



Trabajo Fin de Grado

Industria 4.0. La última revolución industrial.

Autor

Daniel Laguna Orduña

Directora

Gema Pastor Agustín

Facultad de Economía y Empresa
2019

RESUMEN

La perspectiva de la historia empresarial de España permite orientar cuestiones clave que afectan a los sistemas productivos actuales. El tema objeto de estudio de este Trabajo Fin de Grado consiste en analizar la posibilidad de la implantación en las empresas españolas de sistemas productivos asociados a la industria 4.0. A través de la evolución de los sistemas productivos, y del estudio de las tecnologías que los conforman, se realiza una comparativa entre España y el país precursor de cada revolución industrial. Asimismo, con estudio de la ya denominada como cuarta revolución industrial, se pretende destacar la importancia de la implementación de la industria 4.0 en los procesos productivos actuales y los beneficios y dificultades que las empresas españolas podrían encontrar en la misma.

ABSTRACT

Considering the business history of Spain, we can glimpse the key issues that affect the current production system. The main purpose of this essay consists on analysing the possibility of the implementation, into the Spanish's companies, of production systems associated to the industry 4.0. By means of production systems and the study of the technologies that make it up, it is made a comparison between Spain and the pioneer of each industrial revolution. Furthermore, based on what is called the fourth industrial revolution, it is intended to point out the importance of the implementation of the industry 4.0 in the current production processes and the advantages and the disadvantages that the Spanish companies may find in it.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTES DE LA INDUSTRIA 4.0. LAS PRIMERAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES.....	4
2.1. La primera revolución industrial	4
2.1.1. Situación socio-económica previa a la primera revolución industrial.....	4
2.1.2. La modificación en los procesos productivos durante la primera revolución industrial	6
2.1.3. La evolución de la primera revolución industrial. Comparativa entre España y los <i>first comers</i>	7
2.2. La segunda revolución industrial	9
2.2.1. La modificación en los procesos productivos durante la segunda revolución industrial 10	
2.2.2. La evolución de la segunda revolución industrial. Comparativa entre España y los países precursores del cambio	12
2.3. Tercera revolución industrial.....	13
2.3.1. La modificación en los procesos productivos durante la tercera revolución industrial.....	14
2.3.2. La evolución de la tercera revolución industrial. Comparativa entre España y los países precursores del cambio.	16
3. INDUSTRIA 4.0	17
3.1. Situación socio-económica actual	17
3.2. La modificación en los procesos productivos por la aparición de Internet	19
3.3. El desarrollo de la industria 4.0. Las <i>smart factories</i>	22
4. LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0. ALEMANIA Y ESPAÑA	26
4.1. Innovación en Europa.....	26
4.2. Industria 4.0 en Alemania	28
4.3. Industria 4.0 en España	30
4. CONCLUSIONES	32
5. BIBLIOGRAFÍA.....	35
GLOSARIO.....	37
Anexo 1. “Modelo de madurez de una smart factory”	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estrategias del proceso	20
Ilustración 2. Diagrama de dispersión.....	27

1. INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas han estado fuertemente marcadas por el desarrollo tecnológico continuo, cuyo resultado más notorio en el mundo empresarial ha sido el cambio en la organización tanto de los modelos de negocio como de los sistemas productivos. En este nuevo contexto, Internet, como tecnología transversal, ha propiciado un cambio en la manera de ampliar conocimientos y almacenar información. Una información originada a través del intercambio constante e invisible de datos, tanto personales como profesionales, que está transformando el sistema globalizado imperante en otro nuevo: un sistema interconectado.

En este mundo tan interconectado, en el cual las invenciones y reinventaciones están a la orden del día, no hacer nada y seguir operando de la misma forma que siempre puede suponer la quiebra de una empresa. Bien por haber supuesto que su sistema productivo no necesita una implementación de mejoras para hacerlo más eficiente, o bien por no haber entendido el cambio en las necesidades de consumo de los clientes, las empresas más tradicionales pueden verse rápidamente superadas por aquellas más flexibles o innovadoras.

Toda economía que quiera considerarse como dinamizadora debería favorecer el desarrollo un nuevo modelo de producción, en lugar de destinar sus recursos a remediar y parchear sectores productivos que se encuentran en proceso de reconversión y ajuste. (Gómez, 2011).

La proactividad de las empresas, en su adaptación a la nueva forma de competir que ha supuesto Internet, se está convirtiendo en un elemento clave para la supervivencia empresarial. Los administradores de estas empresas deben conocer el potencial de Internet y cómo su incorporación en los procesos productivos puede resultar un elemento clave para mejorar la competitividad, impulsar el crecimiento económico y ampliar la cuota de mercado de las empresas.

La competitividad de las empresas, tanto de España como del resto del mundo, ve peligrar su estabilidad si no se apuesta por la presencia de Internet a lo largo del proceso productivo y si no se adecúan correctamente los nuevos cambios tecnológicos que la Red trae consigo.

Unos cambios que, ante un proceso de transformación todavía inconcluso, resultan complicados de medir a nivel empresarial. Pero parecen ser tan importantes, que están dando lugar a un nuevo concepto denominado como industria 4.0 y a una nueva estrategia de producción que modifica la economía tradicional y supone la aparición de las denominadas *smart factories*.

El tema objeto de estudio de este Trabajo Fin de Grado consiste en analizar la posibilidad de la implantación en las empresas españolas de sistemas productivos asociados a la industria 4.0. Para ello, se plantean dos subobjetivos: (1) comprender, en qué consiste la industria 4.0 y por qué los cambios que supone son lo suficientemente importantes para que se esté considerando como la siguiente revolución industrial; (2) Describir los principales procesos productivos que se dan en el tejido industrial español actual y las facilidades o dificultades que eso puede suponer para implantar la industria 4.0 en sus empresas.

Para el primer objetivo, en el apartado 2 se define qué es una revolución industrial y cómo los cambios que producen afectan a la sociedad de manera transversal. Por su parte, en el apartado 3 realiza un paralelismo entre esta nueva revolución y sus predecesoras y en la manera en que los cambios tecnológicos afectan tanto a la sociedad en general como a las empresas en particular, hasta que dichos cambios resultan tan profundos que se denominan como una revolución industrial.

Por otro lado, el cuarto epígrafe comprende el segundo objetivo partiendo de la comprensión de la situación actual que expone el primero. De este modo, para el segundo objetivo se analizan la posición de partida de España y el país precursor de la industria 4.0, y cómo ambos pueden mejorar su situación actual para acelerar la implementación de las tecnologías inherentes a la nueva revolución industrial.

Por tanto, para realizar un correcto seguimiento de estos objetivos el trabajo en cuestión se ha dispuesto en los siguientes apartados:

- 2. "*Antes de la industria 4.0. Las primeras revoluciones industriales*". En este apartado se muestra una síntesis de las revoluciones industriales acaecidas hasta la actualidad, cómo se originaron, qué cambios produjeron en los sistemas productivos del momento y cómo estos cambios afectaron de manera diferente a las empresas de todo el mundo. Todo ello realizando una comparativa entre España y el país epicentro de cada revolución industrial.

- 3. "*Industria 4.0*". En este epígrafe se realiza una descripción de la situación socio-económica actual y de cómo, gracias a la aparición de Internet, se ha originado la que ya se ha denominado como la cuarta revolución industrial. Así mismo, se explicará cómo la industria 4.0 puede afectar a los procesos productivos actuales y cómo éstos pueden llegar a una transformación superior, que ofrezca la posibilidad de combinar una competencia en calidad del producto a un precio razonable, gracias a la industria 4.0 llevada al mundo empresarial con la construcción de las *smart factories*.

- 4. "*La implementación de la industria 4.0. Alemania y España*". En este apartado se presenta una síntesis del perfil empresarial de España, y cómo las PYMES, columna vertebral del tejido empresarial español, podrían beneficiarse de realizar inversiones en diversos campos relacionados con la innovación empresarial. Como se ha hecho con sus predecesoras, se realizará una comparativa entre la evolución de la industria 4.0 en España y Alemania, país referente en implementación en sus fábricas de tecnologías asociadas a dicha industria.

- 5. "*Conclusiones*". En este epígrafe se agrupan las ideas y conclusiones más importantes que se han ido desarrollando a lo largo del presente Trabajo Fin de Grado en lo que respecta a la industria 4.0 y la actual situación de España para con la misma.

2. ANTES DE LA INDUSTRIA 4.0. LAS PRIMERAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

El concepto de revolución industrial ha estado marcado por diferentes controversias interpretativas. Según José Luis García Delgado (2015) puede definirse como *“el conjunto de innovaciones tecnológicas y de organización de la producción que, unidas a otras de carácter social e institucional, promueven la ampliación de las capacidades productivas y la emergencia de las categorías propias del capitalismo industrial”*.

El debate en cuestión va más allá de la definición de revolución industrial. La verdadera controversia reside en encontrar dónde está el límite entre la línea que separa las mejoras en los factores propios de una revolución industrial y el desarrollo de aquellos factores e instrumentos definidos como propios de una revolución industrial independiente. Por ello, antes de entrar a definir en qué consiste y qué implicaciones tiene la industria 4.0, es importante exponer por qué el desarrollo de nuevas herramientas de trabajo y la evolución de los *know-how* a lo largo del tiempo han modificado el tejido industrial a lo largo de las distintas revoluciones industriales acaecidas hasta la actualidad.

2.1. La primera revolución industrial

2.1.1. Situación socio-económica previa a la primera revolución industrial

Los siglos previos a la revolución industrial se caracterizaron tanto en España como a nivel mundial por un dominio indiscutible del sector agrario y sus procesos productivos manuales y rudimentarios. La ampliación del alcance del comercio marítimo a escala mundial a través de nuevas rutas comerciales, tanto en el sudeste asiático como en el continente americano, propulsaron el desarrollo de sectores terciarios como el comercio o la banca, necesaria para la financiación de las largas rutas comerciales.

La mayoría de la población continuó agrupándose en pequeños núcleos rurales y las ciudades de la época se caracterizaron por aglutinar a mercaderes, artesanos y realizar en momentos puntuales del año ferias agrícolas y ganaderas. (Comín y Martín, 1996).

Esta población que se dedicaba al mundo agrario dedicaba su trabajo al autoconsumo, debido a la escasa productividad de los factores y a los métodos de trabajo, cuyos rendimientos y excedentes eran ínfimos. Por lo que apenas quedaba margen de

maniobra para un desarrollo más profundo de otras profesiones como artesanos o comerciantes, precursores de un sector industrial en el que por aquel entonces la inexistencia de máquinas y la dependencia directa de un sistema de gremios excesivamente rígido no les permitía evolucionar y desarrollarse.

Pero este hecho daría un vuelco al comenzar el siglo XVIII, ya que los desarrollos en medicina y las buenas cosechas en determinados puntos de Europa, como es el caso de Inglaterra, propiciaron una reducción de las hambrunas y las epidemias. Esta población por primera vez tenía la capacidad no solo de alimentarse, sino también de mantener excedentes alimentarios y de capital, factor clave para el desarrollo de una economía y caldo de cultivo para la transformación de los sistemas productivos de la época, los cuales más tarde serían bautizados como la primera revolución industrial.

Los motivos por los que surge el primer desarrollo industrial en la segunda mitad del siglo XVIII en Inglaterra son tanto económicos como sociales. Por un lado, Inglaterra era el imperio con más influencia a nivel mundial, dominando a su vez las principales rutas comerciales. Este hecho permitió a los comerciantes y a la sociedad burguesa, futuros propietarios de las fábricas, acumular grandes cantidades de capital que más tarde serían invertidos en el desarrollo de nuevos procesos productivos y la construcción de grandes centros de producción. A su vez, el interés de la nación atendía las demandas y preocupaciones de la mayoría de la población. Por ello, el hecho de que la acumulación de capitales estuviera en manos de las personas que buscaban el progreso a finales del siglo XVIII es la principal diferencia entre Inglaterra y el resto del mundo, incluida España.

Esta sociedad burguesa incrementó la acumulación de capitales gracias al desarrollo de una industria denominada “*domestic system*”, una industria que se concentraba en el medio rural y combinaba las labores agrícolas con la manufactura de productos textiles y que escapaba de la normativa que regía el sistema gremial. El empresario, normalmente un comerciante, proporcionaba la materia prima a los trabajadores en sus casas y volvía una vez que el proceso productivo manual hubiera finalizado, a cambio realizaba el pago a sus trabajadores en forma de salario, permitiendo incrementar también la acumulación de capitales en el medio rural.

Por su parte, en España los sistemas productivos continuaron siendo de tipo tradicional hasta casi mediados del siglo XIX. Los artesanos españoles se vieron escasamente

influidos por la aparición de unos empresarios a los que hoy en día se les denominaría mercaderes, los cuales pese a estar relacionados con los empresarios ingleses impulsores del “*domestic system*” proponían a sus trabajadores unas remuneraciones y unas jornadas de trabajo que distaban mucho de las ofrecidas por sus homólogos ingleses. De esta forma pese a que la idea inicial pudiera ser similar los resultados eran muy diferentes entre un país y otro.

2.1.2. La modificación en los procesos productivos durante la primera revolución industrial

Esta revolución industrial se data a finales del siglo XVIII y se fundamenta en transformaciones del sector agrario, demográficas y del comercio, impulsadas gracias innovaciones tecnológicas como la máquina de vapor y cuyo resultado más notorio fue el desarrollo industrial de Inglaterra. De esta forma la producción pasó de ser completamente artesanal y elaborada en pequeños talleres individuales a incorporar máquinas en el proceso productivo, el cual se llevaba a cabo en grandes fábricas mediante un sistema basado en la división del trabajo. Este sistema permitía incrementar notoriamente la productividad de los factores, abaratar los costes de producción y permitiendo introducir la idea de producción en masa.

Previamente a estas transformaciones industriales, se produjeron una serie de cambios en la actividad agraria que facilitaron dicha transformación. Fue el caso del cambio en la estructura agraria de la propiedad, pasando de los *open fields* a los *enclosures*, el cambio del sistema de barbecho por el Sistema Norfolk y la introducción de nuevos cultivos. De esta forma se incrementaron los excedentes alimenticios, los excedentes de mano de obra en el campo impulsaron a abandonar el medio rural en beneficio del auge de las ciudades y el aumento de las rentas conllevó a una acumulación de capitales que permitieron financiar los desarrollos de nuevas tecnologías y la construcción de fábricas.

Profundizando en los cambios en los procesos productivos, las innovaciones técnicas sustituyeron a la fuerza animal y humana. Estas primitivas fuentes de energía dejaron paso a una serie de innovaciones técnicas y tecnológicas que se retroalimentaban a través de una consecución de sinergias positivas. Por ejemplo, el cambio en los sistemas productivos agrícolas generan un aumento de excedentes, lo cual a través de un aumento del poder adquisitivo aumenta la demanda, la cual a su vez induce a un aumento en el

desarrollo de sistemas productivos que pueden ser implementados en otras industrias que a su vez generaran nuevas demandas y nuevas necesidades y por ende nuevos desarrollos tecnológicos.

Referente de esta serie de innovaciones es la invención de la máquina de vapor, implementada originalmente en el sector industrial para desarrollar los hornos, cuya potencia permitía mover las máquinas pesadas de las fábricas, en el sector textil para la producción de hilos y telares y en el sector de la minería para extraer agua de las galerías y posteriormente para el transporte y extracción de carbón. Esta materia prima, además de fuente de combustible para las nuevas máquinas, fue fuente de desarrollo de otra importante innovación tecnológica de la época, el ferrocarril. El nuevo medio de transporte fue el primero de gran capacidad por medio terrestre, lo que permitió incrementar exponencialmente el intercambio de grandes mercancías entre ciudades de forma más directa que el barco y sirvió como fuente de desarrollo para el comercio interior. Además, indirectamente, permitió desarrollar la industria de la siderurgia, que con el desarrollo de nuevos metales permitió el perfeccionamiento de las máquinas y el desarrollo de más industrias como la química, que ayudaron a crear nuevas formas de almacenamiento para los productos como el empaquetamiento o el embotellado.

Al continuo desarrollo de los procesos productivos se sumó el desarrollo en materia de comunicaciones con la invención del telégrafo. Como resultado de esta sucesión de innovaciones y desarrollos se puede concluir que el ratio de capacidad de la producción¹ fue el mayor hasta la época.

2.1.3. La evolución de la primera revolución industrial. Comparativa entre España y los *first comers*.

Este primer proceso de transformación de los métodos de producción se llevó a cabo de forma muy desigual tanto espacial como temporalmente. Después de Inglaterra, y pasado el primer cuarto del siglo XIX, Bélgica y Francia, conocidos como los *first comers*², iniciaron procesos de industrialización de sus factores productivos cuyos niveles alcanzaron cuotas similares a las inglesas en torno al año 1830. Estos procesos consistieron en una asimilación de las innovaciones técnicas y tecnológicas acaecidas en Inglaterra con el desarrollo del ferrocarril como factor clave para conectar ambos países,

¹ Símil a la productividad total de los factores.

² Término para distinguir a los países que siguieron con relativa prontitud el camino para la implantación de la primera revolución industrial.

aumentando las transacciones comerciales terrestres, y para permitir llevar los productos industriales hasta los ciudadanos, debido a que el tejido industrial se concentró en zonas con grandes explotaciones de carbón. A estos países se sumarían Países Bajos y Alemania posteriormente, los cuales se beneficiaron de los flujos migratorios desde Inglaterra de mano de obra cualificada y la aportación tecnológica desde el país anglosajón.

Los países que, por el contrario, comenzaron su proceso de industrialización en la segunda mitad del siglo XIX se les denominó *late comers*³, donde Estados Unidos y Japón destacaron por la profunda transformación de sus sistemas productivos y la rapidez con la que se efectuaron dichos cambios pese a que ambos países llevaron a cabo su proceso industrializador de manera muy distinta. Estados Unidos desarrolló una potente industria agrícola basada en un extenso mercado interior y nuevos sistemas organizativos. Por su parte en Japón se produjo una apertura al comercio exterior, gracias a la cual sus tradiciones ancestrales se vieron influenciadas por las corrientes tecnológicas de Europa occidental.

En cuanto a la primera revolución industrial centrada en el caso español es importante destacar que, aunque la fecha en la que se data el inicio de este proceso industrializador está datada en la época decimonónica, lo cierto es que los cambios en los procesos y sistemas característicos de esta revolución no se efectuaron como tales fuera del ámbito regional hasta finales del siglo XIX. Tan solo regiones concretas con una fuerte tradición comercial lograron implementar dichos procesos, como es el caso de Barcelona en la industria textil y en las regiones del norte como Vizcaya en la siderurgia. (García y Myro, 2015).

Uno de los principales motivos del retraso en el proceso industrializador en España estaba en la escasa acumulación de capitales necesarios para iniciar un proceso industrializador en todo el país. Por otra parte, la acusada lentitud de su implantación se debe en parte a la debilidad que la burguesía española presentaba en las instituciones, las cuales aplicaban fuertes políticas proteccionistas y arancelarias que entorpecían los procesos librecambistas que impulsaron la revolución industrial en el resto de países.

³ Países que pusieron en práctica técnicas y procesos productivos asociados a la primera revolución industrial con posterioridad a los *first comers*.

Como se ha comentado anteriormente, solo regiones concretas de España habían iniciado un proceso industrializador previo. Es el caso de los comerciantes de la industria textil catalana, los cuales habían importado más de mil máquinas impulsadas por vapor procedentes de Inglaterra. Para conectar zonas costeras catalanas donde se estaban empezando a construir las primeras fábricas, se impulsó la primera línea de ferrocarril de España que unió Barcelona y Mataró con cerca de treinta kilómetros de vías. Pese a la corta distancia se permitió multiplicar exponencialmente el número de telares y obreros y con ello la productividad de la industria textil de la zona.

En cuanto a las zonas del norte del país se caracterizaron por el desarrollo de altos hornos para potenciar la industria siderúrgica de los alrededores, como en el caso de Asturias y el norte de Castilla y León, en especial León y Palencia con las cuencas carboníferas, y regiones del País Vasco donde se incrementó la importación de carbón inglés para hacer funcionar las máquinas necesarias para la extracción del hierro de la zona.

Con el paso de las décadas esta divergencia industrial entre regiones se fue reduciendo y se llevaron a cabo procesos industrializadores en otros puntos de España en industrias muy concretas, como fábricas de azúcar, de papel y de harina en regiones del interior como Aragón; fábricas de aceite, de productos cárnicos y dedicadas a la extracción de metales como el cobre en zonas de Andalucía próximas a la costa y al entorno de la ciudad de Sevilla; de productos primarios como el calzado, en regiones del levante; y la consolidación de Madrid como eje vertebrador en materia de financiación.

2.2. La segunda revolución industrial

Los primeros procesos de industrialización acaecidos en Inglaterra e implantados posteriormente en distintos países dieron paso a nuevos sistemas productivos, nuevas formas de organización y al desarrollo de nuevas tecnologías que permitieron manipular nuevas formas de energía para alimentar el nuevo entramado industrial. La renovación de las bases tecnológicas y organizativas fue tan intensa que se denominó segunda revolución industrial. Una revolución basada en un alto contenido tecnológico y científico y dirigida a transformar los sistemas productivos hacia los bienes de inversión y de consumo en masa. Esta nueva etapa industrial se inició en el último cuarto del siglo XIX y se vio interrumpido por el estallido de las dos Guerras Mundiales y la primera gran crisis económica a escala mundial del periodo de entreguerras. Al igual que su

predecesora, los desarrollos tecnológicos e industriales de un sector se retroalimentaron con las innovaciones de otros en un nuevo paradigma de sinergias que transformaron la industria en todos sus niveles.

El referente de esta revolución vuelve a ser Inglaterra, ya que como pionera de la primera revolución industrial acumuló una gran cantidad de capitales procedentes del desarrollo de su industria textil y la exportación de innovaciones a otros países. La clave de su éxito estuvo en la reinversión de estos capitales en innovación y desarrollo de nuevos procesos productivos y nuevas máquinas que le permitieron seguir conservando el título de potencia tecnológica. Un puesto que en esta revolución se disputaría entre Estados Unidos, Alemania y la propia Inglaterra.

2.2.1. La modificación en los procesos productivos durante la segunda revolución industrial

Por su parte, los nuevos sistemas organizativos dieron lugar a la constitución de un mayor número de empresas que incrementaron la competencia en los mercados a escala mundial. Este nuevo sistema competitivo global obligó a las empresas a, además de seguir siendo intensivas en capital, a explotar sus economías de escala y de alcance de una manera más eficiente (Chandler, 1990). Sin embargo, estos sistemas productivos tenían un mayor riesgo en comparación a las empresas que centraban su intensidad en el factor trabajo debido al notorio incremento de costes fijos y hundidos a los que debían hacer frente, y por tanto, sus sistemas eran dependientes de un uso intensivo de la capacidad de sus instalaciones.

Por tanto la apuesta por los nuevos sistemas productivos hizo necesaria una reestructuración de la manera en que el flujo de inputs y de maquinaria se llevaba a cabo entre empresas, lo que a su vez dinamizó el sistema de transportes y comunicaciones a nivel mundial.

Conforme se consolidaron los nuevos sistemas productivos, el uso de las capacidades de la empresa se consolidó en paralelo, haciendo notorio entre los empresarios que se podían seguir reduciendo los costes de producción contra mayor fuera el uso intensivo de las instalaciones. Es en este punto donde el uso eficiente de los tiempos de producción centra el interés de los expertos como herramienta clave para cualquier organización que busca reducir sus costes gracias al conocimiento, las habilidades, la experiencia y la buena organización del trabajo en equipo. (Chandler, 1990).

Cabe destacar entre los impulsores de esta corriente científica enfocada a la organización de los procesos productivos a F. W. Taylor, el cual concibió el proceso bajo la especialización de los puestos de trabajo y la estandarización de los procedimientos. Para él la optimización del tiempo era el summum de toda empresa cuyo objetivo fuese la reducción de sus costes de producción. Para ello propuso la implantación de un estricto cronometraje de todas las tareas abogando por la eliminación de las que fuesen innecesarias para la producción de los bienes finales. Además, planteó la ubicación de los obreros en un puesto de trabajo en el que apenas tuvieran que moverse para desempeñar su tarea y en la que estuvieran aislados de sus compañeros y, en general, de todo aquello no relacionado con su puesto de trabajo. De esta forma se produjo por primera vez una drástica división entre el trabajo de esfuerzo psíquico y el manual, donde los trabajadores que desempeñaran el primer trabajo debían organizar y supervisar el trabajo de los segundos.

El auge económico de las principales potencias mundiales ligado a un sistema de producción intensivo en capacidad, que necesitaba de un consumo constante de la población para mantenerse, propulsó la libre circulación de capitales y el aumento de salarios entre la población. Anteriores productos denominados bienes de lujo pasaron a estar disponibles económicamente entre la mayoría de clase obrera, produciéndose un cambio socioeconómico que fue denominado como consumo de masas⁴. Históricamente el mejor reflejo de esta situación se encuentra en Estados Unidos en el período comprendido entre 1900 y 1920, una época denominada como “los felices años 20” o *roaring twenties*.

Con este cambio de mentalidad basada en un sistema de producción y consumo constantes se desarrolla el automóvil como nuevo medio de transporte gracias a los descubrimientos del motor de combustión y el uso de nuevas fuentes de energía como el petróleo. Con él se desarrolló un nuevo sistema productivo en el que se desarrollarían las ideas propuestas por Taylor, el fordismo.

En las fábricas de automóviles de Henry Ford, se implantó un proceso productivo basado en la especialización del trabajo llevaba a su punto más extremo, lo que permitía una reducción de costes de producción todavía mayor que la de sus predecesores y por

⁴ Entendido como comportamiento generalizado de consumo por parte de todos los sectores de la población como forma de integración social alimentado por la publicidad y las modas del momento.

tanto un importante abaratamiento del precio de compra para los clientes. La diferencia básica respecto al taylorismo radica en que el trabajador no debe actuar como si fuera un engranaje impersonal de la gran máquina que es la empresa. Para ello, el fordismo utilizaba en sus procesos de producción una combinación de cadenas de montaje y maquinaria especializada en ensamblados, donde un elevado número de trabajadores se distribuían a lo largo de las cintas de la cadena de montaje por las que circulaban los componentes que, una vez ensamblados, daban lugar al producto final, asegurándose de que hubiera una producción constante de vehículos idénticos. Por tanto este sistema productivo basó su éxito en elevar los salarios de sus trabajadores para que a su vez al aumentar su capacidad adquisitiva reinvirtieran comprando coches de la compañía.

2.2.2. La evolución de la segunda revolución industrial. Comparativa entre España y los países precursores del cambio

Tras la Primera Guerra Mundial, Inglaterra cedió el título de potencia tecnológica a otros países que durante la primera revolución industrial habían sido *late comers*, como es el caso de Alemania, Estados Unidos y Japón. Estos países centraron sus innovaciones tecnológicas en desarrollar nuevos sectores productivos, como la industria del acero, la industria química y la industria automovilística, industrias donde la ciencia fuera el principal motor de producción.

En el caso de España se puede afirmar que también sufrió una profunda transformación de sus procesos productivos, pero con importantes diferencias respecto a los países pioneros de la segunda revolución industrial. Al igual que los países precursores, España combinó la introducción de innovaciones tecnológicas de la segunda revolución industrial con las nuevas fuentes de energía y materiales necesarios para ello, como la electricidad el petróleo y el acero, pero su transición tecnológica hasta la completa implementación de los procesos productivos característicos de esta segunda revolución industrial se dilató considerablemente en el tiempo. El motivo principal era que, al igual que en la primera revolución industrial, la introducción de innovaciones se basó en la compra de éstas a otros países y a la dependencia de inversión extranjera para desarrollar las nuevas industrias. Al contrario que otros países, que habían sido al igual que España países considerados *late comers* en la primera revolución industrial, las empresas españolas no habían apostado por invertir sus recursos en investigación y desarrollo, sino que los dedicaban a la compra de instalaciones y maquinaria con dicha tecnología ya incorporada. Motivo de ello pudo estar justificado en la escasa

interiorización del concepto de capitalismo que se tenía en las empresas, donde en una economía todavía fuertemente intervenida por el Estado se buscaba que las regulaciones fueran las que se acomodasen a los intereses de los empresarios y no a la inversa. (Collantes, 2016)

Pese a ello en España se situó a la gran empresa y a las tecnologías como fuente de desarrollo. Como prueba de ello se encuentra la creación de Seat o la implantación de filiales de grandes cadenas automovilísticas extranjeras como Renault, donde a través de líneas de producción en masa todos los procesos productivos se llevaban a cabo dentro de la empresa. Sin embargo el tejido industrial español continuó fuertemente dominado por las PYMES de tipo familiar, hasta tal punto que ni una empresa industrial de España se encontraba entre las grandes empresas a nivel mundial.

2.3 Tercera revolución industrial

La innovación en los productos, basada en la ingeniería y la estadística, y el desarrollo de nuevos sistemas de telecomunicación a través de ondas reorientó la industria hacia una nueva revolución industrial que empezó a gestarse en las últimas fases de la Segunda Guerra Mundial. Aunque es un proceso que se desarrolló simultáneamente en distintos países, fue necesaria la intervención de Estados Unidos en la mayoría de ellos. En Europa Occidental se llevaron a cabo políticas económicas de ayuda, como el Plan Marshall, para volver a impulsar la industria devastada por la guerra en países como Inglaterra, Francia o la República Federal de Alemania. En el caso de Japón la Guerra de Corea impulsó la industria japonesa, convirtiéndose en proveedor principal de suministros y maquinaria, lo que permitió el desarrollo de compañías líderes en innovación, como es el caso de Toyota, referente a nivel mundial de esta tercera revolución industrial.

El objetivo de estos países impulsores era dotar a sus industrias de la tecnología suficiente para hacer del conocimiento una ventaja competitiva que permitiera a las empresas posicionarse como líderes del sector a nivel mundial. El problema radicaba en salir del sistema de producción en masa en pos de la diferenciación en los productos dentro de la misma industria. El problema se agravaba debido a que la implantación de grandes industrias suponía fuertes barreras a la entrada para nuevas empresas innovadoras que contaban con un capital inicial reducido.

2.3.1. La modificación en los procesos productivos durante la tercera revolución industrial

Para esta revolución industrial, el tiempo deja de ser el principal factor productivo a tener en cuenta en pos de una búsqueda de mejora de los sistemas de producción. Lo que se conocería más adelante como Sistemas de Calidad Total, donde el control de los procesos determinaría las estrategias de las empresas. De esta forma el conocimiento y el saber se posicionaron como principal fuente de innovaciones productivas, donde las empresas que apostaban por la ciencia intentaban conseguir economías de alcance. Como ejemplo más destacable se encuentra el sector farmacéutico, donde Alemania a través del desarrollo de su industria química fue el principal precursor y Estados Unidos el principal beneficiario tanto en conocimientos como en incursión en mercados externos gracias a su nuevo papel como país interventor.

La informática jugó un papel fundamental en los sistemas de mejora de control de la calidad, controles que más tarde serían adoptados por empresas que no necesariamente contaban con un carácter innovador. El hecho de que la computación entrase a formar parte de prácticamente todos los procesos productivos de la empresa se debe mayoritariamente a la popularización de la informática con la compra de ordenadores para uso doméstico. De esta forma su industria logró controlar sus procesos productivos de forma más eficiente y reducir los costes de producción haciendo posible el acceso a los ordenadores a un número cada vez mayor de personas y empresas.

La implementación de la informática permitió el desarrollo de máquinas cuyas órdenes venían dadas a través de programas informáticos, los robots. El uso de robots permitió que los procesos ampliasen su ratio de capacidad de producción exponencialmente además de reducir los fallos humanos en un sistema innovador que más tarde sería denominado como automatización.

Los sistemas automatizados se fundamentaron en el desarrollo de la mecanización de las industrias. El objetivo final era desarrollar una serie de sistemas que permitieran, a través de programas informáticos, que las máquinas llevaran a cabo procesos o tareas de forma automática, es decir, sin necesidad de que el ser humano interviniese cada vez que tuvieran que realizar una acción.

De esta forma la automatización pasó de ser un sistema de producción utilizado por unas pocas empresas a convertirse en una herramienta imprescindible para competir con

el resto de empresas del sector. Son muchas las ventajas que englobaban la automatización de los procesos productivos, entre los que se destacan: una mejora de la productividad de la empresa, tanto en reducción de costes y tiempo de producción como en mejora en la calidad de la misma al reducir los desperdicios y defectos; mejora en las condiciones de trabajo, tanto por seguridad como supresión de tareas repetitivas que no permitían desarrollar el potencial de los trabajadores; incremento de la producción, tanto al reducir los tiempos de espera de los consumidores como al incrementar la disponibilidad de los productos en el momento que se necesiten. Es importante destacar que los detractores de la automatización de aquel entonces se excusaban en el elevado coste de su implantación, viéndolo como una desventaja que eclipsaba las ventajas anteriormente mencionadas, pero con el paso de los años se ha demostrado que esa visión de coste está asociada a día de hoy por todos a una inversión. Estas personas argumentaban su resistencia al cambio en el hábito y costumbre del uso de los sistemas productivos ya implementados, donde el rechazo al cambio se encuentra sustentado por la inseguridad hacia lo desconocido y el miedo a las implicaciones de un cambio en el paradigma industrial. Como organización, en muchos casos se dan empresas que continúan activas por simple inercia estructural, ya sea de sus instalaciones o de los equipos que trabajan en ellas, en donde la entrada de nuevos sistemas productivos y por ende de nuevo personal altamente cualificado se ve como una amenaza a las relaciones de poder y la asignación de recursos.

La globalización que se fraguaba en los inicios de la era de la automatización hacía prever que el mercado internacional, al que muchas empresas se consideraban ajenas, iba a ser el campo de batalla donde solo las empresas más competitivas iban a sobrevivir, ya fuera compitiendo en cantidad o en calidad.

Los nuevos sistemas productivos de la tercera revolución industrial permitieron desarrollar economías de escala más flexibles que necesitaron la especialización del personal de las empresas, cuyos conocimientos técnicos fueron primados en un sistema que fue sustituyendo la mano de obra de las tareas más rudimentarias por los nuevos autómatas. La fusión de mano de obra humana y robótica permitió corregir los fallos que presentaban los procesos productivos de las dos revoluciones industriales anteriores, completarlas y, en los casos en los que cabía la opción, desarrollarlas.

2.3.2. La evolución de la tercera revolución industrial. Comparativa entre España y los países precursores del cambio.

Volviendo al caso español, la implantación de las innovaciones tecnológicas en la industria ha sido considerablemente mayor en esta ocasión de lo que lo fue en su momento para las dos revoluciones anteriores. La informática y las telecomunicaciones fueron las principales tecnologías que se implantaron en las empresas españolas, extendiéndose no solo a la industria sino a otros sectores, como la banca, y permitiendo mejorar considerablemente la gestión interna y la coordinación interdepartamental. Si bien es cierto que España ha seguido un recorrido paralelo en comparación a los países de Europa Occidental en términos de aplicación tecnológica y de nuevos conocimientos, cuando los datos se comparan en términos de innovación propia España vuelve a quedarse muy por debajo de estos países. Durante todo el siglo XX la mayoría de empresas multinacionales a nivel mundial sufrieron un proceso de concentración empresarial, mediante el cual se crearon filiales de las empresas más importantes que posteriormente serían las encargadas de llevar las innovaciones a países donde no estuvieran desarrolladas aún. De nuevo los avances en I+D y la innovación en los procesos se dieron de la mano de la inversión extranjera, unos avances que se desarrollaban en los países de origen y cuyos beneficios por tanto se quedaban allí. (Pérez, 2014)

Las empresas españolas, aunque absorbieron el nuevo contenido tecnológico, se especializaron en sectores con una sobredimensión del uso de mano de obra, destacando especialmente el sector de la construcción.

A esta situación se sumó el hecho de que España resultara ser uno de los países donde más costó transformar la inversión de I+D en patentes, por lo que las empresas se veían obligadas a mantener su dependencia a las innovaciones extranjeras. Como resultado el tejido industrial español, en contraposición a los países que introdujeron las innovaciones tecnológicas de esta revolución industrial, apostó por un crecimiento centrado en industrias de bajo nivel tecnológico y una baja exposición a la competencia global.

En cuanto al modo de organización de las empresas españolas, se debe remarcar el esfuerzo realizado por aumentar la dimensión de las mismas en pos de un aprovechamiento más eficiente de las economías de escala, donde destacan las empresas

de la industria eléctrica y del sector de las telecomunicaciones. Esta mayor dimensión industrial permitió crear una serie de redes de comunicación para estrechar lazos estables de colaboración con empresas extranjeras del mismo sector.

Todos los cambios anteriormente descritos en los procesos productivos y la forma de organización empresarial no supuso la desaparición de la pequeña y mediana empresa como espina dorsal del tejido industrial español, sino que acentuó todavía más su apuesta por este tipo de empresas en comparación a los países europeos más avanzados, Estados Unidos o Japón.

En un marco cronológico, esta revolución industrial se caracterizó en España por una implantación lenta e irregular donde la industria española salió de sus procesos de contracción, debido a las sucesivas crisis económicas de los años setenta y siguientes, apoyándose en sectores poco intensivos en tecnología. La implantación de la tecnología y los nuevos conocimientos a los procesos productivos se fundamentó en una adición de cantidades mayores de inputs, sobre todo de mano de obra, pero no en la búsqueda de mejores combinaciones que permitieran un aprovechamiento más eficiente de estos inputs. Por ello la productividad total de los factores sufrió un fuerte receso y la economía española quedó preocupantemente vinculada a las demandas del sector de la construcción residencial.

3. INDUSTRIA 4.0

3.1. Situación socio-económica actual

Los orígenes de Internet se encuentran en la interrelación entre la investigación universitaria, los programas militares y la propia ciencia. El objetivo inicial del mismo, con fines militares durante la Guerra Fría, fue sustituido por otro más ambicioso con base puramente científica y posteriormente se trasladó al ámbito empresarial. Las empresas no tardaron en ver oportunidades de negocio en una tecnología revolucionaria para la época. Sin embargo, su implementación a la hora de interaccionar con terceros ha sido reducida. Hace apenas una década, las empresas utilizaban Internet para crear sus páginas web, las cuales se limitaban a listar los productos y servicios que las empresas ofrecían. Esta etapa cambiaría con el desarrollo del comercio electrónico, donde además de tener una página web era necesaria una tienda *on-line* que diera la opción a los clientes de realizar la compra directa de productos.

Desde entonces, el uso de Internet por parte de las empresas ha tenido un desarrollo acelerado en cuanto al uso administrativo y comercial. Los motivos principales son dos. Por un lado, las empresas vislumbraron Internet como una fuente de negocios que les permitía tener una gran visibilidad a un coste relativamente reducido. Por otro lado, con el desarrollo de los *smartphones* las compras a través de Internet se han multiplicado exponencialmente.

El problema surge cuando se compara el desarrollo del uso de Internet por parte de las empresas en lo que respecta al uso administrativo y comercial respecto del uso en el proceso productivo, donde puede observarse una gran divergencia.

Para no quedarse atrás, los procesos productivos han tenido que ir ajustándose a las exigencias de este nuevo entorno para poder mantener un ritmo de crecimiento progresivo y favorecer la formación de sinergias tanto internas como externas. Pero todavía, el verdadero reto actual para Internet versa sobre cómo las nuevas tecnologías, asociadas al mismo, pueden transformar los procesos productivos de todas las empresas en un entorno cada vez más dinámico que, debido a la globalización, está suponiendo nuevos retos en la administración de operaciones de las empresas.

Así, Heizer y Render (2014) destacan que algunos de los desafíos en este ámbito son:

Enfoque global: la considerable reducción de costes y tiempo en materia de comunicación y transporte ha provocado la internacionalización de las empresas en un proceso de competencia constante.

Desempeño justo a tiempo: pese a los avances tecnológicos de las últimas décadas todavía se destinan enormes cantidades de recursos al mantenimiento de *stocks* en los almacenes de las empresas, lo que impide destinar estos recursos al desarrollo de nuevas actividades.

Sociedades de cadena de suministro: tanto las empresas como sus proveedores deben estar mejor alineadas para dar un mejor servicio a sus clientes, combinando tecnología con procesos más eficientes y construyendo relaciones de colaboración estables y a largo plazo.

Desarrollo rápido de productos: las modas, tendencias y la publicidad masificada han llevado a acortar los ciclos de vida de los productos. Es por ello que las empresas deben invertir cada vez mayores cantidades de recursos en mejorar o mantener sus productos el mayor tiempo posible en el mercado.

Personalización en masa: en un mundo cada vez más globalizado la sociedad exige a las empresas que ofrezcan una experiencia de compra única para cada cliente, con una diferenciación en los productos que haga que el cliente se sienta identificado con la empresa gracias al producto adquirido.

Empleados con autoridad delegada: la expansión de la información en un proceso de tecnificación de los empleados ha llevado a muchas empresas a sustituir los antiguos modelos jerarquizados por otros con organigramas de tipo horizontal.

Sustentabilidad: las empresas deben procurar ampliar su capacidad productiva sin que ello lleve a un proceso de destrucción ambiental continuada. La sociedad por su parte se ha concienciado cada vez más de este problema y exige a las empresas que no solo cumplan con la normativa ambiental, sino que lleven a cabo acciones proactivas ampliando las bases de su responsabilidad social corporativa.

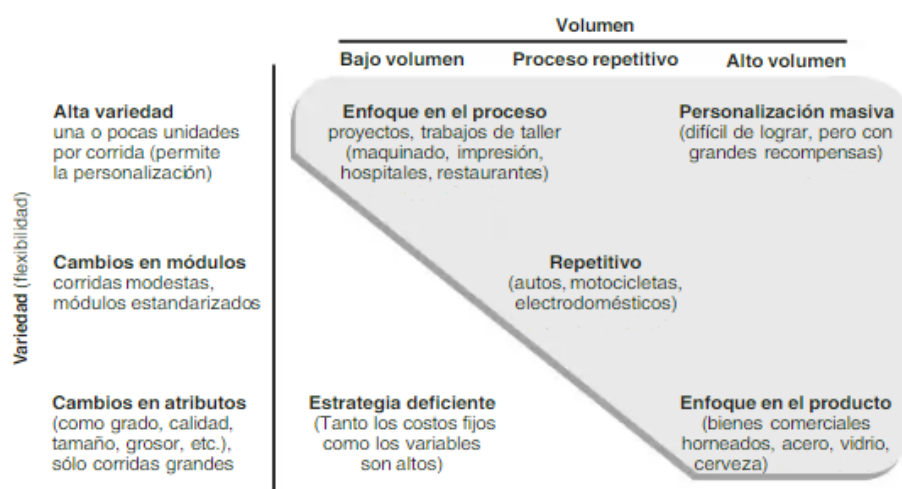
3.2. La modificación en los procesos productivos por la aparición de Internet

Basado en el manual de *Principios de Administración de Operaciones* (Heizer & Render, 2014), los procesos productivos actuales pueden diferenciarse en base a dos variables principales: volumen y variedad. Según el grado de especialización en una variable u otra (Ilustración 1), los procesos productivos se clasifican en cuatro grupos principales de estrategia en el proceso⁵: enfoque en el proceso, enfoque repetitivo, enfoque en el producto y personalización masiva⁶.

⁵ Entendida como el enfoque adoptado por una empresa para transformar sus recursos en bienes o servicios según los requerimientos del cliente y las especificaciones del producto en cuanto a costes y a posibles restricciones de las administraciones pertinentes.

⁶ Ver glosario para la explicación de estos conceptos.

Ilustración 1. Estrategias del proceso



Fuente: *Principios de Administración de Operaciones* (Heizer & Render, 2014).

De las cuatro estrategias anteriores, el enfoque en el proceso, el enfoque repetitivo y el enfoque en el producto suponen mantener una misma frontera competitiva, pero moviéndose entre las ventajas de la estrategia en diferenciación y las ventajas de la estrategia en costes. Este equilibrio entre diferentes estrategias se debe a que las ventajas de un enfoque producen a su vez inconvenientes inherentes al mismo, inconvenientes en los cuales las otras estrategias obtienen sus propias ventajas.

Sin embargo, la personalización masiva permite combinar las fortalezas que presentan tanto los sistemas enfocados en el producto como en el proceso, es decir, ser capaz de lograr una estrategia de diferenciación en los productos aunada con unos costes de producción relativamente bajos, permitiendo competir a su vez en reducción de costes. Por tanto, este enfoque destaca entre los otros tres como la estrategia ganadora. Pero esta estrategia, relativamente nueva, cuenta con una serie de dificultades inherentes a su aplicación que han supuesto una barrera para la mayoría de empresas que querían lograr su implementación. En concreto, este sistema productivo genera unos costes fijos elevados, por las máquinas necesarias para su desarrollo, y unos costes variables más reducidos, que varían en función de la cantidad de producto fabricado.

Con la aparición de Internet, algunas empresas han visto una oportunidad para poder implementar este proceso de personalización masiva en sus empresas, la cual es posible gracias a una mayor información sobre los consumidores y a un mayor control de los sistemas productivos. De este modo, se facilita la producción de lotes pequeños y personalizados sin que ello suponga incrementar en exceso los *setup costs*.

Pero, todavía, alcanzar una correcta implementación de este sistema productivo no es fácil. Conseguir la introducción de Internet en los procesos productivos resulta una ardua tarea si se compara con la introducción de Internet en los hábitos de vida de la sociedad en general. Para ello, la industria 4.0 permite salvar esta divergencia entre empresas y población en cuanto al uso de Internet en sus tareas cotidianas y, por tanto, alcanzar este enfoque en personalización masiva, sea cual sea el enfoque inicial de la empresa. Este hecho está respaldado en que todas las empresas se verán abocadas a implementar este enfoque en sus procesos productivos tarde o temprano si quieren seguir compitiendo en el mercado. Para ello, las empresas deberán llevar a cabo un proceso de transformación de las fábricas tradicionales a otras capaces de estar constantemente conectadas a la Red. Se trata de la *smart factory*, un concepto surgido a partir del desarrollo de la industria 4.0.

Pese a que no existe una definición única como tal, puede definirse a la Industria 4.0 como *“la integración de máquinas y dispositivos físicos complejos con sensores y software conectados en red, utilizados para predecir, controlar y planificar mejor los resultados comerciales y sociales”* (Lu, 2017). La Industria 4.0 se caracteriza por tanto por unos procesos de automatización y digitalización altamente desarrollados basados en el uso de las tecnologías de la información (IT), tanto para la fabricación de productos como para la oferta de servicios. Permite la personalización masiva, el aumento de la productividad, una mayor flexibilidad y velocidad de producción y la mejora de la calidad del producto. Esta personalización masiva permite la producción de lotes pequeños, incluso tan pequeños como elementos únicos, gracias a la fabricación aditiva y a la capacidad de configurar rápidamente las máquinas para que se adapten a las especificaciones proporcionadas por el cliente (Shafiq, Sanin, Toro, y Szczerbicki, 2015).

Esta flexibilidad también fomenta la innovación, ya que los prototipos o los nuevos productos se pueden producir rápidamente sin necesidad de configurar nuevas líneas de producción. Por lo tanto, se puede producir un producto y muchas variantes con una gran disminución en el inventario, ya que la maquinaria puede ajustar los procesos de producción en tiempo real (Bahrin, Othman, Azli, y Talib, 2016).

Para conseguirlo se utilizan las herramientas informáticas más innovadoras relacionadas con las IT: *Cloud Computing*, *Big Data*, *Internet of Things (IoT)* y los *Cyber Physical Systems (CPS)*, las cuales se han convertido en las tecnologías clave de la Industria 4.0⁷.

La rápida evolución y el desarrollo de estas herramientas han demostrado que en cuanto surgen nuevas tecnologías o nuevos *know-how* se busca desarrollar otras más avanzadas o perfeccionar las recientemente patentadas. Esta constante evolución tecnológica ha permitido pasar de la idea más básica de automatización de mediados del siglo XX a ideas todavía en desarrollo relacionadas con la industria 4.0. Una industria que, aunando personalización del producto con interconexión en su proceso productivo, puede llevar a las empresas que la implementen a un nuevo nivel de competencia que, además de sobrevivir, les permita ser referentes a nivel mundial.

3.3. El desarrollo de la industria 4.0. Las *smart factories*

En la industria 4.0, se espera que las fábricas sean capaces de adaptarse de forma continua e inmediata a distintas tareas, cambiar los productos que se fabrican y adaptarlos a las necesidades específicas de cada cliente; se espera que sean sostenibles y que sean, en sí mismas, inteligentes. (Quonext, 2018).

La Industria 4.0 permite que una fábrica sea inteligente al aplicarle sistemas avanzados de información y comunicación combinando las herramientas propias de las IT para cambiar el modo de producir (Sanders, Elangeswaran, y Wulfsberg, 2016). Para lograr implantar una industria 4.0 pura en los procesos productivos, las empresas deben basar esta implantación en cuatro pilares básicos: interconexión, transparencia de la información, decisiones descentralizadas y asistencia técnica⁸ (Hermann, 2016). Las empresas que comenzaron a utilizar una combinación de las herramientas de las IT junto con los anteriores términos, la denominan, cada vez con más fuerza, *smart factory*. Una *smart factory* representa la aplicación empresarial de todo lo que engloba la industria 4.0, en la que como se ha visto destacan los conceptos de personalización y flexibilidad, automatización, velocidad de producción o mejora de calidad (Bahrin, Othman, Azli, & Talib, 2016).

⁷ Ver glosario para la explicación de estos conceptos.

⁸ Ver glosario para la explicación de estos conceptos.

De esta forma, puede definirse la *smart factory* como “*aquel sistema de fabricación conectado y flexible que es capaz de adaptarse a las nuevas demandas gracias al flujo constante y actualizado de datos*” (MacDougall, 2014).

La implementación de *smart factories* representa una oportunidad que requiere un compromiso continuo para mejorar la competitividad y las capacidades de las empresas. Como beneficios principales de dicha implementación se han identificado cuatro: el aumento de la eficiencia en los procesos, el menor coste operativo, el aumento de la calidad del producto y el incremento en la seguridad en el puesto de trabajo.

El primer beneficio se ha logrado a través del análisis continuo de los datos. El aumento de la eficiencia facilita la identificación de cuellos de botella y reduce tanto el tiempo de inactividad del equipo como los tiempos medios de producción. Por su parte, un menor coste operativo puede alcanzarse utilizando las cantidades necesarias de input en el momento requerido. Con ello, se permite alcanzar la optimización de los recursos a lo largo del proceso productivo. Por otro lado, el aumento en la calidad de los productos, a través de la supervisión en tiempo real de todas las etapas del proceso productivo, se fundamenta en el uso de enfoques predictivos y de detección que permiten descubrir defectos de calidad y reducir sus desviaciones. A ello, hay que sumar la reducción de las tasas de desperdicio y de las devoluciones de los productos. Por último, el incremento en la seguridad en el puesto de trabajo y la sostenibilidad medioambiental pueden alcanzarse gracias a las mejoras en todos los módulos que componen el proceso productivo. Por un lado, el aumento en la autonomía de dichos módulos, gracias a los sensores, permite reducir tanto los accidentes laborales como los errores humanos en dichos accidentes. Por otro lado, permiten minorar el impacto ambiental de la fábrica en relación al impacto que suponían los procesos de fabricación más tradicionales.

Estos beneficios son los básicos inherentes de implementar una *smart factory*, pero dependiendo del tipo de negocio pueden surgir numerosos más. Algunos analistas predicen para sectores concretos un aumento de siete veces la productividad general para 2022 (Sjödín, Frishammar, y Eriksson, 2016).

Sin embargo, implementar una innovación tan profunda en los procesos, especialmente en un campo tan complejo como las *smart factories*, suele ser complicado y acarrea costes muy elevados (Robertson, Casali, y Jacobson, 2012; Sjödín, Frishammar, y Eriksson, 2016). Para que sea plenamente operativa, toda la instalación debe estar

constantemente interconectada, por lo que todos los subsistemas y procesos deben funcionar bajo la misma base tecnológica que el sistema de producción principal. Sjödin, Frishammar, y Eriksson (2016) abordan en su artículo “*Smart Factory Implementation and Process Innovation*” los principales desafíos para pasar de las fábricas actuales a las *smart factories* centrados en tres pilares: las personas, los procesos y las tecnologías.

Esta distribución se ajusta a las medidas definidas por estudios previos sobre la gestión del cambio (Blackburn, Alexander, Legan, y Klabjan, 2017). En lo referente al desafío del personal se desataca la falta de una visión y comprensión conjunta del concepto de *smart factory*, a la que se suma la amenaza percibida por los trabajadores en lo referente a sus puestos de trabajo respecto a las nuevas tecnologías.

En cuanto a los procesos, la cultura corporativa puede resultar muy difícil de cambiar para las empresas maduras ya asentadas, donde los nuevos modelos pueden tener un proceso de digitalización demasiado dilatado en el tiempo.

Por último, en lo que respecta a la tecnología, el mayor problema está en la dificultad para evaluar los beneficios potenciales del nuevo modelo, los cuales solo verán la luz años después de que se hayan llevado a cabo fuertes inversiones financieras que pueden no convencer a todos los socios por su incertidumbre tanto en número como en tiempo.

Pese a la enorme importancia de los tres problemas presentados, (Sjödin, Frishammar, y Eriksson, 2016) muestran cómo Truckcorp y Carcorp⁹ han logrado implementar con éxito el concepto de *smart factory* en sus fábricas. Basándose en estos dos casos de estudio, dieron para cada uno de los problemas mencionados una solución que lograra una implementación correcta de *una smart factory*.

Así, en líneas generales y según estos autores, para lograr implementar una *smart factory* se debe reclutar un personal que sea capaz en las nuevas competencias digitales, así como desarrollar las del personal ya existente; han de implementarse procesos autónomos y flexibles que sean capaces de actualizarse cuando lo haga la propia tecnología, y esta tecnología ha de establecerse a través de módulos para que su complejidad no nuble las oportunidades que brinda. Es por ello que no solo basta con

⁹ Empresas líderes dedicadas a la fabricación de automóviles. En concreto se estudiaron en total cinco fábricas, seleccionando ambas empresas por su reconocimiento como pioneros en la innovación de procesos y la implementación de *smart factories*.

implementar las tecnologías pertinentes al inicio, sino que se debe aprender continuamente de ellas en un proceso de ajuste constante (Robertson, Casali, y Jacobson, 2012).

Estas ideas generales, pueden traducirse en una serie de actividades concretas que llevar a cabo. Dada la dificultad económica y social de abordar toda la reestructuración rápidamente, dichas actividades se dividen en cuatro niveles de actuación que pueden ayudar a reconducir una empresa de tipo tradicional hacia una *smart factory*. Estas actuaciones se presentan en el anexo 1¹⁰ y se agrupan en los siguientes niveles:

Nivel 1. Tecnologías conectadas: como nivel base, se concentra en la importancia de crear una cultura colectiva donde la digitalización sea el sumun de la empresa. Para ello, se debe buscar personal con habilidades tecnológicas altamente desarrolladas, hay que desarrollar plataformas conectadas para conectar todo el proceso productivo y debe implantarse un sistema modular que, a través de la transferencia de datos, sea capaz de usar todas las tecnologías existentes para dar un mayor valor añadido a los productos.

Nivel 2. Recopilación e intercambio de datos estructurados: una vez desarrollada una visión de conjunto, las empresas deber implantar modelos estructurados, comunes a toda la empresa, para almacenar datos e intercambiarlos con los módulos pertinentes. Con el uso eficiente de estos datos, se alcanzará una mejor gestión de los recursos de la empresa.

Nivel 3. Análisis de procesos en tiempo real y optimización: con los modelos de recopilación de datos ya implantados, se procede a llevar a cabo el análisis de datos y la extracción de las conclusiones que ofrecen. Con la información transformada en conocimiento, gracias a su interpretación por parte de analistas y científicos con el uso de herramientas como el *Big Data*, es posible realizar diagnósticos en tiempo real así como análisis del desempeño de la empresa permitiendo la optimización de los recursos.

Nivel 4. Fabricación inteligente y predecible: la clave para alcanzar un modelo de madurez de una *smart factory* se concentra en no conformarse con haber completado los tres niveles anteriores. Una vez implementado el modelo de *smart factory*, se debe seguir fomentando una cultura innovadora dentro del personal, el cual debe seguir viendo a la tecnología como su mayor aliada para alcanzar los objetivos fijados. Por

¹⁰ Ver anexo 1. "Modelo de madurez de una smart factory".

otro lado, se debe mantener un proceso de análisis de datos proactivo y predictivo, que sea capaz de pronosticar de la mejor forma posible las tendencias de la demanda. Todo ello, aunado a unas tecnologías predictivas extrapoladas a toda la cadena de suministro, conducirá a un mayor grado de fiabilidad de estos sistemas y por ende a un notorio aumento de los beneficios.

4. LA IMPLEMENTACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0. ALEMANIA Y ESPAÑA

4.1. Innovación en Europa

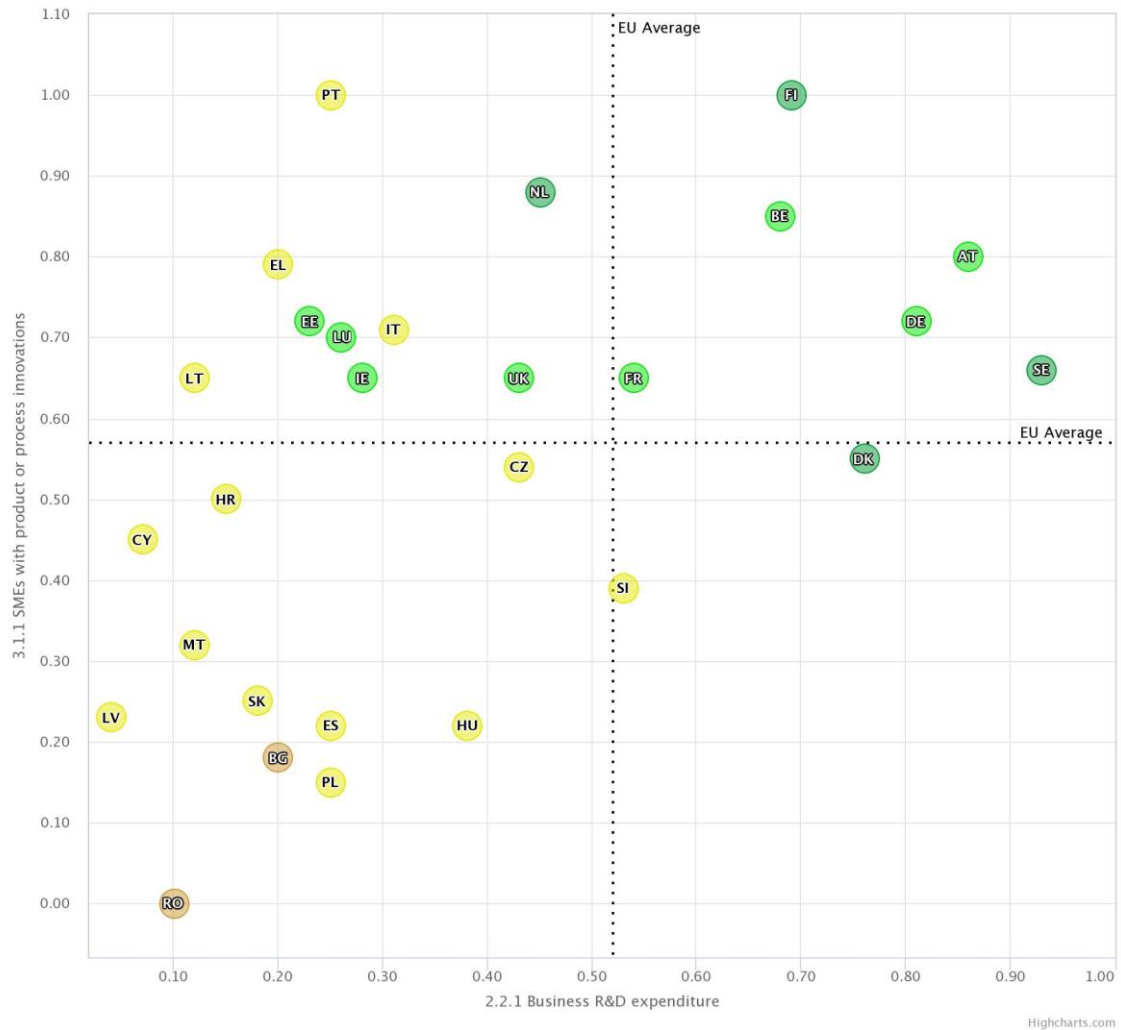
A partir del análisis del informe “*Country-specific recommendations 2019 Research and Innovation analysis*”, elaborado por la dirección general de investigación e innovación de la Comisión Europea, puede realizarse una radiografía comparativa de la situación en la que se encuentra cada país de la Unión Europea en cuanto a su posición para lograr la mejor implementación posible de la industria 4.0. Este estudio se desarrolla con el objetivo de incentivar a los países miembros de la UE la modernización de sus economías y fortalecer su capacidad de recuperación económica. Todo ello con el fin último de incrementar su potencial de crecimiento.

A continuación, se muestra un diagrama de dispersión para los países de la Unión Europea tomando como valores las PYMEs con innovaciones de producto o proceso en el eje de ordenadas y el gasto de las empresas en I+D en el eje de abscisas. Todos los datos están referenciados para 2018.

Ilustración 2. Diagrama de dispersión

Relationship between 2.2.1 Business R&D expenditure and 3.1.1 SMEs with product or process innovations

Source: European Innovation Scoreboard 2019



Fuente: European Innovation Scoreboard 2019.

Todos estos Estados deben dar prioridad a las reformas dirigidas al crecimiento sostenible, con unas economías cada vez más digitalizadas, lo cual requiere de inversiones en materia de innovación, infraestructuras y competencias de sus ciudadanos. Tanto las regiones más avanzadas, como las que se sitúan a la zaga en los sectores industriales más cercanos a la industria 4.0, como es el caso del sector del automóvil, necesitan estas inversiones para acelerar los cambios tecnológicos que les permitan hacer frente a los nuevos retos que esta revolución industrial traerá consigo. En este punto resultan especialmente necesarias las inversiones en capital intangible en todos los niveles del proceso productivo para facilitar la adopción de las nuevas tecnologías.

Para analizarlo en más detalle, los siguientes subapartados presentan las posibilidades de innovar en industria 4.0 en España en comparación a la situación en Alemania, país de la Unión Europea donde más avanzada se encuentra.

4.2. Industria 4.0 en Alemania

Pese a que esta cuarta revolución industrial no tiene un epicentro geográfico claro, pues muchos de los términos asociados a la misma surgen de manera simultánea en distintas partes del mundo, en 2011 surgió en Alemania la idea de agrupar estas herramientas asociadas a la interconexión, junto con los sistemas productivos ya existentes aunque infinitamente mejorables, como una revolución industrial capaz de cambiar los procesos productivos tal y como los conocemos en la actualidad para ser capaz de llegar a un nuevo concepto de industria.

En términos geográficos, las industrias alemanas donde se han implementado sistemas propios de la industria 4.0 son aquellas que cuentan con una mayor tradición de innovación industrial. Las PYMEs son mayoritarias en la capital alemana, mientras que las grandes empresas predominan en zonas como Múnich o Stuttgart. Por otro lado, en Detmold la investigación universitaria es la predominante.

Sin duda, Alemania es el país de la Unión Europea que más esfuerzos ha realizado por integrar los avances en industria 4.0 con el sector empresarial. Entre sus medidas destacan el aumento en el gasto en I+D+i por iniciativa de las grandes corporaciones, en especial las automovilísticas.

Diferenciando entre inversiones privadas y públicas, las primeras se centran en el desarrollo de *hardware* y *software* para sistemas autónomos que, dentro de las empresas, se relacionan con actividades de producción, logística y control.

Algunas empresas alemanas con una larga trayectoria empresarial, como Bayer o Volkswagen, se han alineado para formar la *Industrial Data Space Association*, una asociación empresarial para acometer conjuntamente la inclusión de la industria 4.0 en sus empresas (Miguélez González, 2017).

Otras empresas como Deutsche Telekom, Siemens o Bosch llevan a cabo acciones de acumulación de información relacionadas con los principales problemas que podría implicar implantar la industria 4.0 en las fábricas de corte más tradicional. Por otro lado,

las empresas Mentor Graphics, Cumulocity, Proglow y Kuka estudian cómo afectarán estas tecnologías a la oferta de sus productos, más en concreto en el estudio de nichos de mercado.

En lo que respecta a inversiones públicas, y a través de distintos estudios, en Alemania se ha expuesto que el valor añadido de los productos se alcanzará a través del desarrollo de software. Por ello, el Ministerio de Economía y Energía ha decidido centrar sus recursos financieros en las PYMEs. Mientras que el Ministerio de Educación e Investigación ha puesto el foco en el desarrollo de programas relacionados con actividades de I+D.

Resulta interesante destacar que, para que las empresas privadas puedan acceder a financiación pública, es necesario tener constituida una empresa en Alemania y dedicar unos recursos mínimos a investigación en el país.

En conjunto, el desarrollo de la industria 4.0 en Alemania está siendo gradual y progresivo, pese a la existencia de diferencias técnicas entre industrias dependiendo del grado de informatización de las empresas o de sus necesidades en el sector.

Desde el gobierno federal se está llevando a cabo un plan donde las soluciones individuales pasen a estar cada vez más basadas en estándares comunes y plataformas tecnológicas para facilitar el intercambio de conocimientos entre empresas. Para ello, es esencial desarrollar unos estándares digitales que permitan aunar a todos actores de la cadena de suministro, desde clientes hasta proveedores (Miguélez González, 2017).

Por tanto, desde Alemania se pretende liderar la nueva revolución industrial creando un lenguaje común para que tanto las diversas empresas como las máquinas, productos o humanos puedan comunicarse fácilmente entre sí.

4.3. Industria 4.0 en España

En España el tejido industrial está formado principalmente por empresas de tipo taller, con un enfoque en el proceso, donde la personalización en los productos ya está presente, aunque a un coste mayor que en el caso de la personalización masiva. Estas empresas podrían reducir sus costes y adoptar un enfoque más similar a la producción masiva si se introdujeran técnicas propias de la industria 4.0, permitiendo adoptar un enfoque más flexible en el proceso productivo.

Es importante destacar que en el actual contexto de globalización y transformación empresarial resulta trascendental el papel que juega el tamaño de las empresas para poder alcanzar los objetivos fijados. Las diferencias en dimensión suponen el punto de partida para la consecución eficiente de economías de escala y para poder efectuar acciones tales como la contratación y retención de talento, investigación y desarrollo, mejorar la posición negociadora en materia de financiación e incrementar el grado de internacionalización empresarial (Empresarios, 2018).

En España ha tenido un interés particular la implantación de tecnologías asociadas a la industria 4.0 en el sector industrial. Pese a que ha pasado un periodo de tiempo relativamente escaso desde que se empezó a escuchar el término de industria 4.0, las oportunidades de negocio que ofrece han sido rápidamente estudiadas por los empresarios. El problema de nuevo reside en que el interés no se materializa en acciones reales. En 2017 el Índice de Evolución Digital, publicado por el Foro Económico Mundial, expuso la situación en cuanto a la digitalización de la economía española, entre otras, y las acciones que el país estaba llevando a cabo para impulsar la conectividad. Es cierto que España logró situarse en la mitad superior de la clasificación, ocupando la posición número 25 de los 60 países objeto de estudio. Pero, al estudiar el informe en detenimiento, lo cierto es que España todavía requería de fuertes inversiones públicas y de una mayor implicación de las grandes empresas privadas en materia de digitalización. De lo contrario, en pocos años acabaría en la zaga de la clasificación de un nuevo Índice de Evolución Digital.

Estas inversiones deben centrarse en superar los problemas actuales relacionados con las infraestructuras y con el reducido nivel de la demanda de productos digitalizados por parte de los consumidores. Para ello, es necesaria una coordinación entre Estado y empresas para llevar a cabo inversiones en innovación simultáneas. Coordinación que

por el momento no se está produciendo con la misma celeridad que en otros países de la Unión Europea, como Alemania. Por tanto, y debido a la escasa implicación tanto pública como privada en materia de digitalización, España debe afrontar grandes desafíos en lo que respecta a reestructuración tecnológica si quiere alcanzar niveles semejantes a los del país precursor de esta revolución industrial.

Centrando el caso en el tejido industrial español, el rendimiento de la innovación y el crecimiento de la productividad se ven interrumpidos tanto por los escasos niveles de inversión en I+D que las grandes empresas realizan, como por el escaso valor de las innovaciones llevadas a cabo por las PYMEs. Los gastos de investigación y desarrollo en el sector empresarial en España se sitúan a la mitad del nivel de la media de la Unión Europea, en particular en el caso de las grandes empresas, aunque los casos varían dependiendo de la región donde se sitúen estas empresas. Este desajuste supone una barrera importante para el desarrollo y uso de las tecnologías más avanzadas, en concreto en lo que respecta a las PYMEs. Por ende, el empleo en sectores de alta tecnología y servicios intensivos en conocimiento es muy inferior a la media de la UE. Estos factores afectan negativamente al crecimiento a largo plazo de la productividad. Como ejemplo de este hecho se encuentra la manifestación reiterada de las grandes empresas en lo que respecta a la dificultad que encuentran a la hora de reclutar expertos en tecnologías de la información y la comunicación que les permitan impulsar innovaciones en sus empresas. El desarrollo de las habilidades digitales de los trabajadores permitiría por tanto a las empresas aumentar su competitividad.

Por tanto, la mejora de los resultados de innovación de España requiere importantes inversiones para fomentar el espíritu empresarial y la creación de empresas que ayuden a crecer tanto a éstas como a las ya implantadas con una larga trayectoria empresarial, promoviendo por tanto la competitividad de todas ellas. Esta adaptación a un nuevo nivel de competitividad, intangible a ojos de muchos pero visible a través de los procesos de digitalización, llevará a actividades de mayor valor añadido, donde los productos españoles podrían ampliar su presencia en los mercados internacionales.

4. CONCLUSIONES

La primera conclusión que puede extraerse del presente Trabajo Fin de Grado resulta tan trascendental como evidente. Pese a que han pasado más de doscientos años desde la primera revolución industrial, España no ha cambiado la forma en que asimilaba las nuevas tecnologías ni los nuevos *know-how* que los países precursores de cada revolución industrial desarrollaban. La historia se ha ido repitiendo con cada revolución industrial y ha puesto de manifiesto el poco interés proactivo de España en lo que respecta a innovación, pese a los cambios favorables que ha desarrollado el entorno europeo a lo largo de este tiempo que permitía a España salir de la zaga de países poco innovadores.

Por otra parte, y centrando las conclusiones en lo que a sistemas productivos se refiere, el enfoque en el proceso cuenta con la ventaja competitiva de la diferenciación de sus productos. Si bien es cierto que este enfoque puede suponer un recurso VRIO¹¹ en la estrategia de las empresas españolas, todavía queda mucho margen de mejora en aspectos tan importantes como la mejora en la previsión de la demanda, la rapidez de respuesta ante los distintos escenarios económicos, el stock de seguridad, la logística o el transporte en general. Aunando la diferenciación de sus productos con la reducción de costes, es decir, alcanzando sistemas de personalización masiva, se podría reducir el exceso de capacidad que caracteriza a los sistemas enfocados en los procesos para incrementar la utilización de los mismos, y por ende su eficiencia. Para alcanzar este objetivo se debe incrementar la inversión en innovaciones que permita implementar en las empresas sistemas propios de las *smart factories*. Las empresas pioneras que decidan llevar a cabo este proceso deben saber que será un camino largo, arriesgado y que centrará gran parte de sus recursos. Pero los beneficios esperados superarán con creces sus riesgos. Ejemplo de ello es el aumento de valor de sus productos, al ser capaces de mantener su diferenciación pero reduciendo además los costes de producción y los tiempos comercialización, aumentando la calidad de dichos productos e incrementando la flexibilidad del proceso productivo. Todo ello conducirá a una más que certera posibilidad de incremento de la cuota de mercado, tanto incrementando las ventas en el

¹¹ Técnica o análisis empresarial que permite detectar los recursos o capacidades que otorgan a las empresas ventajas competitivas frente a sus rivales. Se trata de un acrónimo de las siglas de las cuatro características básicas que ha de poseer un recurso: Valioso, Raro o escaso, Inimitable y Organización.

mercado ya establecido como penetrando en nuevos mercados, y a un aumento de la productividad de las empresas.

Para lograrlo, se debe llevar a cabo un proceso centrado en la digitalización y la interconexión de los sistemas que componen el proceso productivo, cuyas posibilidades de mejora son aplicables a todo tipo de empresas, sin importar su tamaño. En concreto para las PYMEs, les permitiría aumentar su tamaño de mercado, salvando las limitaciones que encuentran para competir con las grandes empresas del país y a la hora de internacionalizar sus productos. Asimismo, dentro de la empresa esta implementación ayudaría a simplificar los procesos y a incrementar su productividad.

Pero el proceso de digitalización también conlleva la existencia de riesgos para las empresas. En primer lugar, al igual que este proceso permite acceder a nuevos mercados, también supone un incremento de la competencia: en un mundo cada vez más globalizado y digital, cualquier agente puede ser un potencial competidor. Además, la lenta adaptación de los marcos regulatorios a las nuevas actividades digitales supone un elemento que es necesario solucionar por parte de las Administraciones Públicas para garantizar la competencia en igualdad de condiciones entre las distintas actividades, con independencia de dónde o cómo se desarrollen. Por tanto, existe espacio de mejora para acelerar el proceso de adopción de las nuevas tecnologías tanto por parte de consumidores como de las empresas. Prueba de ello es el caso de los robots que actualmente operan en las fábricas españolas. Aunque los mismos llevan décadas implementados en nuestras industrias, y su número no ha parado de aumentar, lo cierto es que la automatización de las industrias no ha permitido desarrollar todo el potencial de esta tecnología al encajonarlos en entornos rígidamente estructurados. La idea base de la que parte la industria 4.0 para con las interacciones humano-máquina se basa en que los robots pierdan esta “zona de confort” impuesta dentro de las fábricas y ocupen nuevos espacios interactuando con los trabajadores de manera colaborativa. Para no afectar a la seguridad de los trabajadores, se debe dotar a los robots de nuevas funcionalidades, como el control sensorial del entorno. Estos sistemas permitirán aumentar su autonomía y por tanto su fiabilidad para cumplir con los objetivos fijados. Esta eficiencia operativa será posible gracias a la integración de los sensores asociados al *IoT* y al aumento de la capacidad de las comunicaciones inalámbricas, donde la gran cantidad de información percibida por la empresa es gestionada y analizada a través de sistemas de *Big Data* para convertir dicha información en conocimiento útil para el

desarrollo de la estrategia empresarial. De esta forma el análisis permitirá dar mejor respuesta a los movimientos de los mercados, y en consecuencia estar en mejores condiciones para competir con el resto de empresas.

A nivel de retos de la administración empresarial, los directivos deben llevar a cabo una descentralización de la gestión que permita aumentar la motivación individual de los trabajadores, haciéndoles partícipes en primera persona de esta nueva revolución industrial para que la conciban como una oportunidad para mejorar su calidad de vida y no como una amenaza a su puesto de trabajo. Esta responsabilidad personal debe ir acompañada de una profesionalización de los trabajadores, los cuales deben ser evaluados y recompensados según el cumplimiento de sus objetivos.

Sin profundizar excesivamente en este punto, pues no es un tema central de la investigación realizada, una conclusión clara para los trabajadores en cuyos puestos de trabajo se implemente la industria 4.0 es que, en contra de lo que muchos auguran, la implementación de esta tecnología tendrá un impacto social positivo a medio y largo plazo. Es frecuente asociar progreso tecnológico con desempleo, cuando el verdadero motivo de la reducción de los puestos de trabajo en las empresas se debe muchas veces a la mala práctica de políticas económicas llevadas a cabo por los directivos de las mismas empresas. En referencia, se encuentran ejemplos como proceder al despido del personal en vez de reubicarlo en otro departamento o modificar las tareas de su puesto de trabajo cambiando las manuales por las de supervisión. Al igual que la automatización supuso una mejora en la calidad de vida de los trabajadores, al reducir el riesgo de ciertas actividades o al sustituir acciones repetitivas por trabajo más psíquico, las innovaciones que traerán los nuevos equipamientos de la industria 4.0 deben verse como una oportunidad para profesionalizar a los trabajadores y no como una amenaza a su puesto de trabajo.

De esta forma ha quedado abierta una transformación del mercado, donde la rentabilidad de la producción y comercialización de los productos van a depender en gran medida de la eficiencia, entendida como la optimización de recursos; y de la eficacia, asociada a la capacidad resolutoria de las empresas.

Por tanto, se hace patente la necesidad de una reestructuración de las actividades industriales, donde predominen las unidades reducidas y flexibles que no se encuentren inamovibles dentro de la empresa, sino que se les permita una cierta dispersión espacial.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. N., & Talib, M. F. (2016). "Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic". *Jurnal Teknologi*, vol. 78, nº 6-13, pp. 137-143.
- Blackburn, M., Alexander, J., Legan, J. D., & Klabjan, D. (2017). "Big Data and the Future of R&D Management: The rise of big data and big data analytics will have significant implications for R&D and innovation management in the next decade". *Research-Technology Management*, vol. 60, nº5, pp. 43-51.
- Borgia, E. (2014). "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues". *Computer Communications*, vol.54, pp. 1-31.
- Chandler, A. (1990). *Scale and scope: the dynamics of industrial competition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Collantes, F. (2016). *La economía española en 3-D: oferta, demanda y largo plazo*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Comín, F., & Martín, P. (1996). "Rasgos históricos de las empresas en España: un panorama". *Revista de economía aplicada*, vol.4, nº 12, pp. 75-123.
- Empresarios, C. d. (2018). *La empresa mediana española*. Informe Anual 2018. Documentos Círculo.
- García, J., & Myro, R. (2015). *Economía española. Una introducción*. Madrid: Thomson-Cívitas, 2ª Edición.
- Gómez, C. (2011). "La globalización y el nuevo orden/desorden mundial. La crisis de 2008". *Crisis y sociedad del bienestar*, nº 37, pp. 115-138.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Principios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). "Design principles for industrie 4.0 scenarios". *Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*. pp. 3928-3937.
- Jazdi, N. (2014). "Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0". *IEEE international conference on automation, quality and testing, robotics*. IEEE. PP. 1-4.
- Lu, Y. (2017). "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues". *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 6, pp. 1-10.
- MacDougall, W. (2014). *Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future*. Germany Trade and Invest.
- Miguélez González, D. (2017). "La industria 4.0 en Alemania". *Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Berlín*.

- Oliva, E. D. (2018). *Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción*. Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Pérez, F. (2014). *Crecimiento y competitividad. Motores y frenos de la economía española*. Fundación BBVA, Bilbao.
- Quonext. Smart factory, la fábrica del futuro. 05/03/2018. Fecha de consulta: 23/06/2019.
- Robertson, P. L., & Casali, G. L. & Jacobson, D. (2012). "Managing open incremental process innovation: absorptive capacity and distributed learning". *Research policy*, vol. 41, nº 5, pp. 822-832.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing". *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, nº 3, pp. 811-833.
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). "Virtual Engineering Object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for industry 4.0". *Cybernetics and Systems*, vol. 46, nº 1-2, pp. 35-50.
- Sjödin, D. R., Frishammar, J., & Eriksson, P. E. (2016). "Managing uncertainty and equivocality in joint process development projects". *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 39, pp. 13-25.
- Torres Lebrato, L. (2015). "La gestión de información y la gestión del conocimiento". *Revista Archivo Médico de Camagüey*, vol. 19, nº 2, pp.96-98.

GLOSARIO

Enfoque en el proceso: su producción se centra en un bajo volumen pero con una gran variedad del mismo, por lo que dotan al producto de un alto grado de flexibilidad. Para facilitar la producción las instalaciones se ubican alrededor de los procesos, lo que hace incurrir a las empresas en unos costes variables muy elevados y un grado reducido de la utilización de sus instalaciones. Este hecho, aunado a los altos inventarios de materias primas que necesita la empresa, hace necesario que el perfil del trabajador de estas empresas sea del tipo polifacético, con habilidades muy amplias.

Con el paso de los años ha quedado demostrado cómo este sistema puede incrementar su capacidad productiva incorporando equipos tecnológicos que cuenten con controles electrónicos, es decir, máquinas programables que lleven a cabo el movimiento de las piezas o las acciones de herramientas entre máquinas.

Enfoque repetitivo: asociado a la estandarización de la cadena de montaje de la segunda revolución industrial, este tipo de producción se basa en grandes tiradas de productos estandarizados, los cuales se producen bajo demanda dependiendo de los pronósticos, mediante operaciones muy repetitivas a través de distintos módulos. La capacitación de los empleados suele ser modesta y sus técnicas de inventario están basadas en las de los procesos *just in time*, lo que hace que los costes fijos de la empresa dependan de la flexibilidad de las instalaciones. Es importante destacar que los módulos permiten a las empresas que utilizan el enfoque repetitivo colocarse en un punto intermedio entre aquellas que utilizan un enfoque en el producto y las que siguen un enfoque en el proceso.

Enfoque en el producto: su proceso productivo se encuentra fuertemente ligado a las economías de escala, pues se trata de procesos de alto volumen y poca variedad donde los equipos se ubican alrededor del producto. El rápido y continuo movimiento de los inputs por las instalaciones hacen que el inventario de materias primas necesario sea reducido, por su parte la estandarización de las operaciones hace que las habilidades necesarias por parte de los operarios sean menos amplias. Este movimiento constante produce un alto grado de utilización de las instalaciones, las cuales pese a incurrir en costes fijos elevados compensan el alto uso de las instalaciones con costes variables más reducidos.

Enfoque en la personalización masiva: las constantes mejoras en los procesos productivos provocaron una reducción en los costes de fabricación y una mejora notable en la calidad de los productos. Este hecho conllevó a su vez una evolución de los productos, los cuales se volvieron cada vez más sofisticados y personalizados. Se requería por tanto un proceso productivo que tratara cada producto de forma individualizada para hacerlo único a ojos del consumidor, pero que a su vez permitiera producir grandes cantidades de output. Para llevar a cabo con éxito esta estrategia el personal debe tener un perfil altamente cualificado y flexible; debe ser capaz de trabajar con programas sofisticados a lo largo de un proceso productivo donde los bienes se mueven con rapidez.

Internet of Things: se define como un paradigma tecnológico previsto como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar entre sí. *IoT* es reconocido como una de las áreas más importantes de la tecnología para la implementación de la Industria 4.0 del futuro. Las empresas pueden desarrollar todo el potencial del *IoT* cuando los dispositivos conectados son capaces de comunicarse entre sí e integrarse con sistemas de inventario, sistemas de soporte al cliente, aplicaciones de inteligencia empresarial y de análisis de negocio.

La utilización del *IoT* promete un gran impacto en la información disponible para los socios de la cadena de suministro y en cómo opera la misma. Desde la línea de producción y el almacenamiento hasta la distribución y el servicio postventa al cliente, este sistema está transformando los procesos comerciales al proporcionar servicios más precisos y visibilidad en tiempo real del flujo de materiales y productos. Las empresas invertirán en él para rediseñar los flujos de trabajo de las fábricas, mejorar el seguimiento de los materiales y optimizar los costes de distribución. Sin embargo, aunque el *IoT* promete unos beneficios potenciales muy elevados, hasta el momento se han considerado inciertos, y debido al alto coste de inversión para su implementación, las empresas deberán evaluar tanto las oportunidades como los desafíos que presenta su implementación (Borgia, 2014).

CPS: son sistemas de automatización industrial que integran funciones innovadoras a través de redes para permitir la conexión de las operaciones de la realidad física con las infraestructuras informáticas y de comunicación. Es un sistema complejo y dinámico, pero con una correcta implantación puede ayudar al desarrollo de actividades como

planificación, análisis, modelado, diseño, y mantenimiento del proceso de fabricación. Los *CPS* pueden aumentar la productividad, fomentar el crecimiento, incrementar el rendimiento de los trabajadores y producir bienes de mayor calidad con menores costes a través de la recopilación y análisis de datos. (Jazdi, 2014)

Big Data: es un término empleado para definir a la tecnología desarrollada específicamente para la extracción de información cuando el volumen de los datos, el número de transacciones y la cantidad de fuentes de datos son excesivamente grandes. En estos casos las conclusiones de la información analizada son complejas de encontrar y requieren métodos y tecnologías especiales para extraer información de los datos. Pero no es la cantidad de datos lo que es importante, lo que importa en realidad es el valor que esa información puede aportar a las organizaciones para ayudarlas a desarrollar sus estrategias empresariales. El análisis de estos datos por lo tanto se concentra en la búsqueda de conocimiento a través de la información, la cual conduce a la toma de mejores decisiones y movimientos comerciales estratégicos (Lu, 2017).

Cloud Computing: el NIST¹² lo define como aquel modelo de provisión de recursos informáticos que permite el acceso a la red de forma ubicua y transparente respecto a su localización y ciclo de vida. Se caracteriza por una utilización bajo demanda de los recursos informáticos configurables que ofrece: redes, servidores, sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, aplicaciones y servicios informáticos. Posee una infraestructura escalable, en términos informáticos, que le permite atender el volumen de datos de sus distintos usuarios. El objetivo final de la *Cloud Computing* es ofrecer toda la funcionalidad de los servicios de la tecnología de la información existentes, así como habilitar nuevas funcionalidades hasta ahora no accesibles, reduciendo drásticamente los costes iniciales de la informática que impiden que muchas organizaciones implementen muchos servicios de IT (Oliva, 2018).

Interconexión: Las máquinas, los dispositivos, los sensores y las personas se conectan a través de lo que se ha denominado como el *Internet of Things (IoT)* e *Internet of Persons (IoP)* para formar el *Internet of Everything (IoE)*. Las tecnologías de comunicación inalámbrica permiten el acceso ubicuo a Internet, a través del *IoE*, los objetos interconectados y las personas pueden compartir información alcanzando objetivos comunes gracias a la colaboración conjunta. Para conectar máquinas,

¹² *National Institute of Standards and Technology.*

dispositivos, sensores y personas entre sí, son necesarios unos estándares de comunicación comunes que permitan la combinación flexible de máquinas a través de módulos¹³ suministrados por diferentes proveedores. Esta forma de trabajo a través de módulos permite que las fábricas se adapten de manera flexible a las demandas fluctuantes del mercado o a pedidos personalizados para cada cliente en lo que se describirá más adelante como una *smart factory*. (Hermann, 2016)

Transparencia de la información: Para analizar el mundo físico que rodea a las fábricas donde se haya implantado la Industria 4.0, los datos sin procesar de los sensores deben agregarse a la información de contexto de mayor valor e interpretarse. Para que exista transparencia los resultados de los análisis de datos deben integrarse en los sistemas de asistencia que sean accesibles para todos los participantes de la *IoE*. (Hermann, 2016)

Decisiones descentralizadas: Basadas en la interconexión de objetos y personas, permiten una mejor toma de decisiones que incrementa notoriamente la productividad. Los participantes de *IoE* realizan sus tareas de la manera más autónoma posible. Desde un punto de vista técnico, las decisiones descentralizadas están habilitadas por los *CPS*. Los ordenadores y sus sensores integrados permiten realizar un seguimiento constante y controlar tanto los aspectos físicos como los latentes del proceso productivo de manera autónoma. (Hermann, 2016)

Asistencia técnica: Estos sistemas necesitan agregar y analizar información de manera comprensible para asegurar que los usuarios puedan tomar decisiones con la mejor información posible y resolver problemas urgentes a corto plazo. El apoyo físico de los humanos por parte de los robots que operan en las fábricas se considera un aspecto fundamental de la asistencia técnica, ya que los robots pueden realizar tareas que son desagradables, demasiado agotadoras o inseguras para los humanos. Para llevar a cabo un apoyo efectivo y seguro de los seres humanos en las tareas físicas, es necesario que los robots interactúen de manera fluida e intuitiva con los trabajadores humanos, y que los mismos estén debidamente capacitados para este tipo de colaboración hombre-máquina.

¹³ Partes o componentes de un producto preparadas previamente.

Anexo 1. “Modelo de madurez de una smart factory”

Nivel de madurez	Personas <i>Cultivando Personas Digitales</i>	Proceso <i>Introducir procesos ágiles.</i>	Tecnología <i>Configurar tecnología modular</i>
Nivel 4. Fabricación inteligente y predecible.	<p>Crear una cultura de innovación de fábrica inteligente continua.</p> <p>Crear roles y responsabilidades especializadas dirigidas a una producción predecible.</p>	<p>Desarrollar procesos para integrar la visualización de datos en la toma de decisiones.</p> <p>Crear procesos proactivos para pronosticar y planificar la producción futura.</p>	<p>Crear sistemas para monitorear y visualizar análisis operativos críticos.</p> <p>Integrar los conocimientos del sistema digital de socios externos para permitir la previsibilidad de la cadena de suministro.</p>
Nivel 3. Análisis de procesos en tiempo real y optimización.	<p>Organizar sesiones de creación de sentidos con proveedores, usuarios y otras partes interesadas.</p> <p>Reclutar analistas de datos y científicos de datos para optimizar la producción.</p>	<p>Utilizar el análisis de información y la interpretación de datos para racionalizar los procesos operativos.</p> <p>Crear procesos para evaluar oportunidades de optimización.</p>	<p>Implementar sistemas para análisis de desempeño en tiempo real.</p> <p>Implementar sistemas de simulación para probar, crear prototipos y optimizar la fábrica digital.</p>
Nivel 2. Recopilación e intercambio de datos estructurados.	<p>Educar a las personas para que desarrollen la capacidad de explotar sistemas de datos conectados.</p> <p>Revisar los roles del personal de producción para coordinar proactivamente las perspectivas digitales y el intercambio de conocimientos.</p>	<p>Crear procesos de extracción de información especializados para respaldar la recopilación de información en todos los departamentos.</p> <p>Construir redes de digitalización multifuncionales para facilitar el intercambio de conocimientos.</p>	<p>Aumentar la precisión de la recopilación de datos de la tecnología.</p> <p>Crear procesos automatizados para la minería de datos y el intercambio entre funciones.</p>
Nivel 1. Tecnologías conectadas.	<p>Crear una cultura inclusiva para la implementación mediante la participación de la fuerza laboral en el desarrollo de la visión.</p> <p>Reclutar personas con competencias de digitalización.</p>	<p>Formalizar procesos de implementación de fábrica inteligente híbrida.</p> <p>Crear proceso para involucrar a actores externos en el desarrollo de la plataforma conectada.</p>	<p>Aplicar una lente digital para mapear tecnologías existentes y nuevas.</p> <p>Conectar las aplicaciones tecnológicas existentes para crear un flujo de datos.</p>

Fuente: Smart Factory Implementation and Process Innovation.

