1-23.
- Qian, F., Zhong, W., & Du, W. (2017). Fundamental Theories and Key Technologies for Smart and Optimal Manufacturing in the Process Industry. *Engineering*, 3(2), 154-160.
- Rüßmann, M., Pascal Engel, Markus Lorenz, Michael Harnisch, Jan Justus, Manuela Waldner, & Philipp Gerbert. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Boston Consulting*. 1-14
- Sachon, M., Zamora, J., & Padilla, E. (2017). Industria 4.0: ¿listo para la próxima revolución? *IESE Insight Review*, V. 33. 13-25
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Production Engineering*, 9(1), 143-148.
- Schmidt, R., Möhring M., Jozinović P., Neumaier P., Reichstein C., & Härting R. (2015). Industry 4.0.Potentials for Creating Smart Products. *Business Information Systems* 16-27
- Schuster, K., Groß, K., Vossen, R., Richert, A., & Jeschke, S. (2016). Preparing for Industry 4.0 – Collaborative Virtual Learning Environments in Engineering Education. *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016*. 417-427
- Wang, L., & Shih, A. J. (2016). Challenges in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 1.