

ASOCIACIÓN FORO DE EMPRESAS INNOVADORAS (FEI)
C/ Rosario Nº 15
28005, Madrid
<http://foroempresasinnovadoras.com/>
info.foroempresasinnovadoras.com



INDUSTRIALIZACIÓN EN ESPAÑA: INDUSTRIA 4.0 Y ECOSISTEMAS DE INNOVACIÓN

Re-industrialización en España: Industria 4.0 y ecosistemas de innovación





Edita



Patrocina



Colaboran



Con el apoyo institucional de







Re-industrialización en España: Industria 4.0 y ecosistemas de innovación

Dirección y coordinación

**Luis Fernando Álvarez-Gascón,
José Molero y Juan Mulet.**

Edición

Maole Cerezo



© 2018, de la presente edición: Foro de Empresas Innovadoras

© Diseño de cubierta: Panico Estudio / Alberto Solís

© Diseño y maquetación: Panico Estudio / Alberto Solís

Queda rigurosamente prohibido, sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo la sanción establecida en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

Impreso por: Panico Estudio / Alberto Solís

ISBN: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Depósito legal: M-000000-2018

Impreso en España
Printed in Spain

Son autores de este libro:

Luis Fernando Álvarez-Gascón

Máximo Blanco

Javier del Ser

Julio Linares

José Molero

Verónica Pascual

Agustín Sáez

José Varela

Bernardo Villazán

Entidades colaboradoras:

Asociación de Empresas de Electrónica, Tecnologías de la Información,
Telecomunicaciones y Contenidos Digitales (AMETIC)
Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)
Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE)

Luis Fernando Álvarez-Gascón

Director General de Secure e-Solutions de GMV. Vicepresidente del FEI y Vicepresidente de Innovación de AMETIC.

Máximo Blanco

Responsable del Área de Estrategia Sectoriales de CCOO de Industria y Director del Instituto de Estudios Sociales y Económicos para la Industria (IESEI)

Javier Del Ser

Research Professor de TECNALIA RESEARCH & INNOVATION, Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería de Comunicaciones de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) e investigador visitante del *Basque Center for Applied Mathematics* (BCAM)

Julio Linares

Miembro del Consejo de Administración de Telefónica Alemania y Telefónica Brasil; de los órganos de Administración de Telefónica en España y Patrono de la Fundación Telefónica y Miembro del Comité Ejecutivo y Junta Directiva de la CEOE y Presidente de su Comisión de Sociedad Digital.

José Molero

Catedrático de Economía Aplicada de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), Director del Grupo de Investigación en Economía y Política de la Innovación (UCM). Presidente del Foro de Empresas Innovadoras.

Verónica Pascual

Consejera Delegada Asti Mobile Robotics, Presidente Comisión Industria 4.0 y Vicepresidente Desarrollo Talento Digital en AMETIC, #100deCOTEC

Agustín Sáez

"Director de Industria y Transporte de *Tecnalia Research & Innovation*, Miembro del Comité Asesor del Consejo Vasco de Ciencia, Tecnología e Innovación y Miembro del Consejo de Administración de VIXION."

José Varela

Consultor en Regulación en Telecomunicaciones, Sociedad de la Información y Digitalización en UGT, Miembro del Consejo Asesor sobre Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (CATSI) y colaborador en el Grupo de Alto Nivel en Regulación del Mercado de las Telecomunicaciones en UNI-ICTS.

Bernardo Villazán

Director de la Cátedra de Industria Conectada de la Universidad Comillas ICAI-ICADE, Presidente del Observatorio Industria 4.0 en España

Edición:

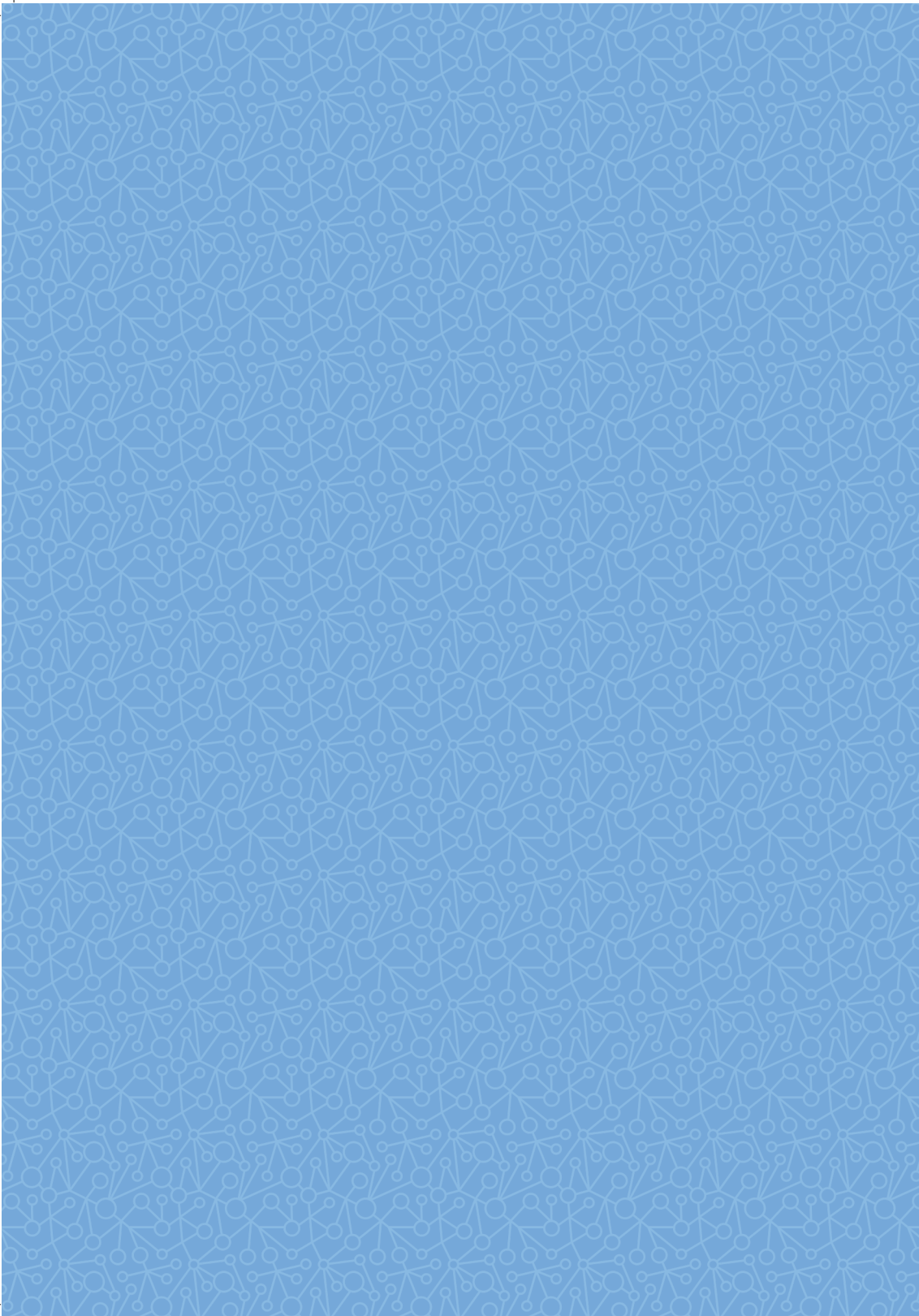
Maole Cerezo. Asesora de Marketing y Comunicación Secure e-Solutions de GMV.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto que ha desembocado en el presente libro se gestó en los trabajos preparatorios de todo el Foro de Empresas Innovadoras, con un modelo colaborativo que caracteriza su forma de trabajar, y abierto a la participación de las instituciones públicas y todo tipo de entidades privadas con las que se relaciona.

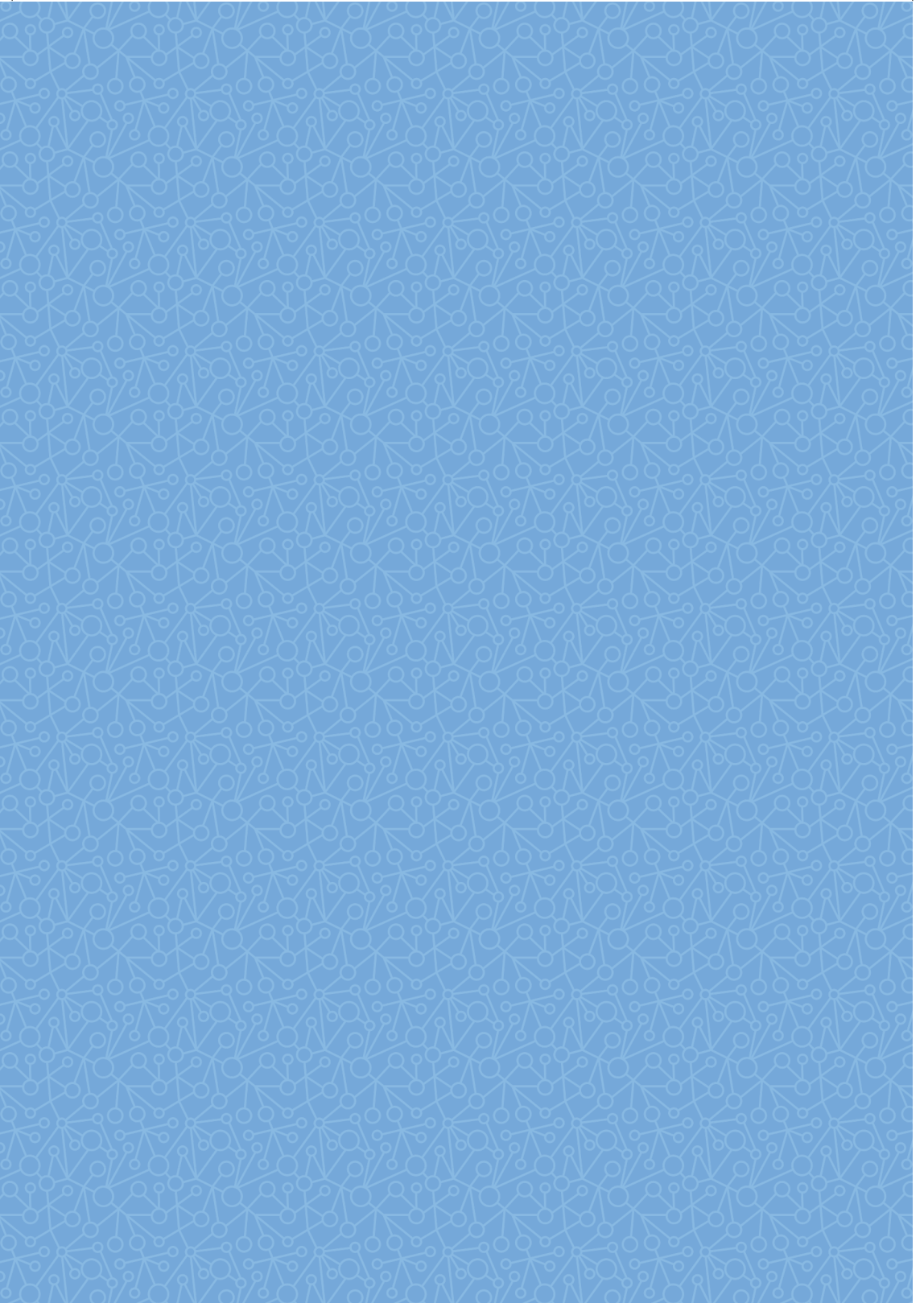
El FEI ya tuvo la ocasión de agradecer en directo durante el desarrollo de la sesión en el CDTI, la colaboración prestada por el MINECO (singularmente por la entidad anfitriona), que contó con una participación de autoridades realmente notable, el apoyo de Ametic, el patrocinio de GMV y, por supuesto, la contribución de los participantes en los debates y conferencias. Algunos de ellos han contribuido, asimismo, a la elaboración del presente libro.

A todos ellos, los tres coautores del libro, miembros del Foro, les reiteran su agradecimiento por esta aportación adicional, que permite materializar en la publicación los temas debatidos en la jornada, y en trabajos posteriores.



ÍNDICE

Agradecimientos	07
Introducción	11
Capítulo 1.	17
Capítulo 2.	55
Capítulo 3.	105
Capítulo 4.	133



INTRODUCCIÓN

Desde su fundación, el FEI ha trabajado para contribuir a la definición de políticas públicas impulsoras del desarrollo económico del país en una dirección sostenible, con las empresas como grandes protagonistas de ese desarrollo, su actividad innovadora como el mejor argumento competitivo y la ciencia su gran aliado. El Foro, alimentado por un ecosistema de colaboración, tiene que aportar necesariamente sus reflexiones, ante la presente dinámica de transformación radical que se ha dado en llamar Industria 4.0.

El FEI tiene su hábitat natural allí donde la innovación empresarial y ciencia convergen, desde la convicción de que ahí debería residir un pilar fundamental de la competitividad de nuestras empresas, en aras de una prosperidad económica sostenible y del bienestar social. Los miembros del Foro comparten una visión de la economía en la que, la empresa industrial, juega un papel central. En publicaciones anteriores del Foro, esta propuesta se expresaba claramente en términos de reindustrialización del país.

Reindustrialización, sí, pero en sintonía con la dinámica competitiva de nuestro tiempo, marcada por la digitalización. La irrupción y combinación de una serie de tecnologías de desarrollo exponencial, en su gran parte encuadrables en el área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han propiciado un proceso de transformación de la economía, de las empresas industriales en particular, que cabe calificar de Revolución, la Cuarta Industrial. España llegó tarde a la Primera y Segunda revoluciones y, desde luego, no fue un líder en la Tercera. En la actual encrucijada, la evidencia de lo que está ocurriendo, gracias entre otras cosas a la propia globalización digital, la intuición de lo que está por venir, y la toma de consciencia de lo que está en

juego debe disparar necesariamente la reflexión e incitar inmediatamente a la acción. La posición de nuestro país entre las economías más ricas del mundo no es una herencia que no se pueda dilapidar en menos de una generación si no acertamos con las políticas adecuadas, dada la velocidad del cambio inducido, simplemente, por la transformación digital de la economía. Al contrario, la necesaria búsqueda de los niveles de prosperidad económica que sustenten el bienestar de una amplia mayoría de la sociedad española, acechada por amenazas como el envejecimiento, obliga a aspirar a situarnos entre los líderes de esta transformación.

La digitalización de la industria es, per se, un proceso de innovación. La industria 4.0 resulta así, una oportunidad para la generación (desde el emprendimiento o la transformación) de una nueva oleada de empresas innovadoras, las más resistentes a la crisis, y las más capaces de generar empleo de alto valor añadido, más estable y mejor remunerado. No es un proceso que esté afectando exclusivamente a los sectores convencionalmente considerados como más avanzados, o más intensivos en tecnología. A estas alturas, prácticamente toda la población es consciente de la capacidad transformadora de las TIC en numerosos sectores de la economía (p.ej. transporte, alojamiento, distribución). Basta seguir la publicidad de un bien tan tradicional como el automóvil para apreciar que, para muchos clientes, los atributos de esta plataforma digital móvil son más relevantes que los puramente mecánicos de un medio de transporte. Es sólo un exponente de la profunda transformación que están experimentando los bienes y servicios que consumimos, y las cadenas de valor que nos los proporcionan. Cadenas de valor ampliamente globalizadas y digitalizadas, en muchas de las cuales destacan actores propios de esta era, como las plataformas digitales.

La economía digital está protagonizada por grandes gigantes tecnológicos que comparten su intensidad en TICs y no disponer de pasaporte europeo. Europa, y España, deberían generar este tipo de empresas y, en todo caso, asegurar la competitividad de sus economías afectadas por la digitalización en todos los sectores. Sin quitarle ni un ápice de mérito a sus protagonistas, entre las convicciones de los miembros del FEI figura que ese tipo de éxitos

empresariales se da con más frecuencia e intensidad en unas economías que en otras, no por casualidad. Que determinadas políticas, en particular las de innovación, pueden favorecer el desarrollo de una economía de la que surjan y prosperen ese tipo de campeones.

Con esta convicción, unida a la de la oportunidad del momento y la conveniencia de la acción, el FEI organizó en el CDTI una jornada sobre el tema que da título a este libro. El debate, sostenido en tres mesas redondas, alimentó el contenido del mismo, si bien posteriormente, durante su elaboración, se ha enriquecido y extendido de forma notable.

El primer capítulo del presente libro abordará, en primer lugar, el impacto de la digitalización en la industria, dibujando el escenario de retos y oportunidades en diferentes planos (producto, procesos, estrategia y modelo de negocio). En este ámbito de aplicación se situarán las políticas e instrumentos de apoyo a la innovación, haciendo un recorrido internacional sobre los mismos.

El segundo capítulo tratará de manera intencionadamente diferenciado aquello que es, precisamente, un área de foco del FEI: el encuentro de la ciencia y la innovación. Se efectúa una descripción y análisis del sistema de I+D+i de nuestro país, su trayectoria reciente, y se reivindica específicamente su intervención para aprovechar la oportunidad que suponen los sistemas ciberfísicos de producción. En un esfuerzo de análisis totalmente original, se dimensiona en este capítulo el potencial investigador actual español, aplicable a hipotéticos esfuerzos de innovación en Industria 4.0, que se ilustra con casos reales.

El tercer capítulo ha recabado aportaciones expertas, desde el ecosistema de colaboradores del FEI en las esferas asociativas empresarial y sindical, para políticas públicas relevantes en el impulso de la Industria 4.0. Un análisis inicial sitúa el escenario de partida de la industria española, resultado de su historia. Se reafirmará la visión sistémica de estas políticas y se analizan con especial profundidad dos ingredientes fundamentales: los de la digitalización de la economía y el talento. En efecto, el factor humano se erige en un pilar

fundamental de cualquier estrategia industrial. El cambio profundo que la digitalización va a producir en la economía y la sociedad, sitúa a esta estrategia en el primer plano de las políticas activas propuestas desde los agentes sociales.

A modo de conclusión, en tono propositivo, un cuarto capítulo recoge las propuestas de los autores en el plano específico de las políticas de innovación para la industria digitalizada, sin pretender agotar todas las facetas de una estrategia industrial. Ciertamente, la aspiración del Foro es intentar contribuir al análisis de los temas que aborda, con la industria y la innovación como hilo conductor pero, finalmente, su objetivo es proponer líneas de acción a los agentes públicos, y también al resto de actores que, a través de sus eventos y publicaciones, acceden al producto de esas reflexiones.

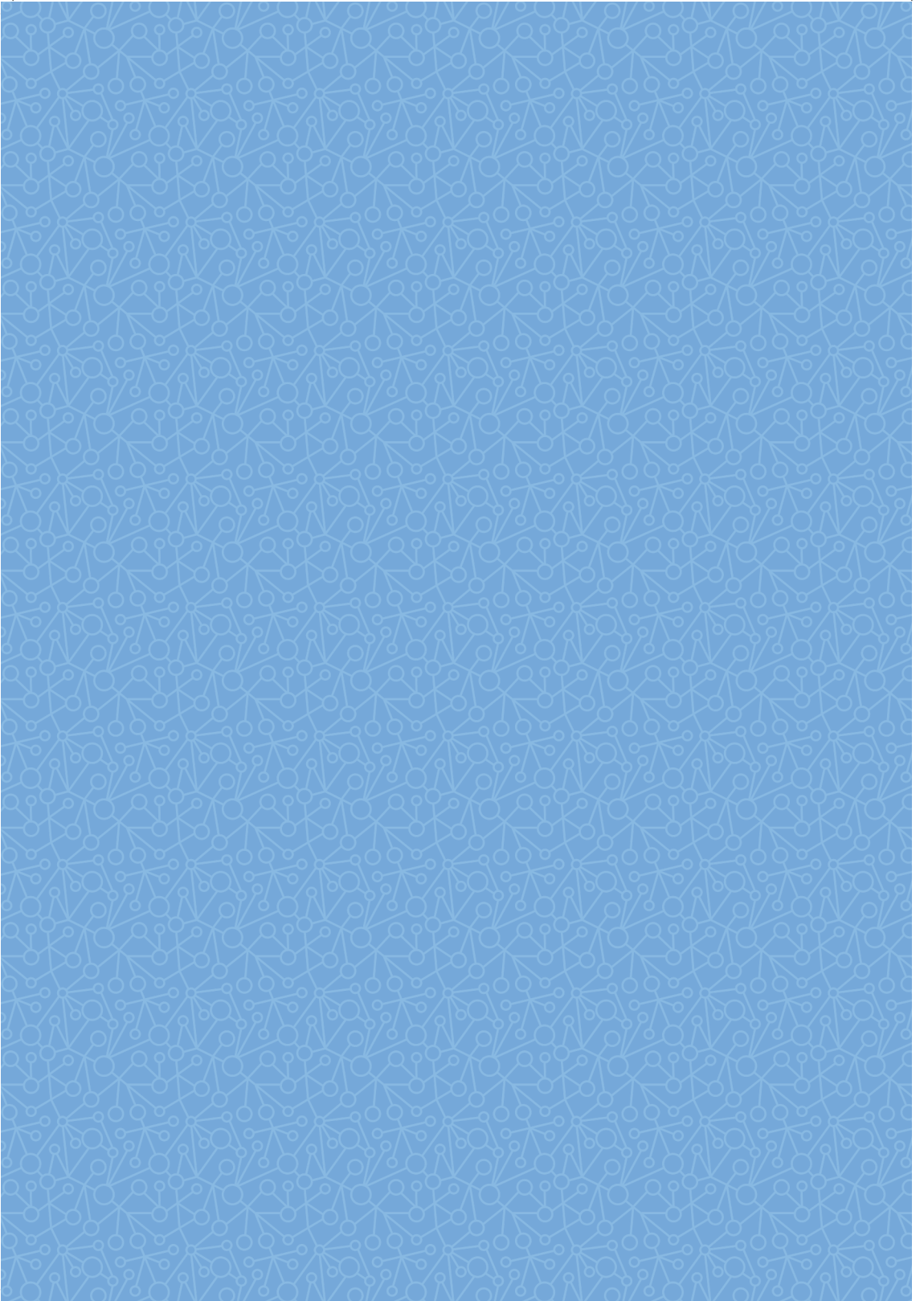
Programa de la Jornada

INDUSTRIA 4.0 Y ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN

Lugar: CDTI, C/ Cid, 4, Madrid

Fecha: 8 de Junio de 2017, 9:00-14:00 h

9:00 – 09:30	REGISTRO
09:30 – 10:00	Apertura: D. Juan M. Vázquez, Secretario General de Ciencia e Innovación, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. D. Francisco Marín, Director General del CDTI. D. Luis Fernando Álvarez-Gascón, Vicepresidente del Foro de Empresas Innovadoras.
10:00 – 11:00	Mesa Redonda: La industria española ante el reto de la transformación. Modera: D. Luis Fernando Álvarez-Gascón, Vicepresidente del Foro de Empresas Innovadoras. D. Mario Buisán, Director General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, MINECO. Dña Verónica Pascual, Presidente Comisión Industria 4.0 AMETIC. D. Bernardo Villazán, Presidente del Observatorio Industria 4.0.
11:00- 11:20	Café.
11:20 – 12:30	Mesa Redonda: Sistema de innovación e industria 4.0. Modera: D. Juan Mulet, Foro de Empresas Innovadoras. Dña Clara Eugenia García, D.G. de Política de Investigación, Desarrollo e Innovación, MINECO. D. Javier del Ser Associated Senior Researcher Basque Center for Applied Mathematics. D. Agustín Sáenz Director de la División de Industria y Transporte de Tecnalia Research & Innovation. D. Alberto Jardón Grupo Investigación Industria 4.0 Universidad Carlos III de Madrid.
12:30 – 13:30	Mesa Redonda: Políticas públicas de impulso a la industria 4.0. Moderador: Prof. José Molero, Presidente del Foro de Empresas Innovadoras. D. Julio Linares, Presidente de la Comisión de Sociedad Digital de CEOE. D. Máximo Blanco, Secretario de Estrategias Industriales, CCOO. D. José Varela, gabinete técnico del Sector Comunicación de UGT.
13:30-14:00	Clausura: Prof. José Molero, Presidente del Foro de Empresas Innovadoras.



CAPÍTULO 1.

LA INDUSTRIA ESPAÑOLA ANTE EL RETO DE LA TRANSFORMACIÓN

Por Luis Fernando Álvarez-Gascón

1.1.- El nacimiento de una nueva industria

Estamos ante la Cuarta Revolución Industrial, una revolución originada por la convergencia de una serie de tecnologías digitales exponenciales, que permiten la hibridación entre el mundo físico y el digital.

Entramos, ya nos encontramos, en una era de productos conectados más o menos inteligentes, que se superpone a la plataforma tecnológica TIC ya existente (caracterizada por la movilidad, el *cloud*, la Internet social, el *big data*), a la que se incorporan otros ingredientes no menos importantes, tales como:

- La impresión 3D, o fabricación aditiva, que entre otros efectos puede alterar la localización de la producción.
- La realidad virtual y aumentada, como medio que mejorara la capacidad de los trabajadores para interactuar con el entorno y también para su entrenamiento, entre otras aplicaciones.
- La inteligencia artificial, capaz de mejorar la toma de decisiones u operar, incluso, de forma autónoma.
- La robótica, tal vez el exponente más icónico de esta industria. Máquinas dotadas de sensores, con capacidad de actuar, e inteligencia en grado variable, que van a asumir cada vez más tareas dentro de un sistema productivo digitalizado.
- El *blockchain*, como un sistema de registro distribuido, seguro e inteligente.
- Sensores ubicuos y conectados.

La biotecnología y la nanotecnología contribuyen, asimismo, a ese magma de conocimientos sobre el que emerge una nueva realidad industrial.

La convergencia de toda esta serie de tecnologías, como habilitadores, genera unas posibilidades que permiten repensar las características de los productos, de los procesos de producción, de la interacción entre todos los agentes y de la generación de valor añadido, en suma, dibujando un nuevo escenario para las empresas industriales. Una oportunidad y un reto que, tanto para cada empresa individual como para cualquier país, requiere una estrategia de transformación. Nace de esta manera una nueva industria, la llamada Industria 4.0, competitiva en el ámbito internacional, porque es capaz de ofrecer productos y servicios que atienden mejor las necesidades de sus clientes.

1.2.- El impacto de la transformación digital en la estrategia de la empresa

La Industria 4.0 ha de enmarcarse en el contexto de un fenómeno más amplio, la transformación digital del conjunto de la sociedad. En esta sección resumiremos el impacto de las TIC en diferentes esferas de la economía y las empresas.

A nivel macroeconómico, el impacto de las TIC en la productividad sigue siendo debatida, aunque la tesis más admitida es que se le puede atribuir un 50% de los avances acaecidos en los EEUU en las últimas décadas. Otras geografías no han conseguido tal incremento en su productividad en condiciones similares, ilustrando así el hecho de que no solo la inversión en tecnología es uno de los factores a considerar, y que debe venir acompañado de otros (p.ej. actitudes, habilidades, incentivos,...) para exprimir el potencial de las tecnologías.

Descendiendo a la realidad cotidiana de las empresas, se acumulan las evidencias sobre la posibilidad de conseguir grandes incrementos en la productividad a través de inversiones en tecnología digital (p. ej. vehículos autónomos en minas, almacenes robotizados,...). Lógicamente, no se trata de inversiones indiscriminadas, sino hechas de forma que despliegan su potencial para generar valor, de manera eficiente, en la situación concreta de la empresa.

Por otro lado, las TIC están introduciendo nuevas formas de organización de la producción (p. ej. teletrabajo, trabajo colaborativo) y de todos los procesos de la empresa, en general (p.ej. *ecommerce*, *elearning*,...)

La economía digital pone a disposición de todo tipo de empresas una capacidad crucial: el conocimiento de las preferencias de los consumidores. Tanto más, cuanto mayor sea la intensidad y superficie de contacto con ellos, y su capacidad para elaborar los datos obtenidos de esa interacción. Este resulta uno de los grandes activos de los campeones digitales.

Otro impacto decisivo de la digitalización se encuentra en la difusión, y su consiguiente posibilidad de absorción del conocimiento, como fuente de ventaja competitiva. Esa difusión cada vez resulta más económica y rápida. Algunos hablarían del carácter democratizador de las TIC.

Innovación, Productividad y Competitividad van de la mano y siendo evidente que el proceso de innovación acelerado tiene que ver con la dramática reducción de la esperanza de vida de las empresas, de la industria en particular. Un indicador recurrente de esta dinámica *schumpeteriana* es el tiempo de permanencia en los índices bursátiles (p.ej. la mitad de las compañías del S&P500 no estaban allí en el 2000).

En este contexto, más que nunca, la competitividad de las empresas españolas no debería basarse preferentemente en factores de productividad asociados a bajos costes salariales. La economía española debe apostar por la innovación como palanca de productividad, de competitividad sostenible y generación de empleo de calidad.

Posibilidades que se abren a la empresa.

La transformación digital de la Industria, a través de la innovación, supone un replanteamiento no sólo de sus productos y procesos, sino también de la estrategia y del modelo de negocio. Las empresas industriales, ya sean

tradicionales o de nuevo cuño, enfrentan, en el contexto de la digitalización, una serie de nuevas posibilidades:

- En el ámbito del producto:
 - Ofrecer funcionalidades digitales que se integran en el mismo, embebidas o en la nube.
 - Crear un sistema abierto a socios colaboradores, o cerrado.
 - Determinar qué datos capturar y analizar, y quién tiene acceso a los mismos.
 - Hacer descansar gran parte de la funcionalidad del producto en el software, y mantenerla y evolucionaria en el tiempo a través de la conectividad.
 - Personalizar la funcionalidad del producto gracias al software.
 - Permitir la prestación de servicios complejos al considerar el producto como un elemento de un sistema más amplio.
- En el proceso de fabricación:
 - Pensar en una nueva generación de fábricas, que pueden introducir cambios en la geografía socioeconómica (p.ej. las *"Makers cities"* de los EEUU). La fabricación de componentes se podrá deslocalizar masivamente gracias a la fabricación aditiva, en instalaciones propias o de terceros.
 - Digitalizar los procesos, que permitirán mayor agilidad, flexibilidad, mantenimiento predictivo...
 - Desarrollar nuevas funcionalidades digitales tanto dentro como fuera de la fábrica.
 - Integrar, por diseño, la fábrica en una economía circular.
- En el modelo de relación con el cliente:
 - Conocer al cliente e interactuar con él, persiguiendo una relación a más largo plazo, introduciendo una nueva componente de servicio.
 - Medir la aportación de valor para el cliente.
 - Segmentar el mercado con criterios del valor aportado.
 - Reducir la necesidad de intermediación en el mercado, con la consiguiente redefinición de los papeles de intermediarios y distribuidores.

- Aprovechar nuevas dinámicas como la “*sharing economy*” o las relaciones “*peer to peer*” a través de las plataformas digitales. Lo que está permitiendo nuevos patrones de consumo, como el paso de la propiedad del producto al pago por uso (muy relevante por ejemplo en el caso del automóvil).
- En la forma de innovar:
 - Desarrollar desde una visión abierta de la innovación: desde retos lanzados a la comunidad, a los “*market places*” de innovación, o los desarrollos colaborativos.
 - Basar la Innovación en el dato, revolucionando la forma de desarrollar la I+D+i.
 - Aplicar el concepto “ágil”, concebido en la comunidad de desarrollo de software, como marco conceptual para la materialización de las ideas de innovación e incluso de emprendimiento.
 - Validar nuevos conceptos gracias a la interacción “*on-line*” con el cliente, con posibilidades infinitas de segmentación.
- En su modelo de cadena de valor:
 - Plantear la desintermediación total o parcial del canal comercial y de servicio. El fabricante puede ahora tener control directo de la experiencia de cliente.
 - Concentrar la actividad en tareas de mayor valor añadido, externalizando otras tareas hacia proveedores.
 - Integrar la cadena con el ecosistema a través de *APIs* (Interfaces de Aplicación Públicas) y plataformas digitales.
 - Rediseñar la cadena de valor descomponiendo o recombinando eslabones.
- Finalmente, en el ámbito de la estrategia y misión de la empresa también se plantean decisiones cruciales:
 - ¿Debe la empresa cambiar su modelo de negocio?
 - ¿Puede la empresa entrar en nuevos negocios monetizando sus datos?
 - ¿Debería la empresa ampliar su alcance?

- En consecuencia, muchas empresas tendrán que revisar su misión, sus capacidades clave y su propuesta de valor.

Todo lo expuesto anteriormente también está sujeto a fuertes imperativos, y en este nuevo paradigma, cabe destacar algunos imperativos claves:

- La creciente participación de los servicios en el valor añadido aportado por empresas industriales es una tendencia ya contrastada. Por ejemplo, en 2011, el 39% de los fabricantes de Reino Unido con más de 100 empleados generaban valor a partir de servicios relacionados con sus productos. En 2007, eran solo el 24%.
- La integración de las empresas en las Cadenas Globales de Valor Añadido (CGVA). Un proceso ya muy avanzado, que no hará sino acrecentarse con la mencionada descomposición y reintegración de una nueva cadena de valor añadido. Una integración, por otra parte, con sensibles variaciones entre naciones y sectores dentro del país. Unas CGVA en las que las redes de transporte y telecomunicaciones constituyen un elemento central.
- El papel central de las plataformas digitales. Tanto en el sentido de plataformas tecnológicas, como de plataformas de servicios. Por ejemplo, en la fabricación aditiva las plataformas integrarán a diseñadores, fabricantes y distribuidores. Es obvio el papel estratégico de los proveedores de estas plataformas, que podrán orquestar a los diferentes actores, gestionando capacidad, arbitrando precios, poseyendo la información de todo el mercado.
- La información como activo crítico de las organizaciones. Se requiere una auténtica Gobernanza de los Sistemas de Información, con repercusiones en los más altos niveles de gobierno de las empresas. La Seguridad de la Información adquiere una gran relevancia, tanto más cuanto los aspectos regulatorios van atribuyendo un papel cada vez más relevante al cumplimiento ("*compliance*"), en aspectos como la privacidad, entre otros. Véase por ejemplo el impacto de la GDPR o la directiva NIS en la UE.
- La producción será más auto-organizada y autónoma.

- Las necesidades de un nuevo talento, en todas las facetas de la fabricación. Desde el diseño de productos y procesos con una creciente componente digital, a la operación de las fábricas digitales.
- La velocidad del cambio en el marco de la transformación digital es superior a la de anteriores revoluciones propiciadas por la tecnología.
- La transformación digital va a desdibujar las fronteras tradicionales entre industrias. Asistimos a una hibridación de sectores, un aspecto fundamental en el diseño de políticas, en particular, las de innovación.

1.3.-Industria 4.0 y políticas públicas de innovación

1.3.1. Políticas públicas de innovación y sus instrumentos

Es evidente que existe una clara motivación para que las políticas públicas, en particular las de innovación, se interesen por la Industria 4.0 e incorporen medidas específicas para su impulso. En el Capítulo 3 se hacen propuestas ajustadas a la realidad de nuestro país. En esta sección se repasan brevemente las herramientas y tendencias generales de estas políticas a nivel internacional. Defender, de partida, la necesidad de políticas públicas de innovación en este ámbito podría contemplarse de hecho como una corriente de opinión coherente con los planteamientos expuestos por Mariana Mazzucato en su libro “El Estado Emprendedor”. La historia aporta evidencias, no obstante, de que la intervención estatal, en particular en políticas de innovación, no está exenta de riesgos que conviene calibrar.

En un breve repaso, las múltiples herramientas de las políticas públicas de innovación se agrupan en dos grandes bloques: las que actúan sobre la oferta y las que lo hacen sobre la demanda.

- Por el lado de la oferta, existen instrumentos de apoyo financiero al desarrollo de proyectos de I+D+i, e incentivos fiscales a las empresas. Diferentes países han optado de forma distinta por cada uno de estos instrumentos. En España domina la primera fórmula, gestionada por diferentes actores

de la AGE y autonómicos. La fiscalidad de la I+D+i en España es, sobre el papel, bastante ventajosa, pero lo cierto es que su aplicación efectiva resulta relativamente pequeña y no exenta de controversia. Hay que destacar que los incentivos fiscales constituyen un factor particularmente valorado por las multinacionales a la hora de ubicar sus actividades de I+D+i.

- Por el lado de la demanda, figuran la Compra Pública Innovadora, la Compra Pública de tecnología pre-comercial... y otra serie de medidas enfocadas a promover la difusión de tecnologías, la formación, la generación de ecosistemas, o la creación de las condiciones de contorno propicias a una determinada orientación de la innovación, como la regulación y los estándares.

Las políticas públicas de innovación europeas dieron un giro hace años hacia aquellas orientadas a la misión/retos (salud, medioambiente, transporte, seguridad...). Estas “*mission oriented policies*” se conforman como elemento central de las actuales orientaciones de políticas públicas de innovación, con una década de recorrido en Europa y un probable impulso en el próximo Programa Marco de la UE. Procede, pues, buscar para la Industria 4.0 un encaje en esta orientación estratégica. Esta visión recoge una serie de nuevas perspectivas:

- Creación de condiciones favorables para la demanda de innovación, dentro de un conjunto más amplio de políticas.
- Transformación de los “lead markets” que se definieron a comienzos de década como mercados regionales con atributos especiales, para que se incremente la probabilidad de que una innovación preferida localmente lo sea también internacionalmente.
- Identificación de oportunidades de mercado para productos o servicios que contribuyan a conseguir un determinado objetivo social. Lo que supone una justificación adicional para el despliegue de estas políticas públicas de innovación. Esta nueva orientación a la misión de la política de la I+D+i puede ser denominada como un “Gran Reto” o ser vista como una función central del “estado emprendedor”. Esta lógica ha sido importante en el pasado en dominios como la defensa, energía, salud, medio ambiente o transporte. Al servicio de estos objetivos, el Estado puede articular grandes proyectos tractores, como uno de sus instrumentos.

La Compra Pública de tecnología Innovadora

En el entorno empresarial español hay actualmente un cierto consenso acerca de la necesidad de intensificar las medidas de apoyo a la demanda innovadora, a la generación de oportunidades para que la innovación llegue al mercado y que éste resulte un estímulo para la asunción de riesgos. El total de la Compra Pública supone un 16% del PIB de la EU (algo menos en España). Es obvio que, como gran comprador, el Estado tiene gran influencia en el mercado. En nuestro país no se ha hecho efectivo el objetivo gubernamental de dedicar a la compra innovadora al menos el 2% de ellas.

Se menciona recurrentemente la necesidad de poner en marcha acciones de compra pública innovadora, en el contexto de la industria 4.0 nos parece importante destacar la conveniencia de contemplar el impulso a la Compra Privada Innovadora. Es obvio que la mayor parte de la demanda industrial se va a generar en ámbitos en los que la demanda pública es minoritaria. En el contexto de la Industria 4.0, la compra privada innovadora tiene una oportunidad natural en la sincronización de las estrategias digitales a lo largo de la cadena de valor añadido, poniendo de relieve, una vez más, la importancia de los ecosistemas.

Sin embargo, el entusiasmo por las políticas del lado de la demanda debe estar guiado por el correcto sentido de la compra pública innovadora, que supone la identificación previa de una necesidad no satisfecha por el mercado, pero para la que existe capacidad tecnológica para desarrollar nuevas soluciones capaces de atenderla. Esta necesidad no solo debe ser sentida por el primer comprador potencial que la ha identificado, sino por muchos otros, lo que hace suponer que se descubrirá un mercado mucho más amplio que el original. Si lo expuesto se tiene en cuenta, serán menos probables riesgos inherentes a las mismas, como pudieran ser los descritos seguidamente:

- Aunque el origen de estas “iniciativas a priori” pueda residir en ámbitos de la Administración cuya misión no está vinculada directamente a la innovación y al desarrollo de capacidades nacionales, es necesario que sus responsables sean capaces de ejercer activamente el liderazgo imprescindible.

- Estas políticas pueden no tener un efecto tractor local, si descansan en capacidades innovadoras internacionales.
- Estas políticas pueden no dar cabida a nuevas visiones, si se desarrollan solo con los interlocutores ya establecidos en el sistema de Compra Pública.
- Los proyectos de innovación pueden llevar a apostar demasiado pronto por una determinada solución tecnológica que, tal vez, no triunfe finalmente.

De todo ello, se extrae la conclusión de que una adecuada secuenciación en el tiempo de las diferentes medidas, y la interlocución con el sector privado, son elementos claves para su despliegue. En España disponemos de evidencia del impacto de estas políticas de demanda, aunque con claroscuros, por ejemplo en el ámbito energético y medioambiental.

Transversalidad o especialización de las políticas

Otro eje importante de la arquitectura de las políticas de innovación es la disyuntiva: ¿instrumentos transversales, o recetas particulares para cada sector? En nuestra opinión, la Industria 4.0 precisa un mix de políticas propio. Tal vez cada industria lo requiera.

La OCDE ya destacó una serie de aspectos que requerían una atención específica en estas políticas para la Industria 4.0:

- Acciones de difusión, interoperabilidad y estándares.
- Derechos de Propiedad Intelectual.
- Compartición de datos.
- Coherencia en los marcos regulatorios de gobernanza de los datos.
- Privacidad.
- Relevancia de “mecanismos de difusión”, particularmente para las pyme, tales como:
 - Servicios de soporte cercano.
 - Servicios de asesoramiento tecnológico a empresas.

- Centros de tecnología aplicada.
 - Centros de transferencia de tecnología.
 - Intercambio de información tecnológica.
 - Asociaciones basadas en la tecnología.
 - Cambios en los comportamientos basados en la demanda.
 - Compartición basada en fuentes abiertas.
-
- Capacidad de aprendizaje del entorno global.
 - Apertura al exterior.
 - Capacidades de gestión e innovación.
 - Gobierno-e.
-
- Mayor énfasis en los componentes de demanda de innovación en las políticas.
 - Los aspectos éticos y sociales como áreas de investigación generadas por la transformación digital.

Para maximizar las capacidades de diferenciación sostenible y de creación de valor en todo el sistema industrial, el mix de instrumentos sectoriales no debería limitarse al ámbito de la pura innovación empresarial, sino que integrara también al sistema de investigación. El Capítulo 2 abundará en esta idea.

1.3.2. La I+D empresarial

Llegados a este punto, conviene hacer una breve radiografía del panorama global de la I+D empresarial, para situar las políticas públicas.

Desde 2013, la inversión en I+D de los países de la OCDE ha permanecido relativamente estable en un 2,4% del PIB. El crecimiento reciente se ha originado en las empresas, que contribuyen con casi un 70% (OCDE, 2017).

No es baladí señalar que la industria es el sector que, proporcionalmente, más innovación genera en el mundo. Las empresas industriales en China, Alemania, Japón y Corea aportan aproximadamente un 80% de la inversión privada

en I+D en esos países. En el nuestro, a pesar de que la industria genera solo alrededor del 16% del PIB, es responsable del 26% del gasto en I+D de España y del 49% del ejecutado por todas las empresas. Probablemente, este hecho no es ajeno a la dinámica altamente competitiva de los mercados industriales, si recordamos que la innovación, de base tecnológica o no, constituye un pilar fundamental para su competitividad.

Concentración de la I+D empresarial

La inversión privada mundial en I+D está altamente concentrada: 2500 empresas generan el 90% de esta inversión; un 40% procede de tan sólo 50 empresas (EC, 2017). La I+D en las TIC, también muestra una alta concentración geográfica: en el período 2012-15, cinco economías generaron entre el 69% y el 98% de las 20 más avanzadas en estas tecnologías de la digitalización. Sólo Japón y Corea supusieron el 21% y el 70%, respectivamente, de todas las patentes en este campo.

En esta misma línea, las diferentes geografías exhiben cierta especialización tecnológica. Así, el 81% de las patentes de las empresas chinas se generan en el ámbito TIC. La inversión europea es sólo un tercio de la norteamericana en este campo. Mientras la UE compara bien en términos de intensidad y tamaño de inversión en industrias como Aeroespacial y Defensa, Automóvil y Farmacéuticas. También resulta cierto que las empresas europeas mantuvieron su participación en la inversión mundial durante el período 2007-16, y que el mayor inversor mundial, Volkswagen, es europeo. No obstante, hay que reconocer que Europa muestra debilidades crecientes en Biotecnología y Tecnologías de la Información y Comunicación en el contexto global, cuando el sector de servicios TIC encabeza el crecimiento de la inversión mundial.

La diversidad en la intensidad inversora de las empresas en diferentes países, cada vez más, se interpreta como una consecuencia de la composición del tejido empresarial (p.ej. participación de industrias de alta tecnología) que de las cualidades del ecosistema de la innovación.

Innovación, más que I+D

Es relevante señalar que, por su transversalidad, la innovación en las TIC no se genera exclusivamente dentro de las fronteras del sector TIC. Así, el valor añadido que incorpora esta industria procedente de otros sectores supone un 19-34%, subiendo hasta el 41% en China. (OCDE Scoreboard, 2017).

Finalmente, conviene destacar que la I+D constituye sólo una de las fuentes de la innovación. En la economía digital, con un grado creciente de “servitización” de la economía, hay que ponderar adecuadamente el impacto de otros activos intangibles que acompañan a muchos de los éxitos de los campeones digitales: diseño, marca, datos, habilidades y conocimiento, reputación, etc. (OCDE, 2015).

En plena transformación digital, las políticas públicas de innovación deben contemplar este panorama global de la innovación empresarial, en un campo de juego de la misma naturaleza. En este contexto competitivo, cabe reconocer la realidad y posibilidades del destinatario fundamental de las políticas públicas nacionales, su sector privado.

Resulta patente, como se ha visto, la concentración de la I+D en pocas empresas industriales, que se ven abocadas a una profunda transformación global. Pero al mismo tiempo, surgen grandes oportunidades para la generación de nuevos campeones mundiales que, no infrecuentemente, son fagocitados por los actores dominantes que recurren sistemáticamente a esa práctica como forma de alimentar su propia innovación. En todo caso, siendo la ciencia y la tecnología un pilar fundamental de toda esta revolución, no son siempre los factores determinantes de los casos de éxito de tales campeones. Con cierta frecuencia, las claves de su éxito han sido otras, como lo demuestra el que muchas de las plataformas digitales dominantes han construido su modelo de negocio sobre tecnologías fácilmente accesibles para sus competidores.

Objetivos actuales de las políticas de innovación

Así pues, de este análisis se deriva que las políticas de innovación nacionales idealmente deberían perseguir, y de forma simultánea, objetivos como los siguientes:

- Favorecer el nacimiento o desarrollo de nuevas “joyas de la corona”, casos de notable éxito, pero al mismo tiempo propiciar la transformación del grueso de la industria, no solo de un pequeño colectivo de innovadores.
- Apoyar a esas industrias intensivas en ciencia y tecnología como herramienta competitiva, pero también a aquellos campeones digitales que encuentran sus claves de éxito en otros ingredientes innovadores.
- La realidad de cada sector recomendará un mix de instrumentos distintos: no parece, por ejemplo, que las claves sean las mismas en el sector aeroespacial que en el agroalimentario.

1.4. Estrategias industriales de país. Estrategias de Europa

La contribución de la industria al PIB y al empleo se ha reducido a la mitad en las economías de la OCDE durante las últimas cuatro décadas, en buena medida debido a la deslocalización de la producción.

La conveniencia de revertir esta tendencia, tanto más en el contexto de una revolución tecnológica, ha devenido en convertir la reindustrialización en un objetivo prioritario en las estrategias de país. Siguiendo de alguna manera el ejemplo alemán (2011), un creciente número de países han hecho de la Industria 4.0 uno de sus ámbitos de foco de sus políticas públicas: USA (2012), Dinamarca (2012), Australia (2013), Bélgica (2013), Reino Unido (2014), Holanda (2014), Suecia (2014), China (2015), Corea (2015), India (2015)... En Europa, entre otras geografías, la transformación digital de la industria se superpone al consenso establecido sobre la necesaria reindustrialización del continente.

Entre los argumentos para recuperar contenido industrial en la economía, se aducen los siguientes (OCDE, 2015):

- La fabricación lidera los crecimientos de productividad, lo que permite pagar salarios más altos.
- La fabricación es una fuente principal de I+D+i, con efectos en toda la economía. Así, las empresas industriales en China, Alemania, Japón y Corea suponen aproximadamente un 80% de la inversión privada en I+D en esos países.
- La manufactura es la componente mayor del comercio internacional, lo que la convertiría en el soporte fundamental de la capacidad exportadora de un país.

Capacidades para la industria

La industria supone aproximadamente un cuarto del empleo mundial. En EEUU, por cada empleo industrial, se estima la creación de 3,4 empleos en otros sectores (WEF, 2018). El *World Economic Forum*, ante este escenario de transformación, clasifica a los países en cuadrantes definidos por los *drivers* favorables para la fabricación, por un lado, y el tamaño y complejidad de la estructura productiva, por otro. Surgen así cuatro categorías de países:

- Líderes, con una base fuerte, y bien posicionados para el futuro. Estos países ya suponen el 75% del valor añadido industrial.
- Tradicionales, con una base fuerte pero en riesgo de cara al futuro.
- Alto potencial, con una base limitada pero con factores favorables para el futuro.
- Incipientes, con base limitada y pocos factores favorables hacia el futuro.

Las conclusiones clave del informe del WEF son:

- Probabilidad de una polarización en un mundo con dos velocidades.
- Los países seguirán trayectorias distintas en el camino de la transformación.
- En todos los países hay posibilidades de mejora, incluso en los más avanzados.
- Cada categoría de países comparte retos comunes.

- La transformación digital de la industria supone una oportunidad para los países rezagados con la que experimentar un avance radical, pero pocos de estos países están bien situados para aprovecharla.
- La cuarta revolución industrial inducirá relocalizaciones masivas de las cadenas de valor añadido globales.
- Las soluciones deben concebirse para una escala regional y global, no solo nacional.
- La transformación debe impulsarse desde concepciones innovadoras de la colaboración pública y privada.

En este documento del WEF, España aparece en el grupo de los líderes, aunque por un estrecho margen. Figuran como factores claros a mejorar en nuestro país la I+D+i, el talento, el entorno institucional.

En otro análisis reciente (WEF, 2018b), el WEF recoge la opinión de la industria acerca del papel crítico de los estados en la generación de ecosistemas de producción que faciliten el desarrollo, la difusión y la adopción de la tecnología. La innovación es un ingrediente aún más relevante de las modernas políticas industriales, que precisan de una visión holística. Un recorrido por los países más activos recoge la existencia de diferentes iniciativas en el campo de la concienciación, los incentivos financieros, la adecuación del entorno legal, la acreditación de empresas ejemplares, el impulso a la conectividad y a la ciberseguridad, la innovación, y el talento (educación y formación).

Por otro lado, el estudio ya citado de la OCDE (OCDE, 2015) matiza los argumentos tradicionales para esta apuesta tan monocolor por la recuperación de la actividad de fabricación, señalando aspectos como:

- La creciente componente de servicios en el valor añadido de las empresas industriales.
- La aparición de una nueva generación de servicios, altamente “productizados”, que muestran similitudes con los productos industriales tradicionales, como el contenido en I+D+i o el potencial exportador (p. ej. servicios en la nube, algunos productos financieros,...).
- Crecimiento en la productividad en algunos servicios.

La posición de la Comisión Europea

La Comisión Europea estableció la política industrial como una de las prioridades dentro de la Estrategia Europa 2020 (“Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador”). En 2011 la Comisión estableció la competitividad como elemento central de esta estrategia COM (2011) 642 «Política industrial: Refuerzo de la competitividad»). Comunicaciones posteriores COM (2012) 582 «Una industria europea más fuerte para el crecimiento y la recuperación económica», COM (2014) 0014 «Por un renacimiento industrial europeo») identifican cuatro pilares, y marcaba como objetivo que la industria represente el 20% del PIB europeo en 2020. La Comisión reclama políticas más coherentes en el mercado interior e insta a los Estados miembros a incluir políticas más agresivas para invertir la tendencia del declive industrial. En la más reciente comunicación del organismo aconsejaba “Invertir en una industria inteligente, innovadora y sostenible. Estrategia renovada de política industrial de la UE” (CE, 2017), la Comisión actualiza esta visión con una componente digital como elemento crítico y define una serie de actuaciones en diversos ejes:

- Digitalización. Es necesario un impulso a la digitalización de gran parte de la industria, particularmente las pymes. El desarrollo de nuevas infraestructuras de telecomunicaciones (5G) es vital. Se señala la importancia de las plataformas digitales, y la ciberseguridad como un aspecto crítico.
- Innovación. La Comisión incide especialmente en el apoyo a empresas emergentes con potencial para escalar a talla mundial, algo que no ha sucedido frecuentemente. Significativamente, señala la legislación como un factor a revisar para potenciar la innovación. Se proponen acciones para articular mejor los actores públicos y privados del ecosistema innovador. Se reconoce la necesidad de trasladar esta oleada innovadora a pyme y a empresas tradicionales. Asimismo, se señalan el impacto de las políticas de competencia, y fiscales, sobre la actividad innovadora.
- Inversión. Se hace énfasis en la financiación a nuevas empresas con alto potencial de crecimiento. Se propone una colaboración público-privada en torno a proyectos estratégicos.

- Mercado único y empoderamiento de los ciudadanos. Ese mercado único es un gran potencial para la generación de cadenas de valor europeas y la integración con las mundiales. La transformación del talento se contempla como un factor necesario de todo el proceso de modernización.
- Dimensión Internacional. La Comisión defiende los principios del libre comercio sobre unas bases equitativas. Señala, significativamente, las inversiones extranjeras en empresas estratégicas del continente.
- Economía circular e hipo-carbónica, donde Europa tiene una oportunidad de liderazgo.

El caso español

Nuestro país puede preciarse de ser uno de los primeros en los que la Industria 4.0 alcanzó cierto nivel de atención, en concreto desde la Secretaría General de Industria. El recientemente revisado Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica de Innovación también ya recoge iniciativas concretas en apoyo a la I4.0. A priori una buena señal, si bien cabe apuntar la conveniencia de enrolar a más y más altos estamentos de la Administración y la Política en estas iniciativas. En Italia, por ejemplo, el asunto ha merecido un estudio por una comisión parlamentaria.

La política industrial del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (denominación en el momento en el que se escribió el presente libro) para el apoyo financiero a las empresas productivas, hasta el momento, se estructura en tres tipos de medidas. Unas, más tradicionales, se dirigen a apoyar la reindustrialización y a la competitividad industrial; un segundo tipo, más reciente, fomenta la digitalización de procesos de las industrias manufactureras (Industria Conectada 4.0); en el momento de escribir estas líneas se prepara un tercer bloque de medidas para el impulso tecnológico a empresas con gran efecto tractor sobre otras actividades auxiliares y complementarias.

En el marco de la iniciativa Industria Conectada 4.0, la Secretaría General de Industria ha determinado una serie de acciones estratégicas que contemplan:

- Concienciación y formación.
 - Concienciación y comunicación.
 - Formación académica y laboral.
- Entornos colaborativos y plataformas.
- Impulso a habilitadores digitales.
 - Fomentar el desarrollo de habilitadores digitales.
 - Apoyo a empresas tecnológicas.
- Apoyo a la evolución digital en la industria.
 - Apoyo a la adopción de la I4.0 por la industria.
 - Marco regulatorio y estandarización.
 - Financiación I4.0.

En el momento de elaboración de este documento, además de acciones de concienciación/difusión, los instrumentos específicos puestos en marcha por la Administración española, fundamentalmente de la mano de la SGI, se sitúan en dos ámbitos:

- Ayudas directas a empresas para incorporar innovación de forma personalizada, de la mano de un consultor y de una herramienta de autodiagnóstico
- Identificación e impulso de una serie de “*Digital Innovation Hubs*”, como elemento central de una serie de ecosistemas innovadores distribuidos por la geografía

Es evidente que la profundidad y alcance de la transformación digital requiere una estrategia de país al respecto, que integre a los sectores público y privado. En España, hay distintas propuestas, desde diferentes actores de la sociedad civil. Desde AMETIC, por ejemplo, se ha propuesto una estrategia específica para la Industria 4.0 apoyada en cinco pilares:

- Co-creación con tejido industrial. Atracción de una base amplia de empresas, colaboración, compartición, divulgación.
- Impulso a las tecnologías habilitadoras.

- Talento 4.0.
- Comunicación y colaboración institucional.
- Relaciones internacionales y Benchmarking.

1.5.- Industria 4.0. Punto de partida en España

Los capítulos 2 y 3 profundizan en los aspectos de innovación y estado de digitalización de nuestra industria. Por ahora, baste anticipar algunas ideas:

- Según el *European Innovation Scoreboard*, seríamos un país del grupo de innovadores moderados en Europa, por debajo de la media de este índice, con debilidades en su sistema de innovación en apartados como presencia de empresas innovadoras, vínculos entre agentes y recursos financieros para la innovación.
- Un país en una posición intermedia en cuanto a digitalización (posición 35 en 2015 en el *Networked Readiness Index* (NRI), posición 15 en 2016 en el *Digital Economy and Society Index* (DESI)).
- En cualquier caso, un país rezagado en posiciones innovadoras y de digitalización en un contexto global, en relación al tamaño de su economía y las aspiraciones de su población.

España no ha sido ajena a la tendencia hacia la reducción de la contribución de la industria al PIB y al empleo en los países de la OCDE, agravada por el impacto de la última crisis. El PIB industrial en nuestro país no había recuperado en 2016 los valores previos a la misma. Con una participación del 16%, se sitúa por debajo del objetivo europeo del 20% para 2020. En el futuro próximo, el reto de la reindustrialización se superpone, como en el resto de países, al de la transformación digital.

También existen datos positivos. Las exportaciones del sector manufacturero incrementaron su participación en las exportaciones en el período 2012-17. Esta contribución es esencial para reducir el endeudamiento exterior. Un aval a su competitividad internacional, incrementada en este período fundamentalmente gracias a mejoras en sus costes laborales unitarios. En las dos últimas

décadas, la competitividad del sector manufacturero ha crecido más que la del resto de sectores económicos. El conjunto de la economía ha recuperado, en los últimos años, parte del deterioro relativo de la productividad del trabajo respecto a nuestros socios europeos, que se venía acumulando desde los 90.

En términos absolutos, España es la quinta potencia industrial de Europa, con un peso del sector manufacturero en el PIB superior al de economías como la francesa o la inglesa. Otras facetas de nuestra economía a destacar en este análisis serían:

- El gran peso de las pymes (micro pymes especialmente) en el tejido empresarial, aunque existen excepciones en algunos países, en general este factor apunta a una menor productividad de las economías.
- El elevado peso de las pymes en la inversión privada en I+D+i.
- De los 2500 mayores inversores empresariales en I+D, solo 16 tienen su sede en España (EC, 2017).
- La relevancia de las multinacionales en la inversión privada en I+D+i (35%, frente a una media europea del 40%, siendo alta en relación a geografías competidoras).
- El reducido porcentaje de empresas que se declaran innovadoras, respecto a otros países europeos.
- La debilidad de nuestra cultura innovadora y emprendedora.
- Nuestra apertura a la economía exterior, recientemente con superávit, pero con déficit exportador de alta tecnología. España se ha especializado en exportaciones de contenido tecnológico medio. Existen importantes déficits en los sectores intensivos en alta tecnología (un 57%). El nivel de cobertura de pagos por royalties sólo alcanzaba el 35% en 2015.
- La competitividad de algunos sectores industriales (p. ej. agroalimentario, automóvil, aeroespacial, químico,...).
- La existencia de multinacionales españolas, si bien no suelen tener un perfil industrial.
- El déficit educativo y formativo tanto en habilidades digitales como en innovación.
- Un entorno regulatorio complejo, no competitivo para los negocios.

Algunas encuestas (Berger, 2016) sobre digitalización de diferentes sectores en España recogen una realidad variopinta:

- El sector industrial es consciente de su bajo nivel de digitalización, pero aún no ve con claridad los incentivos económicos que le motivarían para avanzar. Señala, como principales dificultades para su digitalización: el coste, la falta de competencias y la resistencia al cambio.
- El sector turismo tiene una autoevaluación muy positiva de su nivel de digitalización, pero aún tiene un importante potencial por desplegar.
- El sector salud es el que mejor valora el potencial de la digitalización, pero encuentra barreras en la regulación para su despliegue.

Esta situación nos hace abundar en la idea de que diferentes sectores pueden necesitar distinta composición en el *policy-mix* de innovación. Por otro lado, es patente la necesidad de incidir en los factores de talento (empleados y directivos) como palanca necesaria para la digitalización.

Es obvio, por otro lado, que el Estado debe asumir un papel activo a través de una estrategia digital en la que actúe también como agente ejemplarizante.

1.6. Las Propuestas Desde El Sector Tic: Estrategia Ametic Industria 4.0.

Por Verónica Pascual.

Época de cambio o cambio de época.

¿Asistimos meramente a una época de cambios vertiginosos o más bien podemos considerar que somos espectadores y protagonistas de un verdadero cambio de época?.

Es indudable que nuestro mundo contemporáneo está experimentando una disrupción exponencial de cambios nunca antes conocida en la historia de la humanidad gracias a una variable no humana: la *tecnología*. Esta disrupción

nos sitúa ante un contexto que los expertos han descrito hace tiempo como un entorno VUCA caracterizado por la volatilidad, la incertidumbre, la complejidad y la ambigüedad.

Estos rasgos definen con rigor la época actual que estamos viviendo y suponen un desafío decisivo para la gestión, precisamente, de un factor no tecnológico: los equipos humanos y su talento.

No obstante, los directivos y CEOs de las grandes compañías, pero también de las pequeñas y medianas, deberíamos ser conscientes de que no solo asistimos a una época de cambios como los ya descritos, sino a un auténtico *cambio de época*. Esta nueva era o nuevo paradigma se categoriza como cuarta revolución industrial. De manera un tanto paradójica, y a diferencia de las anteriores, esta nueva transformación de la economía no es fruto de una transición industrial basada en una determinada fuente de energía sino en el conocimiento del consumidor, especialmente, a través del tratamiento de los datos mediante computación en la nube, inteligencia artificial, machine learning y deep learning. La hipercustomización competitiva, con tiempo a mercado acotado, requiere un completo nuevo modelo industrial.

I. La cuarta revolución industrial: industria 4.0 y transformación digital

La transformación digital y la Industria 4.0 están abriendo las puertas a un nuevo modelo económico, con nuevos productos, servicios y modelos de negocios, así como una nueva concepción de las ciudades, la agricultura y la industria, con procesos productivos más flexibles, competitivos y sobre todo más cercanos al consumidor. Este horizonte constituye un reto y también una gran oportunidad para que España tome el liderazgo de esta nueva era digital.

La industria 4.0 constituye por tanto la oportunidad más importante para la transformación digital de la economía española. La fábrica inteligente con todos sus procesos y productos conectados gracias al Internet de las Cosas,

ofrece una gran oportunidad para mejorar la actual posición competitiva de la industria española a través del uso del Big Data, la inteligencia artificial, la fabricación aditiva, la robótica móvil y colaborativa así como de los nuevos elementos de productividad (como la realidad virtual o el gemelo digital) que redundan en una mayor personalización de los productos así como en una mayor competitividad, manteniendo o incrementando los tiempos a mercado. Pero esta revolución no es sólo tecnológica, es en mayor medida humana pues cada vez se van a generar empleos de mayor valor añadido, en los que la componente técnica es fundamental, conllevando una necesaria transformación del talento.

II. Visión y pilares estratégicos

Pese a la oportunidad que supone la Industria 4.0 —conforme a diferentes estudios valorado en 120.000 millones de euros adicionales, reducción del *time-to-market* hasta del 30% y una personalización de la producción— solo el 10% de las compañías industriales españolas tiene un plan concreto de transformación hacia la industria 4.0. De ahí que el primer paso hacia la España 4.0 sea contar con una *visión estratégica* que nos sitúe como referente de la Industria 4.0 en Europa. Desde la Comisión de Industria 4.0 de AMETIC trabajamos conforme a un plan estratégico cimentado en cinco pilares fundamentales.

i. Plan de Desarrollo de las tecnologías habilitadoras.

Estratégicamente, y acorde a la filosofía misma de dos conceptos claves de la industria 4.0 —la tecnología y la conectividad—, es preciso involucrar en la visión estratégica “España 4.0” al conjunto de tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 e influir para la adecuada realización de las infraestructuras habilitadoras de la transformación digital (5G...). En este sentido, es clave la incorporación y fomento de la interacción de todas las siguientes áreas tecnológicas a fin de avanzar de forma compensada y coordinada en todas ellas:

- Internet de las cosas.
- *Cloud computing*.
- Impresión 3D.
- Ciberseguridad.
- *Big data* y *data analytics*.
- Nuevas redes de telecomunicación (LPWA, 5G,...).
- Robótica colaborativa.
- Realidad aumentada.
- Virtualización.
- Simulación.

El desarrollo de las tecnologías habilitadoras ha de poner también el foco en la generación de ecosistemas de colaboración con centros tecnológicos y en la organización de foros de *network*, con un gran foco en el desarrollo de soluciones integrales, a fin de producir un tejido de soluciones tecnológicas integradas e innovadoras en los distintos clusters locales¹.

Acorde a la Visión estratégica, España 4.0, es principal sensibilizar al conjunto de empresas y consorcios que desarrollan soluciones tecnológicamente avanzadas, de la importancia de fomentar una cultura de identificación y protección de la tecnología.

Por último, la política de I+D+i, tanto a nivel nacional como autonómico, está y debe seguir desarrollando todo tipo de ayudas e incentivos de cara a la evolución, innovación y capacidad de integración de las tecnologías habilitadoras.

ii. Co-creación con el tejido industrial.

La industria 4.0 supone una oportunidad única para reindustrializar la economía española apostando por la industria del futuro (incremento

¹ Un ejemplo de ello son los *Digital Innovation Hubs* que la Comisión Europea quiere crear en Europa tomando como ejemplo el papel de instituciones como los Institutos Fraunhofer en Alemania.

de la eficiencia, flexibilidad y velocidad de los procesos productivos; potencial de crecimiento a gran velocidad; creación de nuevos modelos de negocio; creación de empleo altamente cualificados; desarrollo de productos y servicios innovadores; localización en el territorio nacional de actividad industrial deslocalizada; aumento de la productividad y ahorro de energía; etc.).

En este sentido, resulta clave incorporar a esta estrategia tanto a las grandes compañías como a las pymes, siguiendo el ejemplo de las empresas del *Mittelstand* alemán. A tal fin, es preciso sensibilizar a las empresas sobre esta oportunidad y llevar a cabo políticas multiplicadoras de la industria 4.0 (véase el quinto pilar: compartir casos de éxito, demostradores, prototipos, etc.), que permitan tomar conciencia no solo del valor de las tecnologías, sino también del necesario talento habilitador de las mismas y de la necesidad co-creadora de una estrategia conjunta hacia la visión “España 4.0”

Para desplegar esta estrategia resulta clave contar con empresas motoras de la industria 4.0 en España y multiplicadores de soluciones “Industria 4.0” en nuestro país. Buenas prácticas en este sentido que caben ser adaptadas con flexibilidad en nuestro contexto pueden ser las siguientes:

- El valor de experimentar juntos: demostradores para evangelizar sobre la industria 4.0 como la *Smart Factory* de Kaiserslautern².
- Los centros de competencias “Industria 4.0” para transferir conocimiento a las pymes³.
- Creación de una red social que interconecte a las empresas españolas involucradas en la industria 4.0.
- Acompañamiento a las pequeñas y medianas empresas en su viaje hacia la industria 4.0 y la transformación digital de su modelo de negocio.

2 <http://www.smartfactory.de>

3 <http://www.bmw.de/DE/Presse/pressemitteilungen,did=726912.html>

iii. Plan de comunicación y relaciones internacionales.

El plan hacia la visión “España 4.0” ha de contemplar la colaboración competitiva y el aprendizaje de las mejores prácticas a nivel internacional⁴ desplegadas en el campo de la industria 4.0 y la transformación digital, pero adaptándolas a la realidad de nuestro país⁵.

En primer término, es fundamental que el plan español esté alineado con el propio de la Comisión Europea para la digitalización de la industria europea centrada en cinco prioridades (5G, *Cloud* computing, internet de las cosas, big data y ciberseguridad) y la cofinanciación público-privada para acelerar la creación de estándares.

De manera particular, ha de adoptar de forma adaptativa las claves de la transformación digital del modelo industrial alemán plasmados en la plataforma “Industrie 4.0” y que pueden resumirse en las siguientes cuatro claves: a) construcción de una historia común y de país en torno a la industria 4.0; b) creación de redes de colaboración que interconectan las grandes compañías y las pymes en torno al concepto de industria 4.0; c) acompañamiento especial de las pymes en su viaje a la industria 4.0; y d) concepción de la industria 4.0 como un proyecto de transformación de envergadura nacional y europea⁶.

4 Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Frankfurt, National Academy of Science and Engineering; Industrie 4.0. L’usine connectée (2013). Gimélec; Industria 4.0: quale modello applicare al tessuto industriale italiano. Strumenti per favorire la digitalizzazione delle filiere industriali nazionali (2016). Para una revisión completa y actualizada de las distintas iniciativas a nivel internacional, puede consultarse este último informe citado elaborado por la comisión industria 4.0 del parlamento italiano en julio de 2016.

5 Vid. el cuadro de la página siguiente sobre la distinta preparación de los países europeos para la Industria 4.0 elaborado por la consultora Roland Berger y que sitúa a España como país “vacilante” o “hesitator” de cara al despliegue de la industria 4.0: <https://goo.gl/FV5jIW>. Para un análisis de la situación y horizonte de la industria 4.0 en España, los documentos de referencia son los siguientes: La transformación digital de la industria española (2015) y Las tecnologías IoT dentro de la industria conectada 4.0 (2015).

6 Para más información sobre este tema, vid. Kohler, D., y Weisz, J. D., (2016). Industrie 4.0. Les déficits de la transformation numérique du modèle industriel allemand, París, La Documentation Française.

En este sentido, la comisión “Industria 4.0” —de la mano de la iniciativa “Industria Conectada 4.0”— ha de ser capaz de colaborar con las principales arquitecturas emergentes en el campo de la industria 4.0 (la RAMI 4.0 y la IIRA) lideradas respectivamente por la Platform Industrie 4.0 a nivel europeo y el Industrial Internet Consortium a nivel de USA. (Vid. Figura 1) a fin de formar parte y tomar papel protagonista en los foros de decisión y conocimiento sobre industria 4.0 en la Unión Europea y USA.

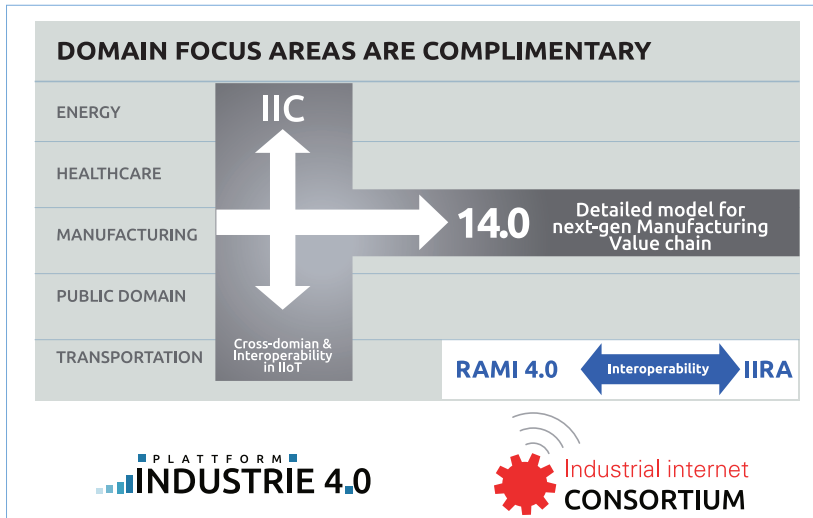


Figura 1. Arquitecturas emergentes en la Industria 4.0 a nivel mundial.

iv. Talento 4.0.

Junto a la tecnología habilitadora y la interconectividad, el factor clave de la industria 4.0 es el talento habilitador de la misma —aquel que denominamos como Talento 4.0—. Este talento es de carácter poliédrico e incluye tanto competencias “hard” vinculadas a perfiles STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) y sus nuevos perfiles digitales (a nivel directivo, de desarrollador y operario), como competencias “soft” que tienen que ver con la capacidad de creatividad, innovación, comunicación y trabajo en equipo (colaborativo con personas y tecnología).

El desafío que la industria 4.0 plantea al sistema educativo debe ser visto por éste como una oportunidad de transformación y actualización que conecte las necesidades de la industria 4.0 con un nuevo modelo de educación y formación. En este sentido, es clave una política de colaboración con el Ministerio de Educación y las respectivas consejerías de educación a fin de avanzar en políticas de impacto a nivel nacional en las siguientes áreas:

- Fomento en edades tempranas de vocaciones STEM, especialmente en población femenina.
- Fomento de la Formación Profesional Dual, especialmente en los perfiles de mecatrónica, electrónica, automatización, robótica y tecnologías de la producción.
- Nuevos postgrados sobre industria 4.0 en colaboración con las universidades españolas.
- Relación con las escuelas de negocio para desarrollar líderes en la nueva economía digital.
- Desarrollo de programas formativos en las propias empresas para generar conciencia de la oportunidad que supone la industria 4.0 y ayudar en la transformación cultural que ésta necesita.
- Impulso del talento emprendedor, favoreciendo la colaboración con entornos de innovación abierta en los que se aceleren *startups* asociadas a verticales claves para la industria 4.0 como la robótica, el *cloud computing*, la impresión 3D o a la ciberseguridad.

En este campo del talento hemos de trabajar, sin duda, en el fomento de un ecosistema nacional para el desarrollo y el reconocimiento del talento habilitador de la transformación digital en España con el fin de promover, educar y formar en las nuevas competencias digitales que demandan las compañías y, en general, la sociedad bajo el nuevo paradigma de la transformación digital.

De ahí que, desde AMETIC, hayamos lanzado con una mirada altamente inclusiva de la gestión del talento la “Alianza por el desarrollo del talento digital”. Una plataforma que nace con la visión estratégica de “fomentar un ecosistema nacional para el desarrollo y el reconocimiento del talento

habilitador de la transformación digital en España, con el fin de promover la educación y formación en las nuevas competencias digitales que demandan las organizaciones del sector TIC y otros sectores que están en el proceso de digitalización, y en general, la sociedad española bajo el nuevo paradigma de la transformación digital, involucrando a todos los *stakeholders* desde un modelo de innovación abierta y plataformas de colaboración público-privada”.

Esta alianza pretende convertirse en el foro más importante a nivel nacional sobre talento digital, en el que se congreguen las empresas del sector TIC y a otras entidades como administración pública, universidades, escuelas de negocio, centros formativos, fundaciones, asociaciones sectoriales, así como empresas de otros sectores interesadas en la transformación digital y el desarrollo del talento.

Desde este modelo de innovación abierta y colaboración, la alianza ha puesto en marcha ya diferentes grupos de trabajo abiertos a la participación de todos los *stakeholders* implicados en el desarrollo del talento digital. En estos grupos de trabajo se abordan líneas estratégicas específicas como la certificación del talento digital, el desarrollo de contenidos para la formación de las competencias y nuevos perfiles que demanda la transformación digital, la actualización de la formación continua de los empleados o el fomento de las vocaciones STEM, especialmente en población femenina desde el paradigma de la “Educación 4.0”.

v. Plan de comunicación y colaboración institucional

El enfoque y despliegue de la estrategia ha de tejerse en base a un modelo de gobernanza y una política de colaboración institucional de carácter público-privada que genere conciencia y sensibilización sobre la envergadura e impacto del proyecto (Vid. Fig 2).

De ahí que se proponga el pilotaje de la estrategia en estrecha colaboración con la administración pública tanto a nivel nacional como regional, incluyendo como *stakeholders* claves al Ministerio de Presidencia, de Economía,

de Industria (en particular el plan Industria Conectada 4.0), y de Educación así como a las consejerías y departamentos autonómicos asociados a estas áreas. De igual modo, estas relaciones de colaboración institucional han de incluir a empresarios, patronal, sindicatos, universidades y centros tecnológicos⁷.

El modelo de gobernanza de la comisión y sus áreas de acción se concretan en tres dimensiones fundamentales:

- f. Ejecutiva: asociada al enfoque y la toma de decisiones en base a la competencia técnica y profesional de las empresas que forman parte de la Comisión “Industria 4.0”.
- g. Estratégica: asociada al pilotaje político y social, la relación con los *stakeholders* y el despliegue del plan de comunicación.
- h. Multiplicadora: asociada al desarrollo de acciones sobre el mercado en forma de iniciativas comunes, multiplicadores de la industria 4.0, casos de éxito, y acciones de apoyo, seguimiento y certificación de las empresas.

Aunque asociado al área estratégica, el plan de comunicación debe ser transversal a todas las áreas de trabajo, incorporando al mismo las buenas prácticas ya desarrolladas⁸, favoreciendo la atracción de prescriptores y aliados que ayuden a dar más fuerza e impacto a la estrategia.

En la actual situación de la industria 4.0 en España, y de cara a los próximos años, es de especial relevancia el despliegue de iniciativas estratégicas asociadas a la dimensión que hemos llamado “multiplicadora” de la industria 4.0 y estrechamente relacionada con el pilar de co-creación con tejido industrial objetivo. Entre estas iniciativas puede citarse, por ejemplo, el

⁷ Fruto del primer año de la comisión “Industria 4.0” presidida por Pablo Oliete se han logrado importantes avances en este campo: reuniones con Dña. Begoña Cristeto en calidad de Secretaria General de Industria y pyme del Ministerio de Industria, participación en eventos sectoriales tanto a nivel del Ministerio de Industria como de las distintas Comunidades Autónomas, la promoción de acciones legislativas o la participación en la redacción de documentos de referencia como los citados en la nota 6.

⁸ Por ejemplo, vídeos de divulgación, perfiles en redes sociales como LinkedIn y Twitter, etc.

desarrollo de demostradores y bancos de ensayos, la divulgación de casos de éxito, la creación de consorcios, la realización de proyectos en común por parte de diferentes empresas en los que se integren diversas tecnologías y protocolos de comunicación, así como experiencias de networking a nivel nacional e internacional. Todas estas acciones sobre el mercado y multiplicadores pretenden visibilizar de manera clara y medible el impacto de la transformación digital y de la adopción de la industria 4.0 en la cadena de valor de las empresas (especialmente las pymes) y en la creación de nuevos modelos de negocio.

PILOTAJE Y COLABORACIÓN INSTITUCIONAL PÚBLICO-PRIVADA Presidencia, Ministerio de Economía, Ministerio de Industria, Ministerio de Educación, Sindicatos, Patronal, Universidades y Centros Tecnológicos, Comunidades Autónomas		
Competencia técnico-práctica	Pilotaje político, social y de comunicación	Acciones sobre el mercado y multiplicadores
Área ejecutiva (empresas AMETIC)	Área estratégica	Consortios e iniciativas conjuntas a nivel nacional e internacional
■ Tecnologías habilitadoras e infraestructuras digitales ■ Arquitectura de referencia, normas, estandarización y vigilancia tecnológica ■ Business models ■ Talento 4.0 ■ Ciberseguridad ■ Dimensión europea e internacional	■ Priorización de la industria 4.0 en la política industrial, económica, social y educativa ■ Relación con las instituciones políticas del Estado a nivel nacional y autonómico. ■ Sindicatos, patronal y centros de ciencia y tecnología	■ Prototipos, demostradores y casos de éxito ■ Bancos de ensayos ■ Consorcios ■ Instancias de estandarización ■ Consultoría, apoyo y seguimiento para las pymes ■ Evaluación y estandarización

Figura 2. Modelo de gobernanza de la estrategia “España 4.0” de AMETIC

1.7.- Experiencias Desde El Observatorio Industria 4.0.

Por Bernardo Villazán

La siguiente re-evolución Industrial.

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta la industria española es aprovechar las oportunidades que ofrece la denominada “Cuarta re-evolución Industrial”, caracterizada por la digitalización, haciendo un uso intensivo de las tecnologías de información, comunicaciones e industriales. Plantas inteligentes y sostenibles, productos y servicios personalizados, cadenas de producción adaptables a las necesidades. La natural resistencia al cambio que se acentúa por el choque generacional en cultura digital, las menores inversiones en I+D en comparación con otros países de nuestro entorno, y la falta de competencias digitales en los profesionales, son las principales dificultades en el proceso de transformación digital del sector industrial.

El Observatorio Industria 4.0 en España está constituido por 60 Miembros de número, profesionales de la práctica totalidad de sectores Industriales en España. Foro de intercambio de ideas y experiencias, neutral respecto a las tecnologías o las soluciones, y atento a los nuevos desarrollos, estándares, regulaciones, y mejores prácticas, con ánimo de enriquecer los procesos de toma de decisiones en este ámbito. Es objetivo del Observatorio constituir un marco permanente para el debate, la formación, la difusión de información, la investigación y la emisión de opinión en materia de la Industria 4.0. Según datos del Observatorio, la aplicación de tecnologías de Internet de las cosas, a la interconexión de activos de todo tipo en las industrias en España está posibilitando hoy, en base a datos del Observatorio, mejoras de la productividad en el orden del 30%, gracias a incrementos de la disponibilidad, y la eliminación de prácticas fraudulentas en gestión de activos y personas, e incrementos de la eficiencia operativa en un 82%, a través de las tecnologías de Big Data y analítica avanzada, con una especial incidencia en las actividades de operación y mantenimiento.

En el año 2015 en España ocurrieron 529.248 accidentes de trabajo con baja; El 86,5% se produjo durante la jornada laboral (458.023 accidentes de

trabajo con baja en jornada de trabajo) y el 13,5% restante en el trayecto del domicilio al centro de trabajo o viceversa (71.225 accidentes de trabajo con baja in itinere).

La utilización de dispositivos vestibles (*wearables*) permiten monitorizar al trabajador en el momento que va a realizar una determinada tarea que conlleva un riesgo, mitigándolo, con el consiguiente impacto en la reducción de los índices de frecuencia y de gravedad. La disminución de los índices de gravedad de accidentes observados, oscila entre 10 y 15%, mediante señalización y control digital de zonas de riesgo, aisladas o no suficientemente protegidas. A pesar de ello, existe todavía una resistencia a la utilización de estos dispositivos en España, al confundirse monitorización con control. Grandes empresas de ingeniería españolas los emplean en otras geografías, en trabajos de alto riesgo y siniestralidad, habiendo reducido notablemente el número de accidentes de trabajadores.

Los costes laborales industriales no nos permiten competir sólo en base a este rubro con países como China. Los países asiáticos son tradicionalmente los mayores competidores globales en coste laboral. Sin embargo, las recientes subidas salariales hacen que ya no sea tan competitivos por esta razón como hace unos años. Los incrementos de los salarios en China, que en el sector manufacturero han crecido un 364% entre 2004 y 2014, están facilitando que algunas empresas industriales estén regresando su producción de vuelta a España, aunque se trata por el momento de algo incipiente. En cuanto a la productividad, España se sitúa en la media europea, con 53.000 euros anuales de VAB generados por cada trabajador industrial manufacturero. Países con costes laborales inferiores a los de España también presentan grados de productividad menores. La industria española es relevante tanto en el ámbito nacional como en el internacional, en un contexto de globalización, con el auge de países emergentes cuyos costes laborales son menores, y han sabido, desde hace tiempo, identificar y desarrollar unas ventajas competitivas diferenciales basadas en otras palancas, tales como la innovación, la internacionalización, y el desarrollo de las personas.

Siendo el coste laboral un factor competitivo importante, la industria conectada 4.0 facilita identificar ventajas competitivas diferenciales basadas en otros elementos permitiendo combinar flexibilidad y eficiencia en los medios productivos, gestionar tamaños de series y tiempos de respuesta más cortos, usar métodos colaborativos para potenciar la innovación, adoptar modelos logísticos inteligentes, aprovechar la información para anticipar las necesidades del cliente o gestionar la trazabilidad extremo a extremo. De hecho, el objetivo de desarrollar ventajas competitivas distintas a la del coste laboral bajo, ha sido el principal motivo por el que Alemania, el país precursor de la Industria 4.0, ha iniciado este camino con el fin de garantizar el futuro de su industria mediante la innovación. El impacto de la digitalización de la industria en la economía alemana en 2020 se estima en un incremento de la productividad equivalente a 90.000-150.000 millones de euros, un incremento de los ingresos de 30.000 millones de euros anuales, y un crecimiento del empleo del 6%.

En relación con la seguridad, uno de los riesgos que se presentan en la industria conectada, los sistemas de ataque están siendo modificados constantemente. La transformación de los ataques está permitiendo que, con combinación de técnicas físicas, lógicas y de engaños a las personas, se logren accesos a los diferentes anillos de seguridad de la empresa, difícilmente detectables. La atención limitada a la seguridad es un problema en muchas organizaciones porque no se trata con la debida diligencia. Se piensa que no da beneficios y no se establece como una prioridad. Sin embargo, está demostrado que es mucho más costoso comenzar a prepararse, una vez que se ha sufrido las consecuencias de un problema de seguridad. Existe una diferencia patente entre el estado del arte de la Ciberseguridad Industrial entre distintos países. Europa está entre 5 y 10 años por detrás de EEUU en la implantación de controles de Ciberseguridad Industrial, y países como España se encuentran más de un lustro por detrás de otros países europeos como Holanda o el Reino Unido. Es necesario tapar todas las brechas del enorme perímetro digital de la empresa, y no olvidemos que la delincuencia está organizada y genera enormes beneficios. En el ejercicio 2016, el Instituto Nacional de Ciberseguridad registró más de 400

ataques a infraestructuras críticas en España, un 43% más que en el ejercicio precedente. Una amenaza que no cesa.

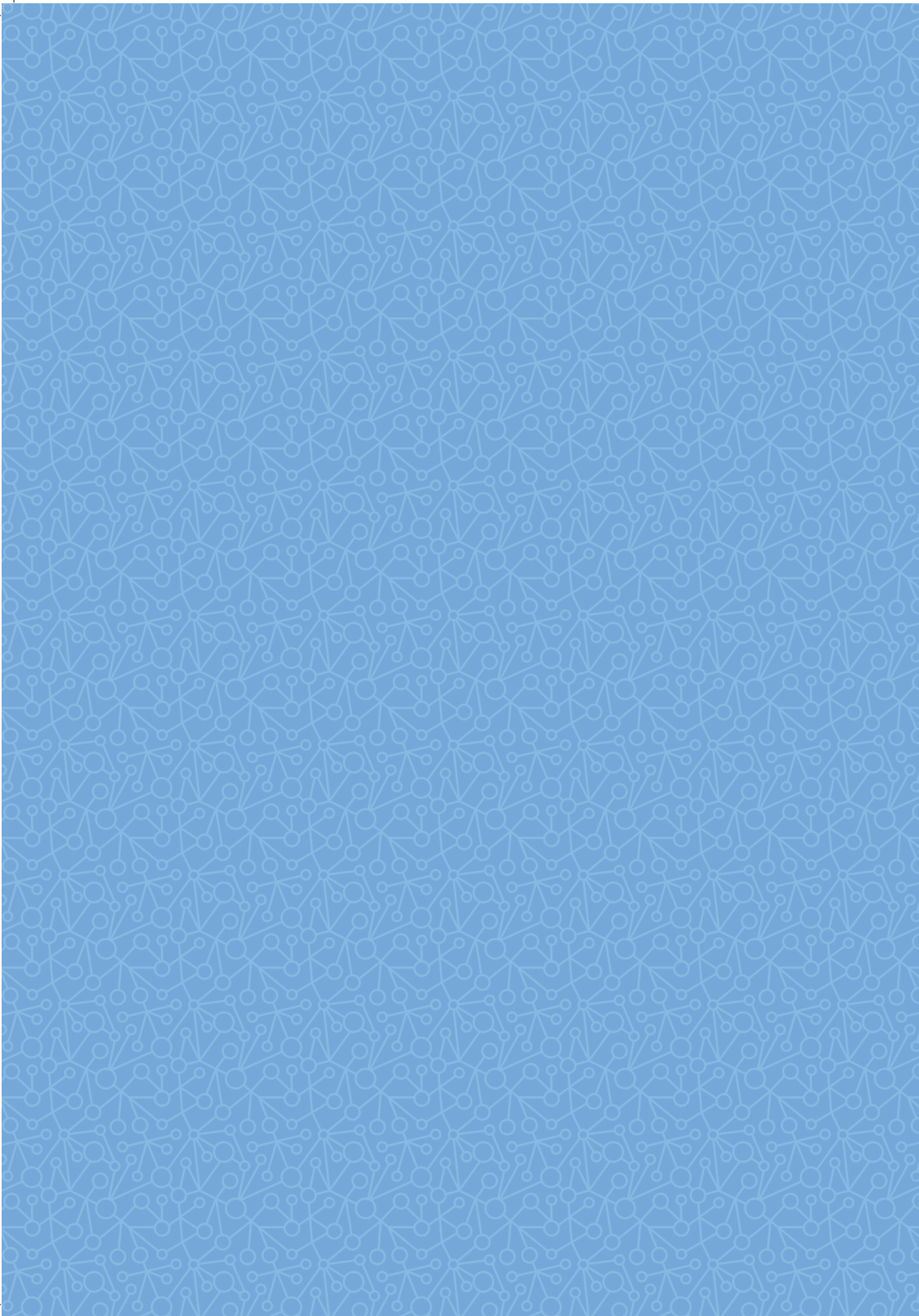
En la actualidad se presenta una demanda creciente de profesionales formados y preparados en las tecnologías habilitadoras de la industria conectada 4.0. Profesionales que conjuguen conocimientos sólidos en lo que se denominan competencias STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), con conocimientos digitales y habilidades profesionales de comunicación verbal y escrita, trabajo en equipo, flexibilidad y dominio de idiomas. Según datos de la Comisión Europea, en la actualidad mas del 40% de las empresas en Europa que buscan profesionales con estos perfiles tienen dificultades para encontrarlos. Para atender esta demanda, y a través de la iniciativa *Digital Skills and Jobs Coalition*, se ha lanzado un programa piloto dirigido a 6.000 estudiantes y graduados STEM recientes, para prácticas en empresas europeas en el período 2018 a 2020.

La colaboración estrecha entre empresas y universidades es hoy más que nunca clave para atender esta necesidad. El ejemplo de la nueva Cátedra de Industria Conectada de la Universidad Comillas ICAI-ICADE es un buen ejemplo de cooperación entre diez empresas industriales y tecnológicas, con la Escuela de Ingeniería del ICAI con el doble objetivo de compartir experiencias reales, y formar y actualizar a los profesionales y nuevos perfiles.

Conclusiones

El desarrollo del paradigma de la industria 4.0, en la re-evolución industrial en la que estamos inmersos representa una gran oportunidad para la industria española, y de hecho se están estrechando las colaboraciones entre los actores relevantes de los sectores industriales y tecnológicos, para garantizar la adecuación de las tecnologías a las necesidades reales de la industria. Es evidente que existen elementos que pueden dificultar la competitividad de España, como son los costes de energía, —más elevados que en países vecinos—, la relativamente baja inversión en I+D+i, o la obsolescencia de los

medios productivos, siendo también necesario trabajar de manera continua, la estandarización y adaptar el marco regulatorio y legal para alcanzar todos aquellos aspectos novedosos que la digitalización plantea. Sin embargo, la posición geográfica de España y sus buenas infraestructuras de transporte, y la presencia de empresas tractores líderes mundiales en sus sectores y referentes en industria conectada e inteligente, constituyen una base sólida para el correcto desarrollo de la industria española bajo este paradigma.



CAPÍTULO 2.-

LA RESPONSABILIDAD DEL SISTEMA DE INNOVACIÓN ESPAÑOL EN EL PROCESO DE REINDUSTRIALIZACIÓN BASADO EN LAS OPORTUNIDADES DE LOS MÉTODOS CIBERFÍSICOS DE PRODUCCIÓN (INDUSTRIA 4.0)

Por: Juan Mulet, Javier del Ser y Agustín Sáenz

2.1.- Una breve visión del sistema español de innovación actual

Durante los últimos treinta años, España ha construido un sistema de innovación que comparte muchas de las características con los de los países avanzados, pero que todavía no ha llegado a ser un instrumento de competitividad para su economía. La Industria 4.0 es, en realidad, fruto del conocimiento científico y tecnológico y, en esta fase de su consolidación, los países que dispongan de la habilidad de aprovecharlo tendrán ventajas competitivas para su reindustrialización, ya que todo parece indicar que deberá basarse en el uso intensivo de nueva tecnología.

En este punto se hace una revisión de la situación actual del sistema español de innovación, con la intención de demostrar, por una parte, que ya existe en España una sólida base para poder confiar en él a la hora de implantar la Industria 4.0. Y por otra, que sin una decidida acción política pública y privada no será posible aprovechar el potencial existente porque, una vez alcanzada la capacidad para generar y asimilar tecnología, es necesario darle valor económico y esto exige la implicación de las empresas, que deben encontrar un entorno que les induzca y les facilite las inversiones en capital físico y humano que lo hagan posible.

2.1.1.- Las características del sistema español de innovación

En los últimos veinte años, España ha conseguido incorporarse al reducido número de países que contribuyen a la creación de ciencia. Y lo ha hecho de la única manera posible, dedicando de forma sistemática una mínima cantidad de recursos y distribuyéndolos con una adecuada profesionalidad. La Ley de la Ciencia de 1986 y la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva han sido

clave para llegar a la situación actual. La ley de la Ciencia creó un instrumento, el Plan Nacional de I+D, y la Agencia consiguió establecer un sistema de selección *a priori* de proyectos de investigación, basada en la metodología de “*evaluación por pares*”. Nada de esto es original y los resultados han sido los esperados, supuesta la honestidad en su puesta en práctica. Actualmente, España aporta a los artículos científicos de calidad cerca del 3% de la producción mundial, y tiene unas trescientas cuarenta mil personas dedicadas total o parcialmente a la investigación.

Existe la opinión generalizada de que lo ocurrido hasta aquí era absolutamente necesario y que debemos felicitarnos por haberlo conseguido pero también que, en la situación mundial de hoy, lo logrado es claramente insuficientemente. Baste un dato para confirmarlo, España es, con el 1,19% del PIB dedicado a gasto en I+D, el vigésimo octavo país del mundo (INE, 2018).

Todo lo comentado hasta ahora resume la situación española, porque el sistema español de innovación, en su variable científica, tiene una dimensión mucho menor que lo que corresponde a su relevancia económica y, al mismo tiempo, resulta razonablemente eficiente. Cualquier análisis comparativo con los países de nuestro entorno revela que, en términos de PIB, el gasto en I+D debería duplicarse, pero también que, por unidad monetaria gastada en I+D, todos los indicadores habituales de eficacia científica presentan valores aceptables, salvo en el caso de la generación de patentes.

Un estudio más detallado del caso español evidencia que existen importantes deficiencias estructurales que dificultan una sana evolución del sistema de innovación y a ellas debería hacerse frente con urgencia, si España desea mantener su competitividad y, simultáneamente, los niveles de renta que disfruta. Desgraciadamente, la crisis ha supuesto un abandono de las saludables políticas, públicas y privadas, que habían conseguido una convergencia, hoy perdida, en esta materia con los países de nuestro entorno.

La primera deficiencia es el bajo nivel tecnológico de nuestro tejido productivo. El porcentaje de empresas que, en la última encuesta realizada

en España siguiendo el manual de Oslo de la OCDE, se declaran tecnológicamente innovadoras, resulta ser solamente una tercera parte de la media de la Europa comunitaria, y de aquellas empresas innovadoras, menos del 14% realizan I+D de forma sistemática. Sin capacidad tecnológica, las empresas difícilmente serán competitivas y tampoco podrán aprovechar el potencial investigador, que el sistema público español ha desarrollado en los años recientes. Y esto se refleja en la estructura de los gastos de innovación españoles, que a su menor magnitud añaden un anormal reparto. Mientras que en la media europea, el 53% de los gastos de innovación del sector manufacturero se dedica a I+D, en España es sólo el 31%. En nuestro país, la innovación tecnológica se basa en un porcentaje demasiado elevado en tecnología adquirida, fundamentalmente incorporada a bienes de equipo.

La estructura de nuestro sistema público de investigación tampoco es adecuada para su sana evolución. Sus grupos son extraordinariamente pequeños para emprender proyectos de suficiente entidad, por lo que frecuentemente trabajan dentro de consorcios dirigidos por otros investigadores europeos. Carecen de información sobre las necesidades tecnológicas de las empresas españolas, porque son muy escasos los que ejercen una mínima acción de difusión de sus capacidades en el mundo empresarial. Además, la actual práctica de gestión del propio sistema no favorece, o quizá incluso penaliza, el aumento de la colaboración con el tejido productivo.

Las ayudas gubernamentales a la innovación, tanto en su faceta pública como privada, son escasas y responden a diseños del pasado. La financiación de la I+D pública descansa en el Plan Nacional de I+D y en el Programa Marco de la UE, y aunque gracias a la adjudicación de ayudas en competencia, implícita en estos instrumentos, se ha conseguido la buena evolución comentada, no existen planteamientos estratégicos a plazos más largos. Tampoco se ha establecido un mecanismo de seguimiento de los proyectos adjudicados ni una evaluación sistemática de sus resultados.

Las ayudas a las empresas para innovación son en términos económicos globales menos de la mitad de lo que es habitual en Europa y se han basado fundamentalmente en créditos, que ante el actual coste del dinero no resultan atractivos. Tradicionalmente, las ayudas unitarias han sido absurdamente pequeñas y por lo tanto incapaces de apalancar recursos de las propias empresas para su innovación, y por esto han actuado con excesiva frecuencia como recursos substitutivos y no como incentivadores de la I+D empresarial. La burocracia asociada a estas ayudas ha sido siempre una dificultad añadida. Actualmente, la principal novedad y esperanza está en las ayudas fiscales, que sin duda son de las más generosas de los países de la OCDE. Su aplicación, sin embargo, no está resultando prometedora. Las empresas no están habituadas a contabilizar sus gastos de innovación y se ha creado un ambiente de inseguridad jurídica ante dudas sobre la aceptación, por parte de las autoridades fiscales, de los conceptos de gasto en innovación.

Estas deficiencias no impiden, sin embargo, que el sistema avance de una forma reactiva a la demanda de innovación del entorno, como única forma de mantener la competitividad del país. Así, las empresas se ven forzadas a reaccionar ante la presión de un mercado muy abierto, y lo hacen aumentando su capacidad de I+D, aunque sea a muy reducida velocidad.

Las consecuencias de la crisis. Innovación

a. Innovación tecnológica

La reciente crisis ha supuesto una importante reducción de la actividad innovadora de las empresas, según revelan las sucesivas ediciones de la Encuesta Oslo del INE. Entre 2008 y 2016, las empresas con actividades innovadoras tecnológicas han disminuido en un 66% en todo el territorio nacional. En 2016 eran solamente 18.475, según revela esta encuesta. Las empresas que se declaran innovadoras tecnológicas fueron en 2016 solo el 12,8% del total, cuando en 2008 decían serlo un 20,8%.

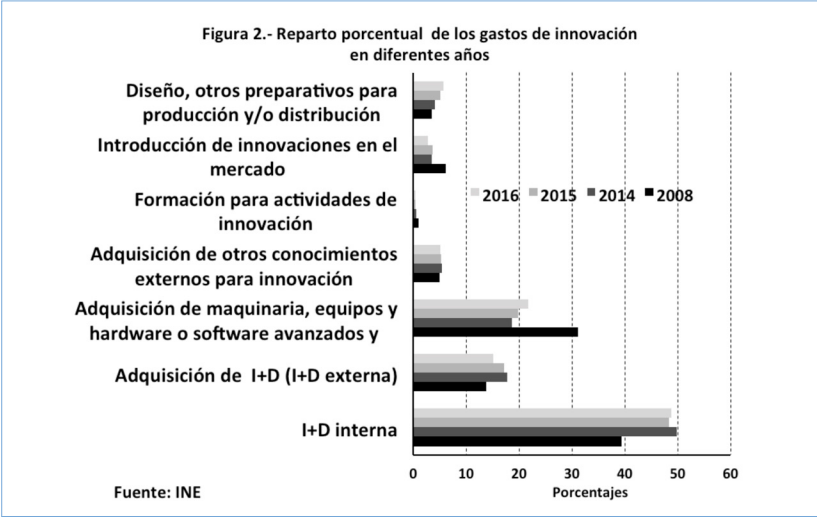
Las empresas innovadoras que declaraban desarrollar I+D interna fueron en 2016 solo 7.563, cuando en 2008 eran 12.997. Han disminuido todavía más las que contrataban I+D que son, en 2015, 3.073 frente a las 7.420 de

siete años antes. La figura 1 muestra el número de empresas que declaraban realizar alguna actividad de innovación, según las clasifica el Manual de Oslo.

Figura 1.- Empresas con actividades innovadoras tecnológicas (2016)

	I+D interna	Adquisición de I+D (I+D externa)	Adquisición de maquinaria, equipos y hardware o software avanzados y edificios	Adquisición de otros conocimientos externos para innovación	Formación para actividades de innovación	Introducción de innovaciones en el mercado	Diseño, otros preparativos para producción y/o distribución
2008	12.997	7.420	17.773	1.375	5.114	11.089	4.371
2014	7.628	3.486	6.747	510	5.096	3.389	1.516
2015	7.563	3.073	6.483	449	5.698	2.932	1.542
2016	7.563	2.535	6.428	496	4.688	2.788	1.711
Var 16/15	0,0%	-17,5%	-0,8%	10,5%	-17,7%	-4,9%	11,0%
Var 15/08	-41,8%	-65,8%	-63,8%	-63,9%	-8,3%	-74,9%	-60,9%

Cuadro Figura 2.



El gasto de innovación tecnológica que declararon las empresas españolas en 2016 fue de 13.857 Millones de €. El reparto de estos gastos según actividades se ha recogido en la figura 2.

Respecto a la situación de antes de la crisis, la de 2016 muestra la sensible menor importancia de los gastos dedicados adquisición de maquinaria, software y edificios y, en contraposición, una mayor peso a la I+D, tanto interna como externa. Es posible que las empresas realmente innovadoras quieran mantener esta actividad y renuncien a mejorar los medios no humanos dedicados a ella. Entre 2014 y 2016 se vislumbra, aunque de forma muy poco importante, una vuelta al comportamiento pre-crisis.

Dado que las innovaciones de más calidad son las que se basan en conocimiento generado internamente o asimilado mediante actividades de I+D, es relevante conocer cuántas empresas tienen esta actividad permanente o la realizan de forma ocasional. La figura 3 muestra cómo el número de empresas con I+D ocasional ha disminuido mucho más que el de las que la realizan de forma continua. De nuevo todo parece indicar que las más innovadoras se resisten más a abandonar esta actividad, seguramente porque están más convencidas de las ventajas que les reporta.

Figura 3.- Número de empresas con actividad de I+D continua u ocasional

	Total	De manera continua	De manera ocasional	% de empresas que realizan I+D sobre el total	% de empresas que realizan I+D sobre el total de empresas con actividades innovadoras
2008	12.997	8.562	4.435	6,41	35,92
2014	7.628	5.691	1.937	5,46	48,44
2015	7.563	5.647	1.916	5,30	48,06
2016	7.563	5.804	1.759	5,22	48,33
Var 16/15	0,0%	2,8%	-8,2%	-1,5%	0,6%
Var 16/08	-41,8%	-32,2%	-60,3%	-18,6%	34,5%

Fuente: INE

Esta misma figura 3 aporta otra información interesante. Por una parte, el porcentaje de empresas con actividades de I+D sobre el total de empresas ha sido siempre extraordinariamente pequeño. Antes de la crisis era menos

del 6,5%, muy parecido al de 2016. Sin embargo, durante el período de crisis el porcentaje de empresas innovadoras que optan por la I+D ha crecido de forma significativa, consecuencia de que han sido menos las empresas que han dejado la I+D que las que han dejado de ser innovadoras.

b. Innovación no tecnológica

Hasta 2016, el número de empresas que declaraban tener innovaciones no tecnológicas en los dos años anteriores era de 55.450, un 34,5% menor que el de las que lo declaraban antes de la crisis. Afortunadamente, son ya dos las encuestas anuales en las que se ha apreciado un ligero aumento, como muestra la figura 4. Año tras año, la encuesta muestra que alrededor de una cuarta parte de las empresas españolas son innovadoras no tecnológicas, y que son más las que declaran innovaciones organizativas.

Figura 4.- Empresas con innovaciones no tecnológicas

	Empresas con innovaciones no tecnológicas	Empresas con innovaciones organizativas	Empresas con innovaciones de comercialización	Porcentaje de empresas con innovaciones no tecnológicas sobre el total (%)
2006-2008	54.125	38.742	20.486	26,69
2012-2014	32.626	26.747	18.810	23,37
2013-2015	33.751	28.303	18.588	23,66
2014-2016	35.450	30.220	18.772	24,47
Var 16/08	-34,5%	-22,0%	-8,4%	
var 16/15	5,0%	6,8%	1,0%	

Fuente: INE

Las consecuencias de la crisis. I+D

Como es lógico, la reciente crisis también ha tenido importantes consecuencias sobre la I+D que se desarrolla en España, tanto en el sector público como privado. El Manual de Frascati establece que se midan por separado los esfuerzos materiales y humanos aplicados a actividades de investigación y desarrollo por el sector público y el privado. Obviamente una primera diferencia entre estos sectores está en el tipo de investigación que desarrollan, como muestra la figura 5.

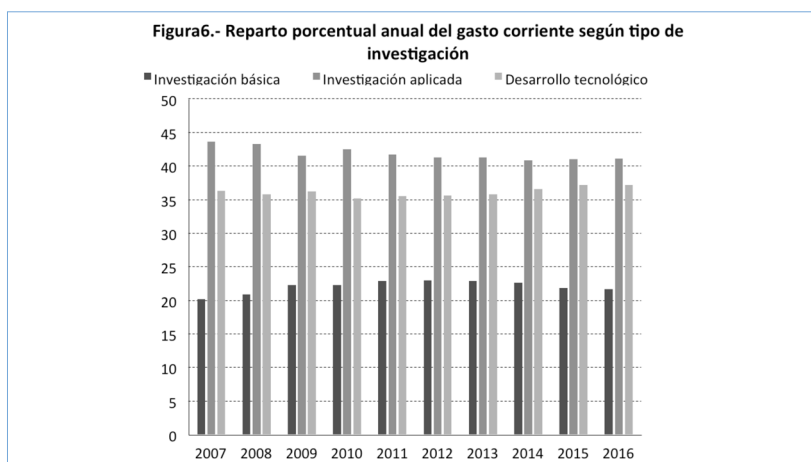
Fig 5.- Reparto del gasto corriente según tipo de investigación

Tipo de I+D	Empresas	Sector Público	Total
I. Fundamental	4,8%	41,4%	21,8%
I. Aplicada	38,1%	44,5%	41,1%
Desarrollo tecnológico	57,1%	14,0%	37,2%
Total	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: INE, 2017

La investigación fundamental es cada día más una responsabilidad asumida por el sector público, mientras que el desarrollo tecnológico experimental es la actividad más característica de las empresas. La investigación aplicada tiene un espectro muy amplio y en él caben los intereses tanto del sector público como del privado, por lo que constituye un fértil campo de colaboración.

La figura 6 muestra el reparto porcentual del esfuerzo entre estos tipos de investigación para el conjunto del sistema español. Un reparto que se mantiene sensiblemente constante a lo largo de los años.



Los indicadores Frascati de I+D empresarial no tienen los mismos valores que los derivados del Manual de Oslo, comentados anteriormente. La razón fundamental es que son distintas las poblaciones consultadas. Las empresas de menos de

diez empleados activas en I+D son básicamente *start-ups* o *spin-off* del sistema público de investigación o de grandes empresas innovadoras, por lo que su contribución al esfuerzo investigador no es despreciable, pero no es recogido en la metodología del Manual de Oslo. Los valores de este indicador para ambos sectores y el total se han recogido en la figura 7, para el período 2008-2015.

Figura 7.- Evolución del gasto total en I+D según su agente ejecutor (2008-2016)

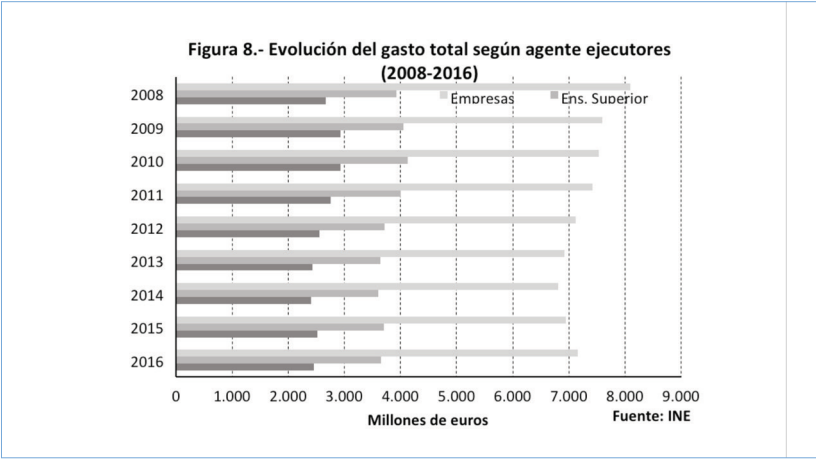
Año	Sector público	Empresas	Total
2.008	6.605	8.097	14.701
2.009	6.985	7.597	14.582
2.010	7.054	7.535	14.588
2.011	6.764	7.420	14.184
2.012	6.272	7.119	13.392
2.013	6.084	6.928	13.012
2.014	6.015	6.806	12.821
2.015	6.224	6.948	13.172
2.016	6.102	7.158	13.260
Var 16/15	-2,0%	3,0%	0,7%
Var 16/08	-7,6%	-11,6%	-9,8%

Fuente: INE

En 2016, el gasto total en I+D fue de 13.260 M€, un 0,7 % mayor que el año anterior. Este último año es el segundo de crecimiento desde el comienzo de la crisis, que ha ocasionado una reducción del 9,8% respecto al año 2008. Si bien este crecimiento dista mucho de los que ocurrían en los años anteriores a la recesión. Es sin duda un resultado esperanzador, porque debe ser el reflejo de una cierta fortaleza del sistema de innovación, una vez que siguen activos los agentes que más confianza han tenido en la necesidad de esta actividad.

El sector privado ejecutó, en 2016, I+D por valor de 7.158 M€ (el 53,9% del total), lo que supuso un incremento del 3,0% respecto al año anterior. Durante la crisis había sufrido una reducción del 11,6%. Por su parte, el sector público gastó en este mismo año 6.102 M€ (el 46,1% del total), equivalente a una disminución del 2,0% sobre 2015. Su reducción durante la crisis fue del 7,6%.

La figura 8 muestra la evolución de estos gastos en el período 2007-2016, distinguiendo los dos agentes ejecutores del sector público: los agentes de la administración y los de la enseñanza superior. Una distinción que no tiene mucho sentido en nuestro país, pero sí en otros.



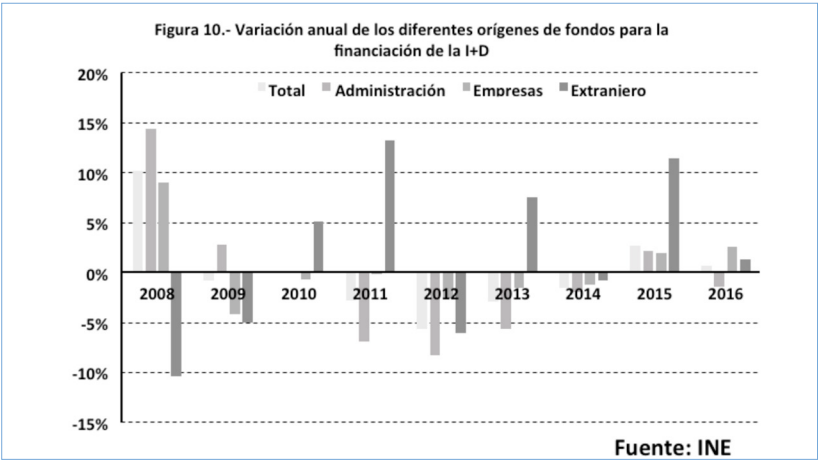
Los sectores público y privado financian fundamentalmente su propia investigación, aunque en 2015 un 10% de todos los recursos procedieron del extranjero, como muestra la figura 9, que incluye la evolución del origen de estos fondos.

Figura 9.- Origen de los fondos que financian la I+D española

	Total	Administración	Empresas	Extranjero
2007	13342	6269	6138	936
2008	14.701	7173	6690	838
2009	14.582	7372	6414	796
2010	14.588	7380	6372	837
2011	14.184	6873	6364	947
2012	13.392	6303	6198	890
2013	13.012	5947	6107	958
2014	12.821	5834	6036	950
2015	13.172	5959	6153	1059
2016	13.260	5876	6311	1073

Fuente: INE

Estas cifras muestran una variación porcentual anual importante en estos años de crisis como se recoge en la figura 10, que sin duda ha dificultado la evolución de la actividad investigadora del país.



Cuando se diferencia entre los agentes gobierno y enseñanza superior se obtiene una mejor idea del desarrollo de la I+D, quedando patente la escasa transferencia de recursos que tiene lugar en nuestro país. La figura 11 muestra la situación en 2016.

Figura 11.- Relación entre financiación y ejecución de la I+D española en 2016 (M€)

Ejecución	Financiación						
		Total	Gobierno	Enseñanza Superior	Empresas	IPSFL	Extranjero
	Total	13.260	5.298	578	6.193	118	1.073
	Gobierno	2.453	2.039	4	136	50	223
	Enseñanza Superior	3.649	2.619	572	188	38	232
	Empresas	7.158	639	2	5.869	30	618

Fuente: INE

En este año, las empresas recibieron un total de 639 M€ del gobierno y las empresas aportaron 136 M€ a los centros directamente dependientes del gobierno y otros 188 M€ a los centros de enseñanza superior.

En 2016, el sistema español de I+D contaba con unas doscientas mil personas en equivalentes de jornada completa (EJC), de las cuales un 61% eran investigadores. La figura 12 muestra su distribución.

Figura 12.- Personal investigador (EJC) en los diferentes agentes y sus categorías en 2016

2016	Total EJC	Investigadores	Técnicos	Auxiliares
Total	205.873	126.633	55.458	23.781
Administración Pública	39.972	20.663	12.503	6.806
Enseñanza superior	75.191	58.413	9.195	7.583
Empresas	90.129	47.222	33.564	9.343
IPSFL	580	335	196	49

Fuente: INE

Es también de interés analizar la evolución de las cifras de personal durante la crisis. El año 2016 ha supuesto por segunda vez un ligero aumento del personal. En todo este período de crisis ha habido una reducción total del orden del 4,5% en total y del 3,3% en los investigadores. Las variaciones entre técnicos y auxiliares pueden hacer suponer que ha habido un aumento de categoría de algunos de estos últimos, mientras que otros perdían su empleo, especialmente en los primeros años de crisis (figura 13).

Figura 13.- Evolución del personal dedicado a I+D entre 2008 y 2016

	Total	Investigadores	Técnicos	Auxiliares
2008	215.676	130.986	51.812	32.878
2009	220.777	133.803	57.884	29.090
2010	222.022	134.653	60.697	26.672
2011	215.079	130.235	58.555	26.289
2012	208.831	126.778	58.029	24.025
2013	203.302	123.225	56.822	23.256
2014	200.233	122.235	54.405	23.592
2015	200.866	122.437	55.523	22.906
2016	205.873	126.633	55.458	23.781
Var 16/15	2,5%	3,4%	-0,1%	3,8%
Var 16/08	-4,5%	-3,3%	7,0%	-27,7%

Fuente: INE

Las consecuencias de la crisis. I+D empresarial

Para el objetivo de este libro resulta muy interesante conocer con algún detalle cómo la I+D que desarrollan las empresas ha evolucionado en este período de crisis, porque es la que tiene más consecuencias para la innovación. El conocimiento creado o asimilado por las empresas a través de actividades de I+D debe dar lugar a innovaciones de mayor valor añadido y, seguramente, hace que la empresa detecte nuevas oportunidades para innovar.

Es una anomalía en el contexto mundial que, en España, las pymes ejecuten alrededor de la mitad del gasto empresarial en I+D. Lo habitual en los países de nuestro entorno es que este indicador se situé alrededor del 30%.

La figura 14 recoge los datos de la actividad de I+D según el tamaño de las empresas. Como ya se ha dicho, en 2016 el gasto empresarial total en I+D superó en un 3,0% al del año anterior, pero continua siendo un 11,6% inferior al de 2008.

Figura 14.- Indicadores de la I+D empresarial según tamaño de las empresas

TOTAL DE EMPRESAS					
Año 2016	Número de empleados de la Empresa				
	Total	Menos de 10	De 10 a 49	De 50 a 249	250 y más
Empresas que hacen I+D	10.325	2.725	4.004	2.634	962
Gasto de I+D interna (millones de euros)	7.126	360	1.153	1.778	3.835
Personal en I+D en EJC: Total	90.129,2	5.967,1	18.634,7	26.127,5	39.399,9
Investigadores en I+D en EJC	47.222,3	4.286,0	10.134,4	12.942,3	19.859,6
Cifra de negocio (millones de euros)	527.208	1.426	20.601	82.289	422.892
Intensidad de la I+D (Gasto en I+D / Cifra de negocios) (%)	1,35	25,25	5,60	2,16	0,91

Fuente: INE, 2017

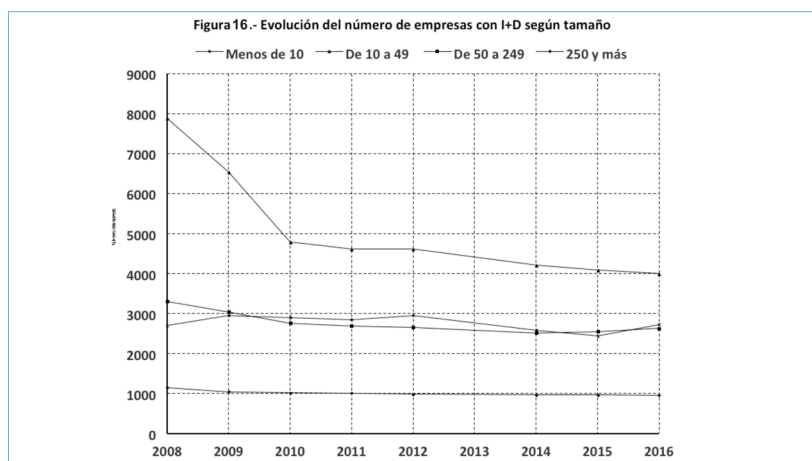
Como se muestra en la figura 15, solo en el rango de empresas que emplean entre 10 y 49 trabajadores y entre las de 50 y 249, todos los indicadores han experimentado un aumento entre 2016 y 2015.

Figura 15.- Variación de los indicadores de I+D empresarial entre 2015 y 2016

	Número de empleados de la Empresa				
	Total	Menos de 10	De 10 a 49	De 50 a 249	250 y más
Empresas que hacen I+D	284	290	-82	82	-5
Gasto de I+D interna (millones de euros)	206	67	72	4	63
Personal en I+D en EJC: Total	2.698	756	353	-134	1.723
Investigadores en I+D en EJC	2.071	581	237	229	1.026

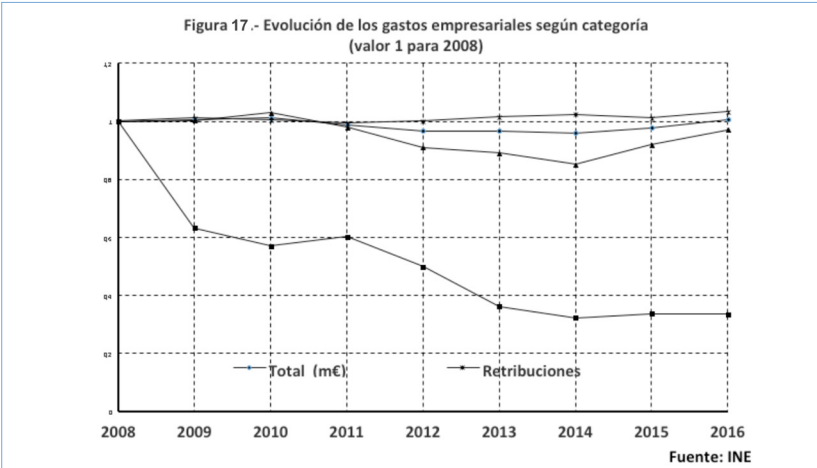
Fuente: INE, 2017

Esta misma conclusión se obtiene de la figura 16, que presenta la evolución del número de empresas con actividades de I+D durante la crisis. Las empresas de 10 a 49 empleados han sido y siguen siendo las más afectadas por la crisis, seguramente porque no han consolidado su actividad de I+D y la han abandonado o porque han desaparecido.

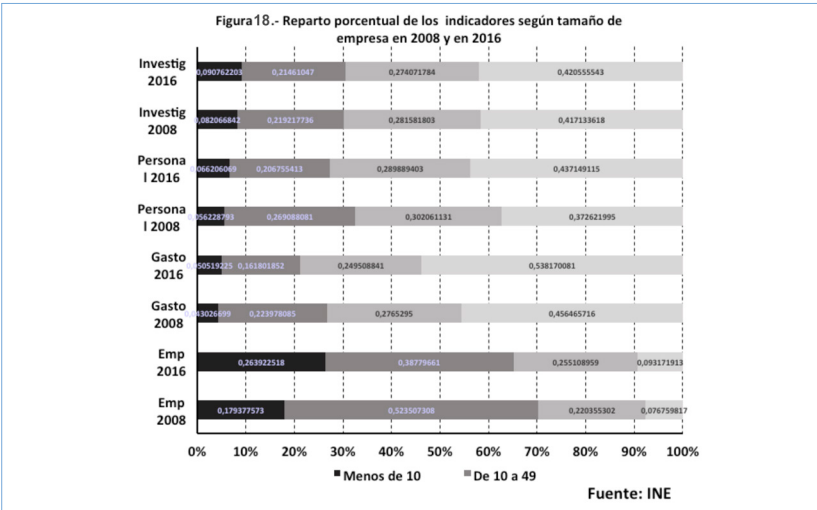


La composición del gasto empresarial total de I+D ha seguido en 2016 el mismo patrón de toda la crisis como muestra la figura 17, pero ya con algún efecto corrector. Por ejemplo, los gastos de capital continúan siendo los más perjudicados por la crisis, pero aumentan ligeramente en este último año, al igual que ocurre con la partida de otros gastos, con una reactivación mayor. Las retribu-

ciones siguen siendo algo mayores que al comienzo de la crisis, lo que puede demostrar que las empresas se esfuerzan por mantener su capacidad de I+D.

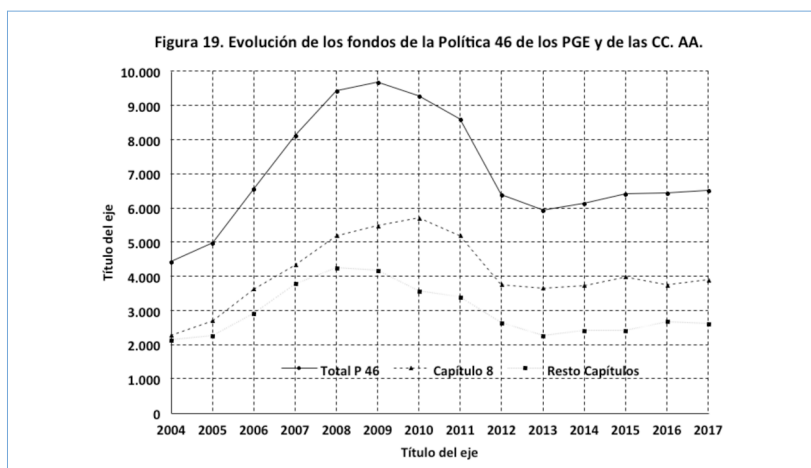


La figura 18 muestra cómo ha variado el peso de las empresas según su tamaño en cada uno de los indicadores utilizados aquí. El segmento de 50 a 249 empleados mantiene su importancia en todos los indicadores, mientras que el de grandes empresas aumenta sus porcentajes a costa del segmento de 10 a 49 empleados.



Las consecuencias de la crisis. El compromiso de la Administración

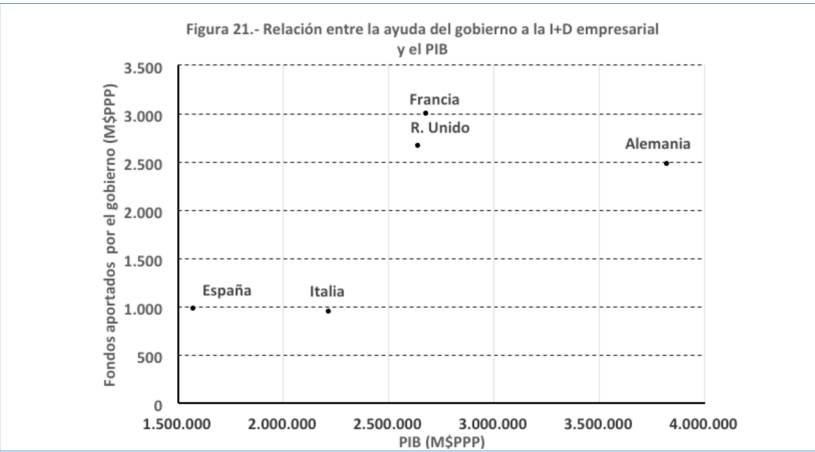
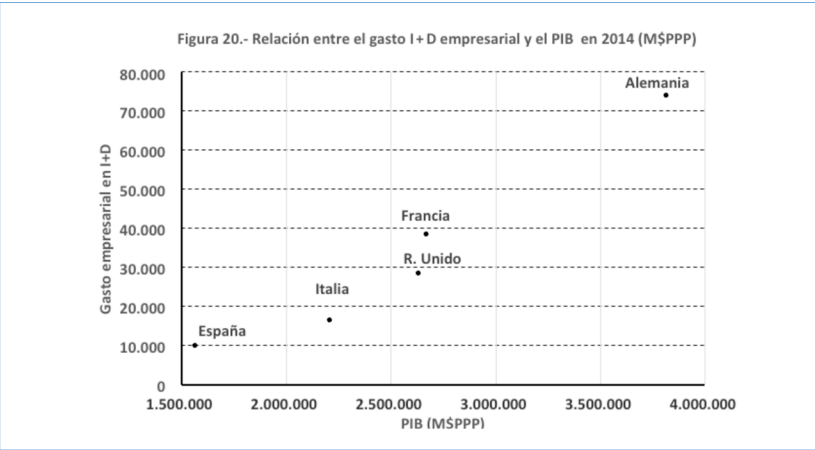
Hasta la llegada de la crisis, España ha vivido un incremento del interés de su administración por el fomento de la I+D y la innovación. Los presupuestos generales del estado han dedicado cifras crecientes a la Política 46, Investigación, Desarrollo e Innovación, como muestra la figura 19. A partir de 2009, su importe ha ido reduciéndose, muy especialmente en su partida no financiera, es decir la dedicada a gastos no recuperables.



Los datos de la OCDE sobre políticas de I+D e Innovación de Alemania, Francia, España e Italia, países que deberían ser comparables en muchas características, solo aparecen completos para 2014, por esta razón, serán lo utilizados en los párrafos que siguen.

La figura 20 presenta la relación entre el gasto empresarial de estos tres países con su PIB.

El extraordinario peso de la I+D empresarial alemana queda bien reflejado en esta figura, al igual que la distancia del español, incluso frente al italiano. La contribución del gobierno español al gasto en I+D de sus empresas es también pequeña, aunque superior a la de Italia, como muestra la figura 21.



Sin embargo, el porcentaje de esta ayuda sobre el gasto empresarial en I+D supera en el caso español sensiblemente al que corresponde a los demás países, como se comprueba en la figura 22.

Finalmente, se presenta en la figura 23 la relación entre lo que se llaman las asignaciones presupuestarias del gobierno para I + D (*Government budget allocations for R&D - GBARD*), que incluyen todas las asignaciones de gastos reunidas a partir de las fuentes de ingresos del gobierno previstas dentro del presupuesto (Manual de Frascati).

Figura 22.- Porcentaje del gasto empresarial en I+D financiado por el gobierno

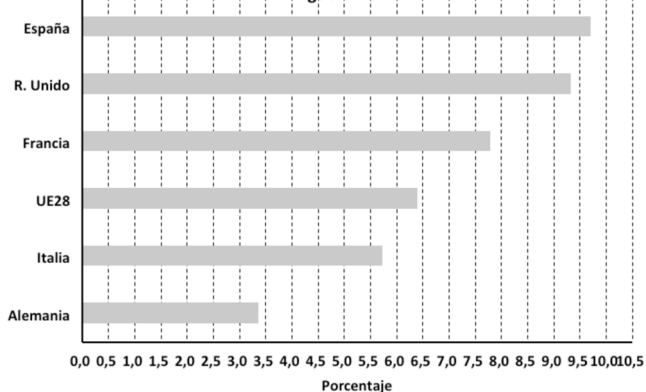
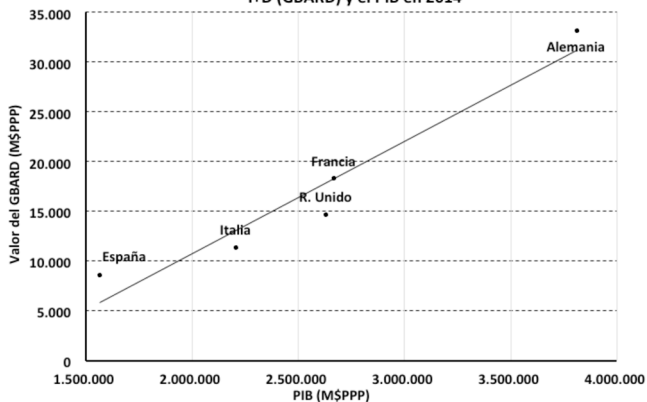


Fig. 23.- Relación entre las asignaciones presupuestarias del gobierno a I+D (GBARD) y el PIB en 2014



Se comprueba que el GBARD español está por encima de la recta de regresión, lo que podría sugerir que existen umbrales para la eficacia de estas inversiones.

2.1.2.- Una estimación del potencial español en I+D para la Industria 4.0

Ante la inminente oportunidad de la Industria 4.0 es conveniente estimar el potencial de nuestra I+D para atender a esta esperada demanda. No existen encuestas concretas a las que recurrir para esta estimación, pero parece posible aventurar

una serie de suposiciones que podrían dar una idea de la capacidad de nuestro sistema de innovación para apoyar esta prometedora iniciativa empresarial.

Puede suponerse que entre los sectores empresariales españoles, por lo menos los de la figura 24 cabrían estar interesados en la implantación de la Industria 4.0 española. En esta misma figura también se incluye su gasto en I+D y el número de investigadores involucrados en ella. El punto 2.3.2. —Empresas españolas que han adoptado la Industria 4.0 de este documento, escrito por el Director de la División de Industria y Transporte de Tecnalia Research & Innovation, Agustín Sáenz— presenta ejemplos de empresas españolas que ya han asumido la Industria 4.0.

Figura 24.- Sectores potencialmente participantes en la Industria 4.0 y sus datos de I+D en 2016

	Gastos en I+D interna (M€)	Investigadores (EJC)
12. Productos informáticos, electrónicos y ópticos (CNAE 26)	169,5	1.643,3
13. Material y equipo eléctrico (CNAE 27)	218,6	1.492,5
14. Otra maquinaria y equipo (CNAE 28)	228,9	1.436,7
16.3. Otro equipo de transporte (CNAE 30-301-303)	104,9	315,3
18. Otras actividades de fabricación (CNAE 32)	15,0	124,8
19. Reparación e instalación de maquinaria y equipo (CNAE 33)	61,6	366,1
26.2. Programación, consultoría y otras actividades informáticas (CNAE 62)	600,9	5.686,9
26.3. Otros servicios de información y comunicaciones (CNAE 58, 59, 60, 63)	86,6	584,4
29.1. Servicios de I+D (CNAE 72)	1.538,4	12.393,0
Total	3.024,2	24.043

Fuente: INE, 2017

Esta estimación es claramente optimista, porque se ha incluido el total del gasto en I+D de las empresas dedicadas a este tipo de servicios (CNAE 72). Según la información del INE es posible conocer cuál es el gasto de este sector realizado para los demás presentes en esta Tabla, con lo que se puede obtener una estimación, seguramente pesimista, de lo que los sectores potencialmente interesados en la Industria 4.0, obtienen de esta investigación

contratada, porque es posible que haya más sectores que demanden I+D para aplicaciones de Industria 4.0, dada la esperada difusión de estas tecnologías.

Figura 25.- Estimación de la investigación contratada a otras empresas por las interesadas en Industria 4.0 (2016)

	Gastos en I+D interna (M€)	Investigadores (EJC)
12. Productos informáticos, electrónicos y ópticos (CNAE 26)	16,8	114,5
13. Material y equipo eléctrico (CNAE 27)	20,5	193,6
14. Otra maquinaria y equipo (CNAE 28)	182,4	1.704,3
16.3. Otro equipo de transporte (CNAE 30-301-303)	21,7	232,6
18. Otras actividades de fabricación (CNAE 32)	6,3	55,5
19. Reparación e instalación de maquinaria y equipo (CNAE 33)	0,1	0,2
26.2. Programación, consultoría y otras actividades informáticas (CNAE 62)	11,8	203,7
26.3. Otros servicios de información y comunicaciones (CNAE 58, 59, 60, 63)	1,5	19,1
Total	261,1	2.523,5

Reuniendo ambas tablas se obtiene una estimación sin duda mejor que la de la figura 24. En la tabla de la figura 26 se presenta la cifra total de los recursos potencialmente involucrados directamente en la Industria 4.0 y de la I+D realizada para ellas.

Figura 26.- Estimación de los recursos empresariales potencialmente dedicables a I+D para Industria 4.0 en 2017

	Gastos en I+D interna (M€)	Investigadores (EJC)
Industrias directamente involucradas (figura 24 sin Servicios de I+D)	1.485,8	11.650,0
I+D realizada para estas industrias por Servicio de I+D	261,1	2.523,5
Total	1.746,9	14.173,5

Por lo que respecta al sistema público de I+D, es más difícil estimar su potencial, pero siempre puede recurrirse a una aproximación de máximos basada en las cifras de investigadores que atribuye el INE al sistema público de investigación en los campos de ciencias de exactas y de la naturaleza y de ingeniería y tecnología, que están recogidas en la figura 27.

Figura 27.- Potencial máximo del sistema público de I+D para Industria 4.0 (2016)

	Ciencias Exactas y Naturales	Ingeniería y Tecnología	Total
Investigadores (EJC)	27.737	29.704	57.441
Gastos en I+D interna (M€)	1.326	1.418	2.744

Fuente: INE, 2017

Es evidente que todos estos recursos no podrían desarrollar investigación aprovechable para la Industria 4.0. Un dato que podría utilizarse para realizar una estimación sería utilizar los artículos publicados en un año (2016) en las materias potencialmente relacionadas con la Industria 4.0 y compararlo con el número total de publicaciones españolas. Estos datos se pueden obtener del portal de acceso público Scimago (<http://www.scimagojr.com/countryrank.php>). Las materias que se han seleccionado son las de la figura 28, donde se ha incluido el número de artículos para cada una de ellas y el total de artículos españoles en 2016.

Figura 28.- Número de artículos españoles en 2016 en Scimago

Campos científicos	Nº de documentos
Matemáticas aplicadas	1.910
Inteligencia artificial	1.221
Ingeniería del automóvil	202
Matemáticas computacionales	411
Mecánica computacional	773
Diseño ayudado por ordenador	258
Ciencias de la computación	3.050
Visión por ordenador	647
Ingeniería de control	1.469
Ing. eléctrica y electrónica	4.037
Materiales magnéticos y ópticos	2.239
Ingeniería de fabricación	1.207
Sistemas de información	1.048
Gestión de sistemas de información	406
Instrumentación	972
Ingeniería mecánica	1.693
Polímeros y plásticos	535
Sensores	152
Proceso de señal	710
Software	2.279
Total para estos campos	25.219
Todos los campos	85.560

Según estos datos alrededor de un 30% de los artículos españoles publicados por científicos españoles, la práctica totalidad pertenecientes al sistema público, estarían trabajando en cuestiones de interés para la Industria 4.0, por lo que podría admitirse que un estimador de la capacidad de la investigación pública española, seguramente optimista, sería el resultado de multiplicar por 0,3 las cifras de la figura 27, como se ha hecho en la figura 29.

Figura 29.- Estimación del potencial del sistema público de I+D para Industria 4.0 (2016)

	Ciencias exactas y naturales	Ingeniería y tecnología	Total
Investigadores (EJC)	8.321	8.911	17.232
Gastos en I+D interna (M€)	398	425	823

Fuente: INE, 2017

Agrupando las estimaciones presentando para los sectores público y privado se puede suponer que en 2016 se ejecutaron investigaciones que podrían tener relación con las necesidades de la Industria 4.0 por valor de unos dos mil quinientos millones de euros anuales, ejecutados por unos treinta mil investigadores (figura 28).

Figura 30.- Potencial máximo español en I+D para Industria 4.0 (2016)

	Gasto (M€)	Investigadores EJC
Sector empresarial	1.747	14.173
Sector público	823	17.232
Total	2.570	31.405

Fuente: INE, 2017

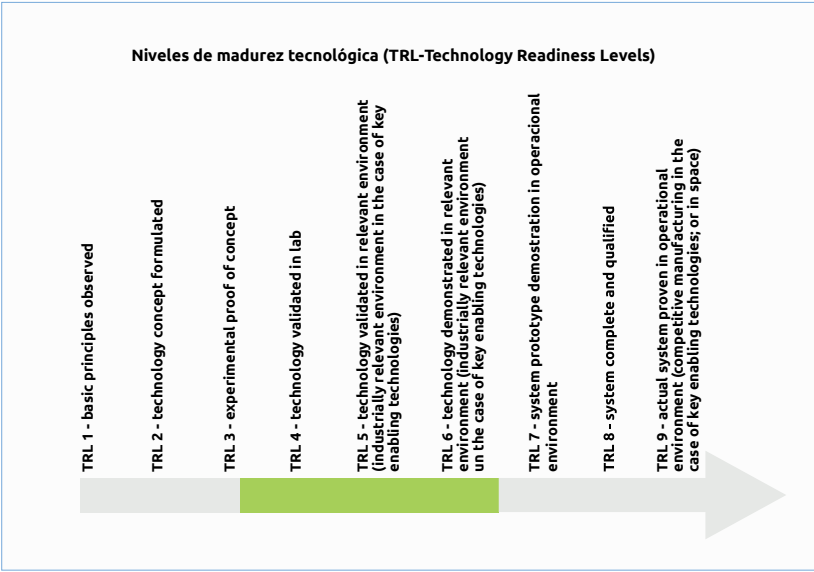
Estas cifras no tienen más valor que el de poder afirmar que en España hay un cierto potencial para asimilar, e incluso crear, la tecnología que precisa la Industria 4.0. Si los sectores público y privado deciden crear los incentivos necesarios, el sistema de innovación español podría responder a este reto en tiempos cortos y con una posible eficiencia.

2.1.3.- El problema de la transferencia de tecnología. Madurez tecnológica

Cuando se trata de aprovechar con fines empresariales la tecnología que generan los centros de I+D, tanto públicos como privados, es siempre nece-

sario lo que se ha denominado la “madurez” tecnológica de los resultados ofrecidos por los investigadores. Con gran frecuencia, el entorno que realiza la investigación carece de medios y experiencia para llegar al nivel de madurez que permite a una tecnología ser aprovechada en los sistemas productivos. Si una tecnología no llega a alcanzar un nivel que puede ser aceptado por una determinada empresa, su valor es nulo para ella. Y si el adecuado nivel no es alcanzado en un cierto plazo de tiempo, es muy posible que otras tecnologías la hagan obsoleta, con lo cual se pierde toda la inversión realizada.

Hoy es habitual emplear una escala de niveles de madurez para describir la situación de una determinada tecnología. El origen de todas las escalas está en la que propuso la NASA en 1990, aunque ya había comenzado a utilizar esta idea en 1974. La Comisión Europea utiliza actualmente la que se presenta en la figura 24.



Se considera que un nivel de madurez inferior al 3, que no habrá pasado por una prueba experimental de concepto, muy difícilmente interesará a una empresa. Si una tecnología ha alcanzado el nivel 7, es decir que ya ha permitido

generar un prototipo de demostración en un entorno operativo, puede ser de verdadero interés empresarial. El paso del nivel 3 al 7 puede resultar imposible para determinadas ideas, especialmente cuando maduran en ambientes que carecen de financiación o de experiencia industrial, por esto a veces se refiere a este tránsito como “valle de la muerte” de la tecnología. No es infrecuente que muchas empresas opten por madurar internamente una tecnología adquirida en el nivel 3. Es una solución que conviene a los investigadores porque pueden iniciar otros trabajos y a las empresas porque no solo su precio habrá sido menor, sino que la podrán adaptar a sus propias características productivas.

En el caso de la Industria 4.0, la demanda de tecnología normalmente vendrá de proveedores de bienes de equipo o de instaladores, que pueden estar interesados en adquirir tecnología en niveles superiores al 3. No hay que olvidar que las empresas que operen fábricas 4.0 pueden necesitar asistencia técnica de los investigadores, como ocurre en otras tecnologías. Estos investigadores tendrán que realizar investigación de frontera si quieren ofrecer servicios realmente apreciados por estos clientes.

Estas observaciones son pertinentes para evaluar el nivel de optimismo con que se han hecho las estimaciones de la capacidad española de I+D en el punto anterior. El 2.3.1.- Modelos de Investigación Colaborativa para el Presente y Futuro de la Industria 4.0, escrito por el Profesor Del Ser, insiste en la colaboración necesaria, pero con frecuencia no exenta de dificultades, entre las empresas y los centros de investigación, en esta materia.

2.2.- Las necesidades de investigación de los Sistemas Ciberfísicos de Producción.

Es evidente que la Industria 4.0 es una clara responsabilidad del sector productivo, pero es necesario reconocer que todavía falta mucha investigación. Se deberá crear mucho conocimiento nuevo y no solo tecnológico, en el sentido tradicional, para lo cual la investigación pública, especialmente en España, puede desempeñar un importante papel.

Se espera que las aplicaciones revolucionarias surjan principalmente como resultado de nuevas combinaciones de las TIC con la tecnología de fabricación y automatización. Para que esto suceda, habrá que conseguir que las habilidades de los fabricantes de máquinas y de los ingenieros de plantas se complementen con las competencias de las empresas de TIC y de automatización. Si además, participa la I+D pública, será más probable que aparezcan desarrollos creativos y específicos para nuevos y mejorados sistemas ciberfísicos de producción.

Al margen de los seguros avances científicos y tecnológicos, será precisos crear nuevos conocimientos que permitan, por lo menos:

- Integrar horizontalmente las tecnologías en toda la cadena de valor
- Crear una “ingeniería extremo a extremo” del proceso completo de fabricación y distribución
- Integrar verticalmente los sistemas de fabricación en red
- Idear nuevas infraestructuras sociales en el lugar de trabajo
- Consolidar una específica “Tecnología de Sistemas Cibernéticos”

A continuación se presta atención a los campos de investigación de todo tipo, que beneficiarán a estos nuevos sistemas de producción.

2.2.1.- Las tecnologías clave para la Industria 4.0

La Industria 4.0 es un nuevo paradigma de fabricación que se basa en una novedosa combinación de capacidades. Precisa de la combinación de datos de fuentes externas e internas a la fábrica, para mejorar la toma de decisiones y el desarrollo de habilidades digitales que logre una mejor integración y gestión de los recursos dentro de la propia empresa, incluyendo seguridad, ciberseguridad y control de riesgos. Pero también una profunda comprensión de muy diversas tecnologías y una nueva forma de desarrollar productos y procesos de fabricación que aprovechen las ventajas de esta nueva forma de fabricar. Todo esto va más allá de integrar las TIC en la esencia de la empresa, porque exige asimilar y hacer avanzar en tecnologías muy diferentes.

Dado que es fácil encontrar detalladas descripciones de las tecnologías que hoy se consideran imprescindibles para la Industria 4.0, se presenta aquí una simple referencia a las mismas, con la pretensión de evidenciar campos donde se deberá desarrollar investigación.

- La “Internet industrial de las cosas”, es decir el uso de la tecnología IoT en los procesos de fabricación. Los sistemas cibernéticos usan dispositivos que integran capacidades de procesamiento, así como capacidades de almacenamiento y comunicación, con el fin de controlar uno o más procesos físicos. Los sistemas cibernéticos están interconectados entre ellos y con la red global a través del paradigma IoT. Protocolos y redes de comunicación más eficientes supondrán avances de esta tecnología.
- Disponer de mejores aditivos para impresión 3D, mejorará la personalización de los productos gracias a prototipos más reales y a procesos más baratos de fabricación, independientemente del tamaño de los lotes de producción.
- *Big data*, minería de datos y análisis de datos, ya que es hoy imposible manejar manualmente la ingente cantidad de datos almacenada como consecuencia de muchos y muy diferentes procesos, sistemas y servicios. Del análisis exhaustivo de estos datos, con técnicas cada día más avanzadas, se obtiene información valiosa sobre esos procesos, y se puede llegar a prevenir problemas mediante la detección de medidas anormales e, incluso, determinar qué eventos están interrelacionados en procesos más complejos, facilitando así la gestión a través de la predicción. La simulación es una eficaz herramienta para optimizar el uso de recursos de forma automática, y para anticipar eventos y necesidades futuras.
- La Inteligencia Artificial es la tecnología adecuada para extraer valor de grandes cantidades de información. Con sus herramientas es posible procesar en tiempo real grandes volúmenes de información. Y además, aprender de ellos, especialmente de las reacciones de los usuarios y los operadores.
- La Robótica colaborativa (Cobot) es una nueva generación de robots que cooperan estrechamente con los seres humanos, sin las restricciones de seguridad habitualmente requeridas en la robótica industrial. Su mejora aportará mayor flexibilidad, más accesibilidad y una relativa facilidad de programación.

- Realidad virtual y realidad aumentada se están convirtiendo, gracias a nuevas investigaciones, en herramientas útiles para optimizar diseños, automatizar procesos, controlar la fabricación y construcción, formación de trabajadores y mantenimiento y control de ambientes industriales.
- En unos sistemas tan complejos la mejora en las técnicas de *Machine Learning* serán cada día de más utilidad, por lo que la investigación en este campo tendrá inmediatas consecuencias.

2.2.2.- Investigación en otros tipos de conocimiento.

También a modo de introducción, se comentan en este punto las necesidades no estrictamente tecnológicas que han sido introducidas más arriba, para asegurar una eficiente implicación de la Industria 4.0.

2.2.2.1 Normalización y estándares abiertos para una arquitectura de referencia

Si la Industria 4.0 precisa de la interconexión entre empresas y su integración a través de redes de valor deberá disponer de normas adecuadas. Los esfuerzos de normalización tendrán que centrarse en establecer, tanto los mecanismos de cooperación, como la información que se va a intercambiar. En definitiva, se trata de establecer una “arquitectura de referencia”.

Una arquitectura de referencia es un modelo general, formado por software y servicios asociados, que se aplica a los productos y servicios de todas las empresas que colaboran. Con ella se proporcionará un marco para la estructuración, desarrollo, integración y operación de los sistemas tecnológicos relevantes para la Industria 4.0.

Dado que la cadena de valor en Industria 4.0 comprende empresas diferentes con modelos de negocio muy distintos, el papel de la arquitectura de referencia es reunir estos enfoques divergentes en uno común. Para ello es necesario que se acuerden los principios estructurales básicos, las interfaces y los datos.

El ejemplo de un sistema de fabricación sirve para delinear algunas de las diferentes perspectivas que deberían integrarse en una potencial arquitectura de referencia;

- La del proceso de fabricación, en términos de funciones de proceso y transporte
- La del sistema que contiene, entre otros, dispositivos de automatización (inteligentes), buses, controladores lógicos programables, dispositivos operativos, dispositivos móviles, servidores, estaciones de trabajo, dispositivos de acceso a Internet, etc.
- La de las aplicaciones de software en el entorno de fabricación, como la adquisición de datos mediante sensores, control secuencial, control continuo, enclavamiento, datos operativos, datos de máquina, datos de proceso, archivado, análisis de tendencias, funciones de planificación y optimización, etc.
- La de las aplicaciones de software utilizadas por una o más empresas, por ejemplo para la planificación y gestión empresarial, la logística entre empresas o las redes de apoyo, incluidas las interfaces pertinentes y la integración con el entorno de fabricación
- La de ingeniería en el sistema de fabricación, que implica el uso de datos derivados del proceso de fabricación para planificar los recursos necesarios (tanto en maquinaria como en recursos humanos) o la optimización de los bienes de equipo.

Las dificultades que enfrenta la definición de esta arquitectura de referencia son muchas. La primera es unificar de alguna forma las diferentes maneras de enfrentar los mismos problemas por los especialistas en ingeniería de producción, ingeniería mecánica, ingeniería de procesos, Ingeniería de automatización y, por supuesto los de TIC e Internet. Sin duda el primer paso será el de establecer una terminología básica común.

2.2.2.2- Gestión de sistemas complejos

El aumento continuo de la utilidad, comodidad de uso y grado de personalización de los productos, así como el aumento de la integración de disciplinas,

de las organizaciones técnicas y de empresas está haciendo que los sistemas de fabricación deban ser cada vez más complejos.

Todo esto hace que se confíe más en “modelos de gestión”, según una estrategia que ya es habitual en el mundo digital. Gracias a estos modelos se puede manejar aquella creciente e inevitable complejidad. Un modelo es, simplemente, una representación de un escenario real o hipotético que incluye solamente aquellos aspectos que son esenciales para el caso considerado. Sin duda es una estrategia muy adecuada en el contexto de Industria 4.0.

Se recurre normalmente a dos tipos de modelos. Unos, llamados de “planificación”, que proporcionan transparencia con respecto al valor añadido que se espera crear, y facilitan la descripción del esquema usado para implementar las funciones que permiten cumplir con las especificaciones demandadas. Es importante tener en cuenta que el modelo contiene el conocimiento de sus diseñadores. Otra clase de modelo son los de “explicación”, que describen el sistema existente, para adquirir a través de ellos conocimientos sobre el sistema que modelan.

Una cuestión importante es que los modelos usualmente contienen descripciones formales que pueden ser procesadas por los ordenadores, lo que permite que estos puedan hacerse cargo de tareas de ingeniería de rutina, como la realización de cálculos u otros trabajos repetitivos. Uno de sus beneficios, y no el menor, es que hacen posible la automatización permitiendo con ello que se realicen acciones en el mundo digital que antes debían llevarse a cabo sobre el sistema real. También permiten reducir riesgos mediante la detección temprana de errores o el conocimiento de futuras demandas del sistema y de la idoneidad de las soluciones que se propongan.

Sin embargo para que estos nuevos enfoques sean válidos habrá que aumentar la conciencia sobre el potencial de los modelos entre la comunidad de la ingeniería y equipar a los ingenieros con métodos y herramientas para usar modelos apropiados. Tampoco hay que minimizar la cuestión de los costes

asociados a modelizar los sistemas de gestión, que debe ser realizada por expertos cualificados que todavía son escasos, por lo que deberán ser formados con toda probabilidad por el propio sistema productivo.

2.2.2.3.- Proporcionar una infraestructura completa de banda ancha para la industria

Solo una potente infraestructura de comunicación de banda ancha puede garantizar una implantación generalizada de la Industria 4.0. Las redes de comunicación deberán proporcionar tiempos garantizados de latencia, fiabilidad, calidad de servicio y ancho de banda universalmente disponible.

Los compromisos que deberían adquirir los operadores de estas avanzadas infraestructuras son, por lo menos:

- Acuerdos vinculantes y fiables de nivel de servicio.
- Disponibilidad y rendimiento de la capacidad de tráfico.
- Apoyo para la depuración / rastreo de enlace de datos, especialmente provisión de las ayudas técnicas pertinentes.
- Provisión de capacidad de tráfico ampliamente disponible / garantizada (banda ancha fija / garantizada).
- Notificación de estado de entrega de SMS a través de todos los operadores de redes móviles.
- Interfaces de programación de aplicaciones (API) estandarizadas para el suministro que abarcan todos los proveedores (activación / desactivación de la tarjeta SIM) control de los contratos de servicios móviles.
- Calidad de servicio (ancho de banda fijo).
- Roaming global asequible.
- Tarjetas SIM ampliamente disponibles.
- Soluciones basadas en satélites para áreas sin recepción.

Como es lógico, esta infraestructura básica es necesaria no sólo para la Industria 4.0, sino para todas las aplicaciones de sistemas ciberfísicos, como es el caso de las áreas de energía o salud.

2.2.2.4.- La seguridad en sus diferentes aspectos, como factores críticos para el éxito de Industria 4.0

Es obvio que la Industria 4.0 no debe suponer un peligro ni para las personas ni para el medio ambiente, ni tampoco para las instalaciones de producción ni para los productos, pero tampoco debe hacer peligrar la confidencialidad de los datos y los conocimientos que la hacen posible. Este último aspecto es de especial importancia porque ha sido poco tenido en cuenta en las actuales instalaciones manufactureras, donde se ha primado desde hace años la seguridad de las instalaciones y de los productos, mediante rigurosas normas. La intensa aplicación de soluciones software ha añadido más complejidad a estas cuestiones.

La solución para conseguir una aceptación generalizada de la Industria 4.0 pasa por:

- Incluir la seguridad como principio de diseño clave. Ya no basta confiar, como en el pasado, en medidas físicas tales como restricciones de acceso o pautas de seguridad centralizadas.
- Desarrollar e implementar estrategias, arquitecturas y estándares de seguridad de TIC para conferir un alto grado de confidencialidad, integridad y disponibilidad a las interacciones entre estos componentes altamente conectados, abiertos y heterogéneos.
- Incluir una solución adecuada, fiable y asequible para proteger el *know-how* de los procesos digitales, los derechos de propiedad intelectual y los datos de cada fabricante y operador.

2.2.2.5.- Organización y diseño del trabajo en la era industrial digital

No se puede obviar el impacto de la Industria 4.0 en el lugar de trabajo. La creciente automatización y los sistemas de control en tiempo real afectan a la cantidad y calidad del trabajo. Por esta razón, no se puede permitir que los esfuerzos de innovación se centren exclusivamente en superar los desafíos tecnológicos.

El ámbito de la innovación debe ampliarse constantemente para incluir la organización inteligente del trabajo y las competencias de los empleados, sin olvidar que estos desempeñarán un papel clave en la implementación y asimilación de las innovaciones tecnológicas.

Es muy probable que la naturaleza del trabajo en Industria 4.0 plantee demandas significativamente mayores a todos los trabajadores en términos de gestión de la complejidad, la abstracción y la resolución de problemas. Las demandas más grandes serán puestas en las habilidades y el potencial subjetivo de los empleados. Esto proporcionará oportunidades en términos de enriquecimiento cualitativo de su trabajo, un ambiente de trabajo más interesante, una mayor autonomía y más oportunidades de auto-desarrollo. Sin embargo, las demandas del nuevo lugar de trabajo virtual también representan una amenaza para el mantenimiento y la salvaguardia del capital humano.

El potencial laboral de la Industria 4.0 no se manifestará por sí solo. Serán necesarios modelos de organización y diseño de métodos de trabajo, que combinen un alto grado de responsabilidad individual y autonomía con un liderazgo descentralizado y enfoques de gestión que permitan a los empleados una mayor libertad para tomar sus propias decisiones, involucrarse y regular su propia carga de trabajo.

No se puede olvidar que la tecnología puede aprovecharse para fines muy diferentes. Los sistemas pueden establecerse para imponer un control restrictivo sobre cada detalle minucioso del trabajo de una persona, o configurarse como una fuente abierta de información, que los empleados utilicen como base para tomar sus propias decisiones. En otras palabras, la calidad del trabajo de las personas no estará determinada por la tecnología ni por las limitaciones tecnológicas, sino por los que determinen el modelo que se apliquen a las fábricas inteligentes.

La Industria 4.0 representa la oportunidad de adoptar un enfoque socio-técnico en el que la organización del trabajo, las medidas de desarrollo profesional continuo y las arquitecturas tecnológicas y de software se desarrollen en es-

trecha conjunción para proporcionar una solución única y coherente centrada en permitir interacciones inteligentes, cooperativas y auto-organizadas entre los empleados y los sistemas de trabajo en toda la cadena de valor. Y de esta manera resolver el conflicto entre “más y más barato” y “mejor, no más barato”.

2.2.2.6.- Formación y desarrollo profesional continuo para la Industria 4.0

La Industria 4.0 debería suponer llegar a una fábrica y a un sistema socio-técnico orientado a la mano de obra, lo que es muy exigente para la formación profesional, académica y continua. La Industria 4.0 transformará significativamente los perfiles de trabajo y de habilidades como resultado de dos tendencias. Primera, los procesos tradicionales de fabricación caracterizados por una muy clara división del trabajo, se deberán complementar con funciones de toma de decisiones, coordinación, control y apoyo. Segunda, será necesario organizar y coordinar las interacciones entre máquinas virtuales y reales, sistemas de control de plantas y sistemas de gestión de producción.

Con toda seguridad, serán las empresas y sus clientes las que deberán impulsar los cambios en la formación académica de los expertos, buscando la convergencia entre la formación de ingeniería de TIC y la de producción. También, algunas de las áreas creativas de las empresas, como el desarrollo interdisciplinario de productos y procesos, puedan requerir calificaciones completamente nuevas. Y será necesario que las personas comprendan el contexto general y las interacciones entre todos los actores involucrados en el proceso de fabricación. En consecuencia, las habilidades sociales están adquiriendo importancia debido a la necesidad de más frecuentes interacciones en la propia vida real y con los ordenadores. Todo ello exigirá nuevas normas para el reconocimiento de la educación formal e informal en competencias. Sin duda la formación continua es el camino que en estos momentos deberá aprovecharse.

2.2.2.7.- Marco normativo

Inevitablemente, los nuevos procesos de fabricación asociados a la Industria 4.0 se encontrarán con el marco regulador existente, lo que plantea por lo

menos dos desafíos. Por un lado, está siempre la incertidumbre sobre la legalidad de una nueva tecnología o los problemas asociados de responsabilidad y protección de datos. Y, por otro, existe el riesgo de que las características de las nuevas tecnologías y de los nuevos modelos de negocio puedan hacer casi imposible cumplir con la legislación existente.

La conciliación entre la regulación y la nueva tecnología siempre requiere el establecimiento de criterios de compatibilización y el desarrollo de un marco regulatorio que no impida la innovación. En todo caso, existen cuatro grandes preocupaciones que deberán ser debidamente atendidas: la protección de datos empresariales, la responsabilidad en la custodia de estos datos y los de las personas y por supuesto el tratamiento de información comercial sensible, ya que la Industria 4.0 exige que muchos de estos datos sean compartidos por numerosas empresas, tanto en el ámbito nacional como mundial.

2.2.2.8.- Eficiencia de los recursos

La industria manufacturera es, con mucho, el mayor consumidor de materias primas en los países industrializados y también el principal demandante de energía primaria y electricidad, con los consiguientes riesgos para el medio ambiente y la seguridad del abastecimiento.

Esta realidad ha dado lugar a la existencia de una mínima regulación, que afecta al uso de materias primas, aditivos, suministros operativos y energía, pero también de la mano de obra y de los recursos financieros. Maximizar la productividad empresarial y la eficiencia de los recursos han sido las vías para afrontar esta creciente exigencia social. La llegada de la Industria 4.0 debe verse como una oportunidad para avanzar en este camino, que el mundo desarrollado emprendió, con mayor o menor éxito, hace años.

2.2.2.9.- La personalización masiva de productos

La personalización masiva es la capacidad de producir bienes de consumo adaptados a los deseos de un cliente o de un nicho de mercado, con precios

y plazos de suministro comparables a los que ofrece la tradicional fabricación en serie. Es una nueva etapa en la segmentación del mercado, donde cada cliente puede tener exactamente lo que quiere. Es la manera de atender a mercados muy variables, que exigen una gran variedad en unos productos, que deben ser vendidos, tanto en las tiendas convencionales como a través del comercio electrónico.

Los sistemas ciberfísicos de producción están especialmente adaptados a este tipo de producto, porque su inteligencia permite reconfigurar a mínimo coste el proceso de producción evitando nuevas ingenierías de proceso y las costosas modificaciones de planta que acarrearán. Pero todo esto exige productos que fácilmente puedan ser adaptados a clientes con necesidades diferentes. Se necesitan nuevas metodologías de concepción y diseño, que son actualmente objeto de investigación. A modo de ejemplo, se comentan a continuación algunas de ellas.

Para la concepción de estos nuevos productos se comienza a analizar lo que se denomina el “espacio de soluciones”, que pretende identificar los atributos del futuro producto en los que divergen las necesidades de los clientes. Con ello se quiere obtener un mapa de diversificación que pueda ser cubierto gracias a la flexibilidad del sistema de producción. Como es lógico, la ayuda del cliente será muy conveniente, y con este objetivo se investiga en metodologías para ayudarle a identificar sus propias soluciones, mientras que se busca minimizar su complejidad y reducir lo que se llama la “carga de elección” del cliente. Por lo que se refiere al diseño, las nuevas metodologías buscan la reutilización y la recombinación de los recursos de la cadena de valor para atender a las necesidades de los diferentes clientes potenciales.

2.3.- Casos de la situación española.

Gracias a las contribuciones de Javier del Ser y Agustín Sáenz, ha sido posible incluir casos españoles reales de aplicaciones de Industria 4.0. Estos fueron presentados por ambos autores en la jornada que motiva el presente libro.

El artículo del Prof. Del Ser está dedicado a la investigación para la Industria 4.0., haciendo especial énfasis en el contexto en el que se desarrolla especialmente en España. Después de una breve descripción de lo que supone para la industria y la academia el nuevo paradigma de la Industria 4.0, se detiene en el análisis de las dificultades con las que se enfrenta esta investigación y acaba sugiriendo un modelo de colaboración entre empresas y entidades de investigación.

La contribución de Agustín Sáenz describe tres casos concretos de soluciones de Industria 4.0 que han sido adoptadas por otras tres empresas españolas, con la colaboración de TECNALIA. Se refieren a ámbitos diferentes, que dan una clara idea del potencial de este tipo de soluciones, para las que se detiene en la descripción de las tecnologías que lo han hecho posible.

2.3.1.- Modelos de Investigación Colaborativa para el Presente y Futuro de la Industria 4.0

Por Prof. Dr. Javier Del Ser

Hoy en día es absolutamente innegable que determinados campos de investigación y desarrollo en el ámbito de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han supuesto un auténtico revulsivo en la digitalización y provisión de inteligencia para el sector Industrial. Este cambio de paradigma respecto al modelo tradicional de industria manufacturera ha acuñado el término Industria 4.0 para referirse a un nuevo modelo de operaciones industriales fundamentado en el uso intensivo de tecnologías TIC (por ejemplo sensores, dispositivos inteligentes, comunicaciones robustas, plataformas Big Data, computación en la nube e modelos de inteligencia computacional basados en el dato), con el fin último de perfeccionar sus procesos de toma de decisiones, lograr una mayor eficiencia en producción o mejorar la calidad de sus productos, servicios y/o procesos, entre otras ventajas competitivas.

La digitalización de este sector, otrora una evolución de difícil consecución por la grave coyuntura económica y la necesidad de retornos de la inversión

a corto plazo por parte de las empresas, es hoy día una realidad cada vez más presente en diferentes agentes de la cadena de valor, desde los proveedores de materia prima hasta las empresas de logística encargados de repartir el producto final. La incorporación de plataformas y equipos capaces de monitorizar y registrar el funcionamiento de un proceso industrial en todos sus variados aspectos ha desplegado un sustrato digital rico y rebo-sante de oportunidades para acometer líneas de investigación, desarrollo e innovación de impacto para el negocio de la Industria. Las hipótesis y supuestos de las investigaciones más primigenias en torno a la Industria digitalizada se han hecho finalmente realidad: los problemas ya están aquí, listos para ser atendidos.

De igual manera que la digitalización ha abierto un amplio abanico de posi-bilidades de mejora operativa para la industria, el número, escala y complejidad de los retos técnicos que emanan de dicho sustrato digital se han incremen-tado notablemente, desde la captura de datos hasta la toma de decisiones. En consecuencia, la Industria 4.0 ha estimulado la creación de estructuras organizativas exclusivamente especializadas en este paradigma, aglutinando en su seno a investigadores y técnicos de muy diversas disciplinas capaces de afrontar dichos retos con suficientes garantías de éxito.

El resultado de esta apuesta generalizada por explotar el potencial de la Industria 4.0 ha motivado en parte la vertiginosa ascensión de los denomi-nados perfiles STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), que designan a investigadores de disciplinas relacionadas con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. La naturaleza particular de los retos abiertos por la Industria 4.0 conjuga tareas propias de desarrollos puramente programáticos con avances científico-tecnológicos originales, sin precedentes que permitan mecanizar su implementación.

El fin último de la digitalización de la industria es proveer a sus procesos de altos niveles de inteligencia y autonomía que permitan, en tiempo de pro-ducción, digerir grandes cantidades de datos, construir modelos que predigan diferentes indicadores de rendimiento y tomar decisiones multi-criterio de

acuerdo a dichas predicciones. La baja recurrencia con que dichos retos suceden en diferentes subsectores industriales, así como la difícil replicabilidad de las soluciones técnicas derivadas para darles respuesta, han ocasionado una creciente demanda de profesionales STEM, con cifras estimadas de 390.000 empleos en los próximos 5 años (Randstad Research, 2016) que reflejan sin duda la trascendencia de la profesión STEM en el mercado laboral del futuro. No en vano varias universidades incluyen hoy día en su oferta académica grados que conjugan diferentes disciplinas STEM, como es el caso de los dobles grados en Informática y Matemáticas ya ofertados por la Universidad de Granada, la Universidad Autónoma de Madrid o la Universidad Politécnica de Cataluña, entre muchas otras.

Al enfrentarse a los retos de la Industria 4.0, la empresa industrial ha comenzado, de forma cada vez menos tímida, a incorporar profesionales STEM a sus plantillas, con particular énfasis a aquellos perfiles asociados a disciplinas de alto contenido matemático. La necesaria inteligencia que soporta la toma autónoma de decisiones de la Industria 4.0 supone el conocimiento de modelos algorítmicos raramente existentes hasta ahora en el personal de empresas de índole industrial. La Industria 4.0 debe decidir por sí misma en función del contexto reflejado en los datos capturados, razonando e infiriendo conocimiento mediante los modelos anteriormente citados. Su aplicación, no exenta de los problemas propios de implementación y despliegue en campo de un proyecto de desarrollo software, no debe ser ajena, en ningún caso, a la posibilidad de que los modelos implementados deban ser adaptados, particularizados, customizados o diseñados desde cero para la casuística o problema concreto tratado. De ahí surge la novedad, originalidad y cierta dosis de genialidad con la que deben ser tratada la provisión de inteligencia en la Industria 4.0, y la razón esencial por la que los perfiles STEM son tan apreciados como exiguos hoy día.

Cuando los recursos de la empresa no son suficientes para acometer una transición integral hacia la Industria 4.0, o en el caso de que la envergadura y/o alcance del proyecto así lo requiera, la estrategia más recurrentemente utilizada es la asociación de la empresa con un centro tecnológico o con el

departamento de universidad que le complemente, asesore y proporcione las competencias técnicas que por sí misma no puede brindar al proyecto. En este sentido se han utilizado diversos esquemas para implementar y regular en la práctica dicha colaboración, desde proyectos de provisión de servicios tradicionales hasta iniciativas a riesgo compartido, pasando por un amplio rango intermedio de alternativas contractuales.

En determinadas ocasiones dicha colaboración puede estar apoyada por un programa de financiación pública que apalanque recursos complementarios y ayude a la empresa a acometer el proyecto con un impacto financiero menor en su política de inversiones. Del mismo modo, dependiendo de las características del proyecto en sí (criticidad de los datos, políticas de personal, confidencialidad del secreto industrial, etc) el *modus operandi* puede requerir la estancia de técnicos e investigadores en la propia planta industrial por una duración determinada en el plan de proyecto.

Los mecanismos de colaboración arriba citados no son en absoluto novedosos en los modelos de colaboración entre entidades de investigación y el tejido industrial. Los ejemplos proporcionados son algunas de las fórmulas de colaboración entre agentes tecnológicos y empresas de todos los sectores de actividad utilizadas desde tiempos inmemorables. No obstante, la idiosincrasia de los retos de la Industria 4.0 afrontados en proyectos de investigación reales ha sido el origen de varias dificultades prácticas que sugieren un cambio urgente en el modelo de colaboración entre agentes:

1. Para empezar, la madurez del entorno digital de partida para el proyecto es clave para el diseño de un proyecto de investigación, desarrollo e innovación en Industria 4.0 que pueda ser atractivo para el negocio, por plazos y por garantía de éxito. La denominada “fontanería digital”, paso previo a la búsqueda de valor en los datos capturados en la planta industrial, es un proceso largo, tedioso y con escaso retorno de la inversión per sé. Con la incipiente recuperación económica y la priorización institucional a sectores productivos como el industrial es tiempo de que las industrias prioricen la inversión en sensores, comunicaciones y plataformas de ingesta, alma-

cenamiento y gestión de datos que formen un ecosistema digital maduro. De otro modo, los recursos del proyecto resultarán fagocitados por la construcción de este ecosistema, limitando el alcance del proyecto a las tareas necesarias, pero no suficientes para la obtención del valor esperado.

2. En segundo lugar, es necesario implicar a la empresa en la definición del alcance del proyecto, de manera aún más nuclear que en los esquemas tradicionales de relaciones empresariales. Este aspecto cobra especial relevancia en escenarios de la Industria 4.0 caracterizados por una elevada complejidad, donde el correcto planteamiento de las hipótesis y objetivos del proyecto debe salvar dificultades inherentes a dicha complejidad, como la diferencia léxica entre expertos tecnólogos y el personal de la empresa, posibles resistencias internas al cambio dentro de la organización, la valorización conjunta de la variable tiempo dentro del plan de proyecto (i.e. fijar un equilibrio entre la excelencia científico-tecnológica de la solución diseñada y la prontitud con que la solución es llevada a producción), o la gestión adecuada de las expectativas del cliente respecto a los resultados intermedios del proyecto. Respecto a este último factor, es menester resaltar que los retos de la Industria 4.0 suponen a menudo asumir cierto riesgo tecnológico y grado de incertidumbre que debe ser identificado, evaluado y aceptado por todas las partes participantes en el proyecto. Cuando la participación de la empresa en la definición del proyecto tiene lugar desde la concepción de la idea, el proyecto puede dar lugar a un cambio de cultura global de la empresa industrial para hacer que ésta se organice y opere “alrededor del dato”, modificando su modelo de gestión para centrarse en lograr agilidad, eficiencia de producción y otras ventajas competitivas en su sector mediante el análisis y explotación de su huella digital.
3. Por otro lado, la calidad del dato, desde la recogida hasta el almacenamiento y análisis, es fundamental para que la Industria 4.0 pueda tomar autónomamente decisiones en operación cuantificables en valor incrementado de negocio. Desafortunadamente, en muchas ocasiones es común encontrar industrias donde los datos recogidos en procesos críticos para el objeto del proyecto son incompletos, corruptos o incluso inexistentes. Cuando este es

el caso, más del 70% del esfuerzo del proyecto se dedica a pre-acondicionar el dato y/o a desplegar los sistemas de captura y almacenamiento necesarios para obtener información del proceso bajo estudio.

4. La metodología de trabajo impuesta en el plan de trabajo debe acomodar procesos iterativos de prueba y error en su desarrollo. La digitalización de la industria, particularmente en lo que respecta a la extracción de conocimiento a partir de la información capturada en planta, no es una ciencia exacta, y está sujeta a incertidumbre por cuestiones como la anteriormente argumentada de calidad del dato. Valga como ejemplo la discriminación de patrones de datos que sean sintomáticos de una necesidad temprana de supervisión y mantenimiento de una determinada maquinaria industrial. En esta casuística, ampliamente referida como “mantenimiento predictivo”, es difícil estimar a priori la verosimilitud de obtener patrones discernibles a partir de la información recogida en planta sin realizar previamente un análisis exploratorio sobre los datos ya disponibles en ella. Igualmente, durante el proyecto el plan de trabajo debe asegurar una interacción estrecha y regular en el tiempo entre empresa y agente científico-tecnológico, a fin de verificar logros intermedios y trazar en consenso líneas de trabajo a corto y medio plazo. A tal efecto, cada vez son más los proyectos que abrazan metodologías ágiles de producción de proyectos software que contemplen de manera explícita dicha interactividad (como SCRUM, XP, KANBAN o LEAN), modificadas para incluir peculiaridades propias de las tecnologías subyacentes (por ejemplo, la consideración de fases experimentales y la valoración de resultados propias de la Ciencia de los Datos).
5. La escasez de perfiles STEM, evidente en la actualidad y previsiblemente más acusada en años venideros, hace que la atracción y retención de profesionales que posean dichas competencias técnicas sean cada vez más complicadas de lograr. Como resultado, los proyectos adolecen de una mayor inestabilidad en el equipo de trabajo, tanto por el impacto de la fuga de personal en el plan del proyecto, como por la dificultad de lograr sustitutos que puedan retomar las tareas desprovistas con la necesaria agilidad y autonomía. Esta tendencia ha sido el principal catalizador de la

inclusión de tareas de formación y transferencia de conocimiento al personal de la empresa en cada vez más proyectos de investigación y desarrollo tecnológico alrededor de la Industria 4.0.

En definitiva, la Industria 4.0 no sólo supone un cambio disruptivo en la concepción del negocio industrial por parte de las empresas del sector, sino que también imprime cambios orgánicos en la manera de conceptualizar y llevar a cabo un proyecto orientado a hacer posible su digitalización. En este capítulo se han elevado diferentes recomendaciones basadas en la experiencia del autor para minimizar el impacto de las dificultades y escollos más comúnmente encontrados en proyectos prácticos de colaboración entre empresas industriales y agentes científico-tecnológicos.

Sin embargo, las buenas prácticas prescritas no logran eximir a las empresas del riesgo tecnológico derivado de la incertidumbre con que la digitalización y la explotación del dato industrial deben ser afrontadas. Existen contramedidas metodológicas para minimizar dicho riesgo, tales como la exploración inicial del ecosistema digital del que parte el proyecto, el desarrollo de pruebas piloto o la correcta aseveración de los resultados intermedios que se obtengan en cada una de las fases del plan de trabajo.

La paulatina implantación de perfiles STEM en el plantel de las empresas industriales también contribuirá a la progresiva familiarización del sector con el riesgo de proyectos de desarrollo e innovación centrados en la digitalización del proceso industrial y en el análisis de datos. Con ello la industria será más consciente del valor que puede dar la ciencia aplicada a sus procesos y productos, tolerando en mayor medida la incertidumbre y latencia que la caracterizan.

Por encima de las medidas prescritas para minimizar el riesgo, emerge en los últimos tiempos una modalidad de colaboración entre agentes que proporciona una mayor garantía de éxito en proyectos relacionados con Industria 4.0: los denominados “Laboratorios Conjuntos de Investigación” (*Joint Research Lab*). Este tipo de iniciativas se fundamentan en el reconocimiento de que,

ante retos de elevada complejidad técnica, la excelencia científico-tecnológica necesaria para afrontarlos debidamente debe surgir de la sinergia entre investigadores de renombre en sus respectivos ámbitos, conformando para ello equipos mixtos procedentes de diferentes centros y entidades alrededor de un objetivo común: utilizar la ciencia para resolver problemas de impacto.

La Industria 4.0 es un nicho de investigación complejo, sujeto a múltiples dificultades prácticas fruto de su relativa inmadurez digital, lo que exige congregarse a recursos cuyos conocimientos, competencias y trayectoria sean las más alineadas, útiles y complementarias para resolver el problema en cuestión. La creación de alianzas y acuerdos institucionales para la conformación de equipos mixtos permite no dispersar esfuerzos, y ofrece más valor y retorno al cliente final.

Las empresas buscan valorizar su inversión en tecnología, por lo que priorizan trabajar con aquellos equipos que proporcionen las mayores garantías de éxito, independientemente de la afiliación que ostente cada uno de sus integrantes. Así ya lo han previsto instituciones, agentes y empresas a nivel nacional e internacional, dando lugar a JRL's como el conformado por TECNALIA, el Centro Vasco de Matemáticas Aplicadas (BCAM) y la Universidad del País Vasco para la investigación en Big Data para la Industria 4.0; el formado por el Italian Institute of Technology (IIT) y NOVACART para nuevos materiales y técnicas de empaquetado para la industria alimentaria; el compuesto por Rolls-Royce, la Agencia para la Ciencia, Tecnología e Investigación (A*STAR) y Singapore Aero Engine Services (SAESL) de Singapur para desarrollar nuevas tecnologías para la industria aeroespacial; o el así denominado "Berlin Center for Digital Transformation", que reúne a equipos de investigación de diferentes centros Fraunhofer de Alemania con empresas de primera línea en la transformación digital de la industria como SAP, Siemens, Bosch, Google y CISCO, entre otros.

La lección es bien sabida desde tiempos de la antigua Roma. Dos conocidos proverbios así lo certifican: *Fabricando fit faber, age quod agis* y *Ubi concordia, ibi victoria*. En definitiva, especialización y colaboración entre agentes

para conformar la mejor respuesta ante los complejos retos que despliega la Industria 4.0.

2.3.2.- Empresas españolas que han adoptado la Industria 4.0

Por Agustín Sáenz

Los tres casos presentados se desarrollan con un mismo esquema. Describen la oportunidad para aplicar soluciones Industria 4.0, explican la solución, incluyendo referencias a la tecnología utilizada y justifican la utilidad de la decisión. Además se refieren a tres ámbitos diferentes de aplicación: la transformación digital de una industria, la mejora del mantenimiento de plantas industriales y la digitalización de un producto.

Caso ZAYER/IBARMIA

Monitorización de la condición en máquina herramienta (Máquina 4.0)

En este caso el objeto de aplicación es la transformación digital de los activos de fabricación del segmento de mercado Máquina – Herramienta. Dicha transformación digital pasa por convertir dicho activo en un sistema ciberfísico que genera información digital de la cual se puede extraer valor.

Uno de los errores que se tienden a cometer es la suposición de que los activos de fabricación no cuentan con datos digitales. Sin embargo, ya desde la introducción de los PLCs (Programmable Logic Controller) y la automatización, las máquinas cuentan con un buen número de señales digitales, pero que hasta ahora no se habían explotado por carecer de medios técnicos para extraer y procesar la información de una manera escalable.

Otro punto importante es definir los objetivos de dicha información digital. Es decir, una vez que se sabe que podemos extraer los datos digitales de la máquina, ¿Para qué los vamos a explotar? ¿Qué objetivos perseguimos? Es en

este punto, donde una plataforma digital debe proporcionarnos el procesamiento de dicha información así como las herramientas de análisis necesarias para extraer el valor. En el caso que nos ocupa, con la transformación digital de las máquinas podemos conseguir los siguientes objetivos:

- Mantenimiento predictivo de los activos, en este caso de la máquina y/o componentes de la máquina.
- Conocimiento profundo de la operación de la máquina en condiciones reales, infiriendo conclusiones para optimizar futuros diseños.
- Palanca para ofertar nuevos servicios digitales sobre el activo “máquina” digital (“servitización”).

Este tipo de aproximaciones en el segmento de Máquina-Herramienta ha sido una de las primeras piedras de toque en cuanto a implementaciones reales de tecnologías 4.0. Entre los principales actores que han llevado a cabo este tipo de desarrollos, destaca los casos de ZAYER e IBARMIA, pymes fabricantes de maquinaria vascas absolutamente pioneras en implementar estos conceptos en sus máquinas.

En cuanto a los fundamentos técnicos, el sistema se compone de tres partes diferenciadas:

- Un sistema de adquisición conectado al PLC o al Control, compatible con los principales fabricantes de los mismos (ej. Siemens). Dicho sistema de adquisición se basa en un PC industrial con una implementación SW de librerías de encapsulado de la información y utilización de protocolo OPC-UA para la extracción y comunicación de la información con los sistemas industriales. Finalmente dispone de una conexión TCP-IP para enviar los datos “en bruto” a la nube.
- Plataforma “cloud” inteligente. Entorno SW en la nube, accesible por multiplataforma, donde los datos se procesan y se muestran de una manera visual e interpretable. La plataforma representa los principales KPIs de operación de la máquina, como su productividad, consumo energéticos e incluso parámetros específicos de cada programa-pieza.

También se implementan recreaciones 3D de trayectorias de cabezales u otros componentes móviles.

- Motor “Machine Learning”. Consiste en una librería de algoritmos predictivos que modelan (en base a datos históricos) el comportamiento de las señales, y por lo tanto nos ofrecen predicciones sobre eventos futuros. Este tipo de algoritmos son clave para anticipar la degradación de los componentes, averías por falla de mantenimiento (aceite, engrase) y otros eventos de interés.

Caso PETRONOR

Monitorización de operarios en planta y en espacios confinados

Algunos entornos industriales presentan ciertos riesgos para los operarios que trabajan en dichas instalaciones, bien porque se trate con sustancias tóxicas o inflamables, bien porque se desarrollen trabajos en altura, o bien porque se lleven a cabo trabajos en solitario en espacios confinados. Para ciertos casos, y como medida de prevención, contar con sistemas de monitorización de los operarios ayuda a trazar dichos movimientos y a que el sistema alerte inmediatamente ante alguna incidencia.

Si hablamos de entornos exteriores, dicha monitorización se puede realizar de manera trivial con sistemas existentes basados en geoposicionamiento GPS. Sin embargo, en entornos cerrados como la mayoría de plantas industriales, la señal GPS resulta inútil, por lo que tenemos que diseñar soluciones que nos puedan proporcionar un geoposicionamiento alternativo. En este caso, resulta necesario recurrir a soluciones de posicionamiento en interiores.

Las técnicas de posicionamiento en interiores han contado con un desarrollo científico-técnico significativo en los últimos 10 años. Las técnicas más empleadas son aquellas basadas en balizado del entorno y triangulación/trilateración de señales inalámbricas como WIFI, *Bluetooth* Low Energy (BLE) o Ultra Wide Band (UWB). Es decir, las balizas actúan como pequeños satélites (haciendo la analogía con el caso de GPS) que en base a los “beacons” radiodifundidos

el sistema es capaz de extraer una posición absoluta sobre un mapa. Este tipo de técnicas están en constante evolución, y los sistemas más recientes con tecnología UWB son capaces de alcanzar precisiones sub-métricas en el geoposicionamiento. Por el contrario, tecnologías como *Bluetooth*, sin ser tan precisas, gozan de gran popularidad entre las soluciones existentes debido a su compatibilidad con los dispositivos móviles actuales (smartphones y otro tipo de wearables).

En el caso de REPSOL-PETRONOR, concretamente para la refinería de Muskiz, se ha apostado por un sistema de estas características para incrementar la seguridad de las personas en un caso de uso muy concreto: las paradas de mantenimiento. En este tipo de paradas, que afectan a sectores concretos de la refinería, un volumen alto de personas que pertenecen a subcontratas de mantenimiento entran a dichos sectores a realizar distintas tareas de limpieza y puesta a punto. En este contexto, disponer de un sistema de control y monitorización 4.0 sobre dicho personal de mantenimiento suponía una gran ventaja desde un punto de vista de control de la operación durante la parada y prevención de riesgos.

El sistema cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Un dispositivo *wearable* en forma de pulsera que cuenta con conectividad BLE y UWB.
- Balizas con conectividad BLE y UWB para inferir la posición de las pulseras (y por ende, las personas). Las balizas cuentan también con control de acceso a espacios confinados.
- Una plataforma *Cloud* para control y monitorización de toda la actividad, posicionamiento de las personas, número de personas en espacios confinados, permisos, etc.

Técnicamente, la novedad reside en una aproximación tecnológica que hibrida dos tecnologías de localización (una basada en BLE y otra en UWB) que proporciona una mejora en la robustez respecto a las soluciones existentes. Tal y como se ha señalado anteriormente, UWB es una de las tecnologías

existentes más precisas, pero presenta debilidades en el caso de obstáculos metálicos y espacios sin visión directa. Sin embargo, en esos casos BLE, pese a no contar con tanta precisión (en torno a 5-10 metros), sí que proporciona un valor, que sin ser preciso, es robusto frente a las interferencias, por lo que desde control no se pierde en ningún momento la trazabilidad de las personas pese a la hostilidad del entorno.

Caso FERSA Bearings

Rodamiento inteligente – Smart Bearing

Los productos inteligentes, transformación digital de productos o “smartización” de productos es una tendencia global en todo tipo de bienes. Podemos ver y tocar ejemplos en cualquier situación cotidiana: coche conectado, cepillo de dientes conectado, dispositivos *wearables* para *running*, etc. En el ámbito industrial, los productos y bienes derivados de un proceso industrial también son “smartizables”, incluso aquellos bienes metalmecánicos fruto de procesos de fundición, arranque o soldadura.

En esta línea, el fabricante de rodamientos FERSA se lanzó hacia el reto de “smartizar” su producto rodamiento (de camión) para convertirlo en un rodamiento inteligente. La motivación para llevar a cabo esta iniciativa es la misma que cuentan muchos fabricantes de bienes: existe un desconocimiento sobre qué ocurre con el producto en su modo de operación, lo cual degenera en algunas incertidumbres de diseño o de tiempo de vida de dicho activo. Si dicho bien es capaz de enviarnos información digital sobre cómo se está comportando en el plano operacional, podemos alcanzar los siguientes objetivos:

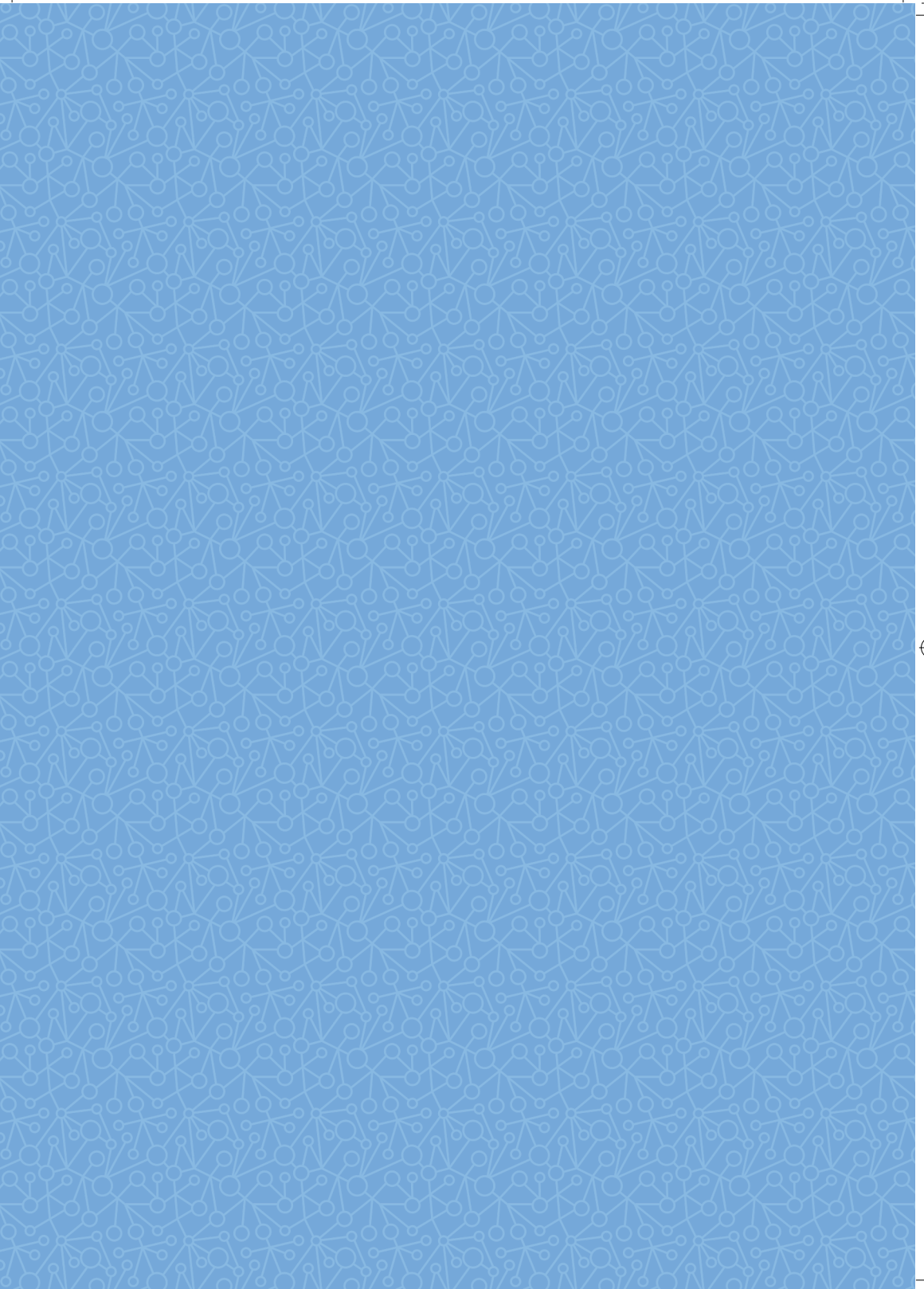
- Predecir el rendimiento futuro en base a la degradación de los componentes.
- Rediseñar las generaciones de producto futuras de manera optimizada en cuanto a criterios de tamaño, peso y funcionalidad.

En el caso particular de FERSA, al rodamiento se incorporó un pequeño dispositivo electrónico embebido en un área mecanizada ad-hoc del rodamiento.

Dicho dispositivo embebido cuenta con un microprocesador, sensores de temperatura y acelerómetros para medir vibraciones y chip de radiofrecuencia *Bluetooth* para proporcionar la conectividad hacia el exterior. Con este pequeño sistema embebido se pueden monitorizar las vibraciones y temperaturas de operación del rodamiento, lo cual, analizado de manera *off-line*, puede llevar a modelos de comportamiento del activo, degradaciones y predicciones de modo de fallo.

Otra de las innovaciones asociadas al desarrollo es la eliminación de cualquier sistema de batería sobre el sistema electrónico. Si queremos una solución industrializable, no sería razonable pensar en un sistema electrónico que cada año hubiese que mantener cambiándole la pila. En ese sentido, se ideó un mecanismo de *energy-harvesting* como si se tratara de una dinamo. Mediante el bobinado interior del rodamiento, y aprovechando la rotación del rodamiento en su operación normal, se genera la energía suficiente para alimentar el sistema embebido del rodamiento.

Como conclusión, estamos ante la transformación digital de un producto metalmecánico, un sistema ciberfísico que nos proporciona información sobre su operación para poder extraer valor a partir de dichos datos.



CAPÍTULO 3.

LAS POLÍTICAS PÚBLICAS

Por Máximo Blanco, Julio Linares, José Molero y José Varela.

3.1.- INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se pretende reflexionar sobre el tipo de actuaciones políticas que traten de hacer frente al desafío de la digitalización de la industria española con el fin de minimizar en lo posible los riesgos y aumentar los efectos beneficiosos que se derivan del salto cualitativo que el mencionado proceso trae consigo.

Hay que hacer dos advertencias previas a la lectura de este capítulo. La primera, que en la gran mayoría de los casos, se plantean orientaciones básicas para desarrollar políticas y no tanto desarrollos puntuales, porque se han tratado en el capítulo 1. La segunda, que estamos ante un fenómeno muy poderoso que se encuentra prácticamente en sus primeras fases, y es en ese contexto en el que deben enmarcarse las consideraciones que se recogen a continuación, sabiendo que los cambios severos que se irán produciendo, obligarán a una reflexión continua que vaya adaptando las decisiones que puedan tomarse en el momento actual con el conocimiento que hoy disponemos.

Este capítulo se estructura en dos partes que se complementan. Primeramente, en el apartado 2, se exponen los principales aspectos derivados de los diagnósticos compartidos sobre la situación de la economía y la industria española en relación con la industria 4.0; según sea ese diagnóstico, las orientaciones de las propuestas pueden elaborarse de formas distintas. En segundo lugar, en el apartado 3, se sintetizan las orientaciones que se proponen de cara a las actuaciones políticas y en consonancia con el diagnóstico previamente establecido.

3.2.- El Diagnóstico de Situación.

Una forma útil de exponer el balance de la situación que se viene estableciendo desde diferentes estudios es distinguir tres niveles: indicadores básicos de la digitalización y el capital humano; datos sobre la situación estructural de la industria española; e indicadores sobre la innovación tecnológica de la industria y el sistema en el que se desarrolla.

El primer grupo de indicadores tiene como objetivo conocer el marco general de la situación en la que se encuentra la industria ante los desafíos del nuevo paradigma productivo. En este entorno los datos relativos a la cualificación de las personas involucradas son particularmente importantes.

El segundo conjunto de datos se destina a situar la problemática de la industria en el marco formado por ciertos hechos estilizados fundamentales que han afectado al desarrollo histórico hasta llegar a la estructura actual. Dichos rasgos actúan como facilitadores o retardadores de la introducción y buen uso de las tecnologías de nueva generación.

Finalmente, se dedica un espacio también a exponer los datos esenciales que caracterizan la situación actual de la innovación tecnológica en nuestra industria, puesto que, en definitiva, estamos ante un fenómeno de cambio tecnológico que va a necesitar de fuertes dosis de innovación por parte de todos los agentes involucrados.

3.2.1 Aspectos del marco general.

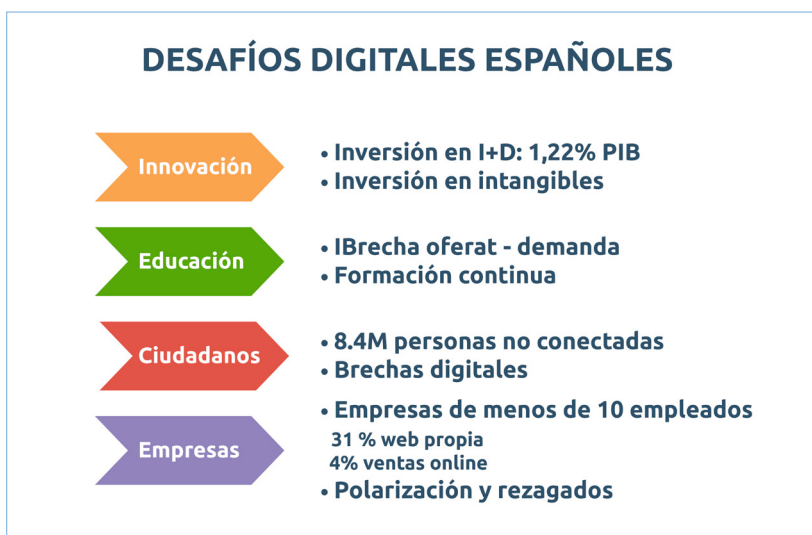
El comienzo puede hacerse a partir de lo que en la figura nº 1 se denominan los “desafíos digitales españoles¹. Dichos desafíos se agrupan en cuatro ejes:

- Los déficits en innovación, también analizados en el capítulo 2 y al que nos referiremos más adelante.

¹ La figura está tomada de la presentación de Julio Linares en la jornada. A su vez, buena parte de esta presentación se basa en el documento Plan Digital 2020; la digitalización de la sociedad española, elaborado por la CEOE, Madrid, 2016.

- Los problemas relacionados con la educación, en donde destacan dos asuntos de singular importancia: la brecha entre oferta y demanda educativa que afecta tanto a las enseñanzas medias como a las universitarias. Para las últimas, hay bastante consenso en señalar la falta de adecuación de la estructura derivada de la aplicación del “marco de Bolonia” a las necesidades de las empresas.
- En tercer lugar, se plantean la existencia de brechas y una creciente polarización en el nivel de penetración de tecnologías digitales entre los ciudadanos.
- Por último, la existencia de diferencias preocupantes en la digitalización de las empresas, particularmente en las más pequeñas donde elementos importantes como las ventas *on-line* con una penetración de solo el 4%, o la disposición de una web propia, que únicamente la tienen un 31%.

Figura nº 1 : Desafíos digitales españoles



Fuente: Ponencia de Julio Linares

Entre los elementos básicos figuran en lugar destacado los relativos al empleo. No es fácil hacer predicciones relativamente concretas sobre este particular, pero recogiendo los resultados de algunos estudios se pueden plantear las siguientes reflexiones.

- Existe una creciente brecha digital entre los trabajadores; así, según la encuesta del uso de las TICs, en 2015 casi la mitad de los trabajadores no utilizaban PCs conectados a internet en su trabajo habitual. Al mismo tiempo, solo el 22,4% de las empresas proporcionan actividades formativas en TICs a sus empleados².
- Se puede estimar el tipo de empleos con mayor y menor riesgo de automatización y donde estarían los nuevos empleos: la figura nº 2 ofrece datos básicos sobre el particular³.

Figura nº 2: los empleos en la economía digital

Empleos en la economía digital

Empleos con mayor riesgo de automatización / digitalización	Empleos con menor riesgo de automatización / digitalización	Nuevos empleos
Trabajo de oficinas y tareas administrativas	Educación, artes y medios de comunicación	En lo alto de la escala Analistas de datos, mineros de datos, arquitectos de datos
Ventas y comercios	Servicios jurídicos	Desarrolladores de software y aplicaciones
Transporte, logística	Gestión, gestión de recursos humanos. Negocio	Especialistas en redes, inteligencia artificial, etc.
Industria manufacturera	Algunos aspectos de los servicios financieros	Diseñadores y productores de nuevas máquinas inteligentes, robots e impresoras 3D
Construcción	Proveedores de servicios de salud	Especialistas en marketing digital y comercio electrónico
Algunos aspectos de los servicios financieros	Trabajadores informáticos, ingenieros y científicos	La parte baja de la escala Los “esclavos de las galeras” galeotes digitales (trabajadores de la entrada de datos o del filtro) y otros “mecánicos turcos” que trabajan en las plataformas digitales Los conductores de Uber, los empleos casuales o “raros” (reparaciones, mejoras del hogar, cuidado de animales domésticos, etc) en la economía colaborativa
Algunos tipos de servicios (traducción, consultoría fiscal, etc)	Algunos tipos de servicios (trabajo social, peluquería, cuidado de belleza, etc)	

Fuente: Christophe Degryse (ETUI 2016), sur la base de Frey&Osborne, Ford, Valsamis, Irani, Head, Babinet.

² Datos tomados de la ponencia de José Varela, de UGT

³ Tomado de la presentación de CCOO

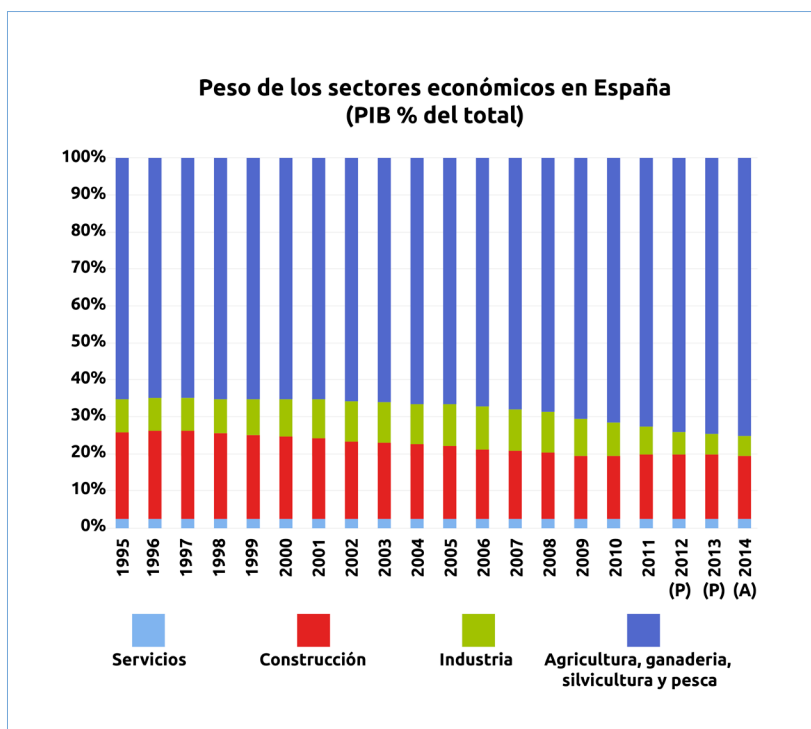
- España figura en el grupo de países de la OCDE que más desperdicia el talento de su mano de obra. Así se refleja en los datos del uso de especialistas en TICs y de otras disciplinas científicas. Según se expuso en la presentación de J. Varela: España destruyó 106.700 puestos de trabajo especializados en TIC entre 2014 y 2015, según datos de Eurostat publicados a finales de octubre. Francia, en el otro extremo, creó más de 109.000 empleos tecnológicos en el mismo periodo. En el apartado de los jóvenes, el futuro de nuestro sistema productivo, la situación es aún peor si cabe. Mientras nuestro sistema universitario aumenta el número de graduados en carreras técnicas cada año, el mercado de trabajo no es capaz de absorber este talento.

3.2.2. Empresas e industria.

El diagnóstico de la situación debe contemplar también los rasgos estructurales básicos de las empresas industriales en España, pues es en ellas donde se producirá el cambio previsto. De forma esquemática esos rasgos pueden resumirse en las siguientes consideraciones.

- El peso de la industria en el conjunto de la economía española ha tenido una tendencia decreciente a lo largo de las últimas décadas, como muestra el gráfico nº1 (Molero y López 2016). Frente a declaraciones de principio acerca de la necesidad de un cambio en el modelo productivo, los primeros signos de la recuperación económica nos indican que vuelven a un primer plano sectores como el turismo o la construcción, quedando la industria en un segundo plano.

Gráfico nº1

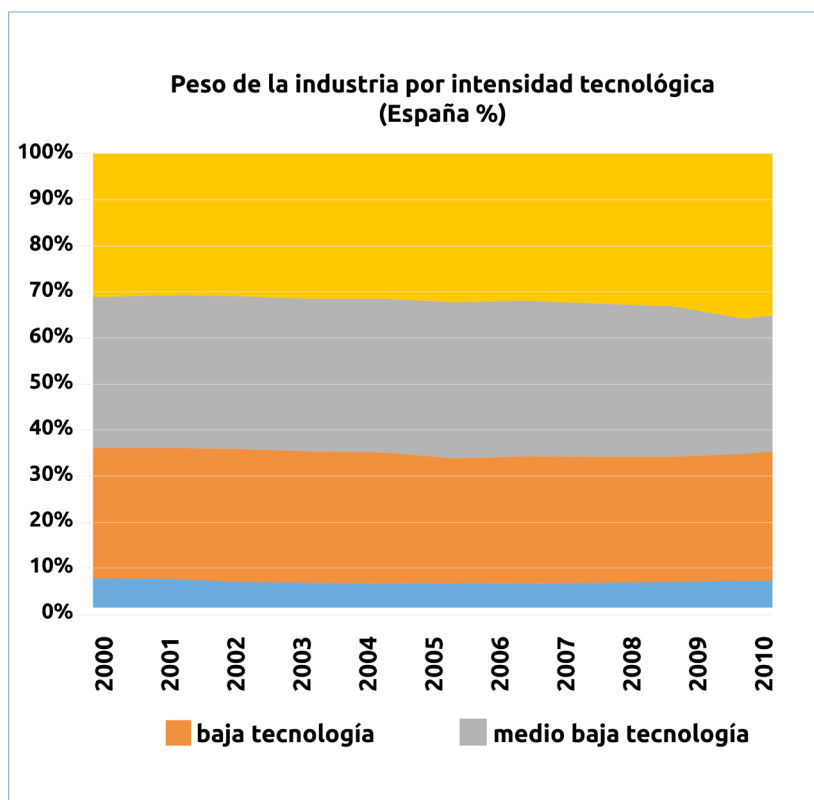


Fuente: INE y elaboración propia

- Existe una presencia excesiva de micro y pequeñas empresas, lo que dificulta mucho la toma de decisiones de futuro que comporten fuertes riesgos, amplias necesidades de financiación y personal cualificado. Los datos más recientes del Instituto Nacional de estadística en su *Estadística Estructural de Empresas del Sector Industrial* (<http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es>) sirven de base para la elaboración del cuadro nº 1 en que se comprueba que el 84,54% de las empresas industriales tienen entre 1 y 9 empleados. Si se añaden las que tiene entre 10 y 19 trabajadores, se concluye que casi el 92% de las empresas son de menos de veinte trabajadores.

- Según muestra el gráfico nº 2, el desarrollo de los sectores industriales más intensivos en tecnología es menor en España que en la mayor parte de los países líderes de Europa, América o Asia.

Gráfico nº2



Fuente: OCDE y elaboración propia. Tomado de Molero y López, 2016

- La especialización tecnológica de los sectores industriales españoles, muestra que la mayor parte de las desventajas relativas se concentran, precisamente, en sectores vinculados con el uso de las TICs (electrónica, sistemas, aparatos), maquinaria eléctrica y especializada y ramas de química avanzada (Molero y López, 2016).

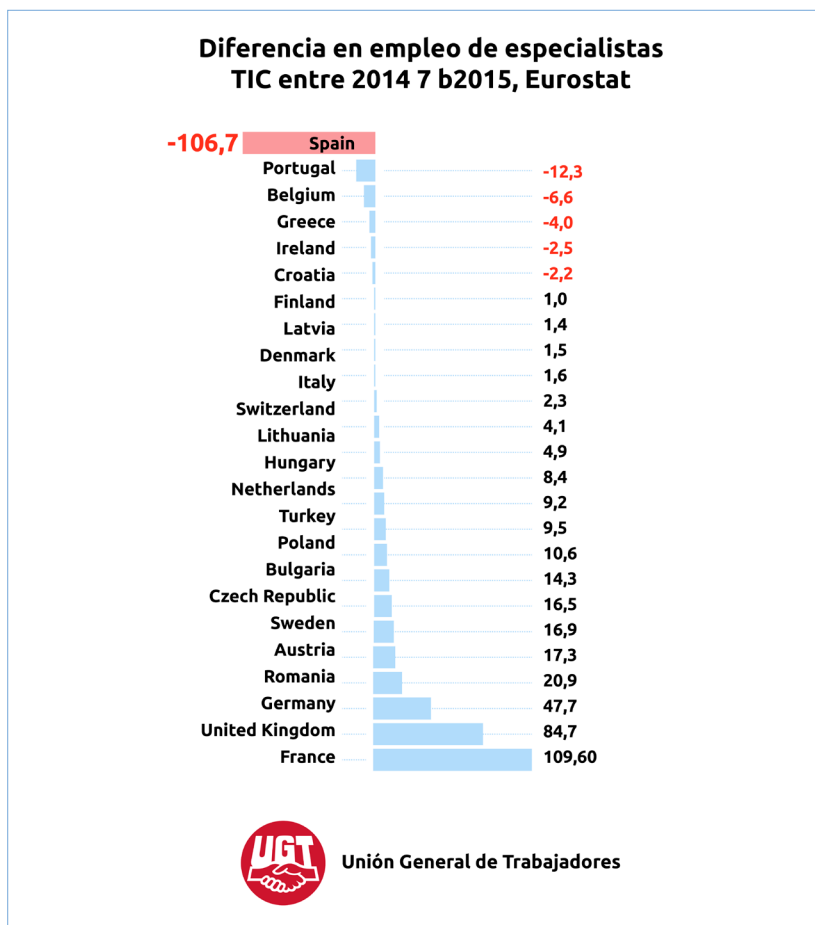
Cuadro nº 1 : Distribución de las empresas industriales por tamaños según número de empleados, 2015

TOTAL INDUSTRIA	Número de empresas	Porcentaje	Cifra de negocios (*)	Porcentaje	Productividad por empleado (*)
Total	189652	100	582357233	100	3070,66
De 0 a 9	160520	84,64	49068148	8,43	305,68
De 10 a 19	13445	7,09	29380743	5,05	2185,25
De 20 a 49	10267	5,41	61948819	10,64	6033,78
De 50 a 249	4554	2,40	128925679	22,14	28310,43
De 250 o más	865	0,46	313033844	53,75	361888,84
(*) En miles de Euros					

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Los cálculos de distintos grados de penetración de las nuevas tecnologías muestran un estancamiento en España en los últimos años (Pilat, 2017, página 93). Es particularmente significativo el atraso que se produce entre las empresas más pequeñas, como se ha señalado, las que constituyen la mayoría del tejido industrial español. Un aspecto preocupante es que España figura entre los países donde las empresas invierten menos en formación y desarrollo de los empleados (Ver la figura 3).

Figura nº 3: Diferencias en empleo de especialistas



Este desperdicio de talento joven y digital, mayoritariamente sufragado por todos a través del sistema de educación pública, está siendo aprovechado por el resto de países de la Unión Europea, que captan a nuestros jóvenes ofreciéndoles puestos de trabajo dignos y acordes con su cualificación. Así, por ejemplo: según los datos de nuestra investigación proporcionados por Eurostat, si en 2014 hubo 1.138 graduados más en matemáticas, ciencias

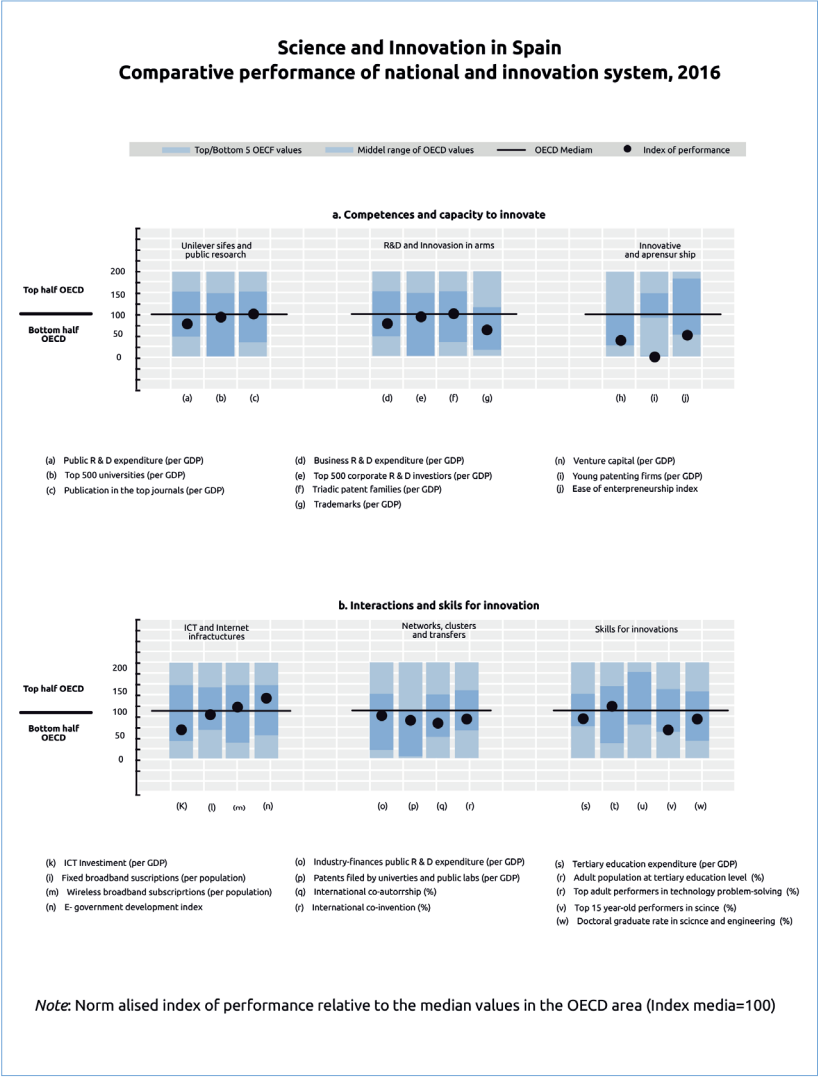
técnicas o informática que en el año precedente, el número de contratados en puestos especializados en nuevas tecnologías descendió en más de 100.000 personas en 2015. En contraposición, en nuestra vecina Francia, mientras el número de titulados en carreras técnicas descendió (-740), sus empresarios contrataron a 110.000 expertos en nuevas tecnologías. Lo mismo podríamos aplicar a Alemania o el Reino Unido, que aunque prácticamente no aumentan el número de sus graduados en TIC sí contratan miles de profesionales en nuevas tecnologías. En resumen, es lógico colegir que muchos de nuestros titulados en carreras técnicas han emigrado a estos países, contribuyendo a aumentar su potencial económico en detrimento del de España.

3.2.3 La innovación tecnológica.

Entre los muchos condicionantes que definen el proceso hacia una industria 4.0, ocupa un lugar central el esfuerzo en innovación que ello debe traer consigo (Pilat, 2017). Aun reconociendo que en las últimas décadas se han producido mejoras en este aspecto, existen todavía debilidades nada despreciables que constituyen desafíos de primer orden para los próximos años. De manera resumida dichos desafíos se pueden recoger en los siguientes puntos (Molero 2015):

- Un atraso en cuanto a los volúmenes de inversión en I+D. Es muy significativo que, tras unas décadas de incremento, aunque pausado, del gasto en I+D sobre el PIB, desde 2016 se ha observado un retroceso constante que ha llevado a que la ratio sobre el PIB sea tan solo del 1,19%, frente al 1,4% a comienzo de la década. Debe añadirse que también retrocede el esfuerzo en el conjunto de la inversión en innovación por parte de las empresas. La figura nº 4 recoge la síntesis sobre la situación efectuada por la OCDE.

Figura 4.- Ciencia e Innovación en España



Fuente; Pilat, 2017

Un papel principal en la evolución reseñada lo juega el importante descenso de los recursos públicos destinados a financiar la I+D+i. En efecto, como se

ha puesto de manifiesto recientemente, el presupuesto de la Administración General del Estado para I+D+i, conocido como la Política de Gasto 46 (PG 46), ha sufrido un considerable retroceso desde el año 2009, siendo en 2017, en términos de euros constantes, casi un 40 % menos que en 2009. A ello debe añadirse que las cifras de no ejecución de los presupuestos aprobados ha conocido un incremento sistemático, alcanzando en 2016 cerca del 40% de los créditos definitivos aprobados (No y Molero, 2017).

Desde la OCDE se señala que la financiación a través de las exenciones fiscales es menor según parece deducirse de un sistema de exenciones relativamente generoso, pero “la magnitud real de los gastos fiscales es pequeña en relación a otros países de la OCDE y otras economías próximas (...) España figura entre los países que forman el cuartil inferior en cuanto al apoyo fiscal a la I+D” (Pilat, 2017, página 100-101).

El sistema de transferencia de tecnología desde las universidades y centros públicos de investigación es todavía poco eficiente, debido a defectos estructurales en las dos partes implicadas. El resultado es que, son muy pocas las empresas que piensan que aquellos centros son una fuente esencial de conocimiento para sus tareas de innovación tecnológica. Según la última encuesta de Innovación de las empresas, correspondiente a 2016, las que consideran de gran importancia a las universidades como fuente de información para la innovación son tan solo el 0,93% del total. Para el caso de los centros públicos de investigación (OPIS) el porcentaje es aun inferior, 0,66%.

La aportación de las filiales de empresas multinacionales establecidas en España no es lo suficientemente dinámica. En efecto, por un lado tenemos que esas empresas aportan cerca del 40% de los gastos empresariales totales a la I+D en España. Sin embargo, la presencia importante de multinacionales en los sectores más intensivos en tecnología no ha supuesto una mejora significativa en sus resultados tecnológicos internacionales, como se desprende de lo señalado al referirnos a la especialización tecnológica relativa (Molero y García, 2008).

3.2.4 Otros aspectos de la digitalización.

Según informes recientes de la OCDE hay dos aspectos generales que deben cuidarse y adaptarse a los nuevos requerimientos. Se trata, en primer término, de mejorar los aspectos regulatorios y competitivos relativos a las comunicaciones. En segundo, trabajar rigurosamente en el terreno de defender la privacidad y seguridad en la generación, uso y transmisión de la información (Pilat, 2017).

No por citarlo en último lugar es menos importante el tema del Estado Social. En este punto coinciden, aunque con matices, los representantes empresariales y sindicales. Debería producirse un mayor y más efectivo diálogo social que conduzca a un nuevo “contrato social” donde se contemplen los requisitos derivados de la implantación de los nuevos sistemas de producción vinculados a la industria 4.0 (ponencias de Linares, UGT y CCOO).

3.3.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS POLÍTICAS NECESARIAS.

Los debates mantenidos en la jornada tienen como base común postular la necesidad de que la política pública intervenga de manera decidida en el proceso del cambio estructural hacia la implantación de la Industria 4.0. Detrás de este consenso está una doble consideración: primero, que las fuerzas del mercado por si solas no bastan, sobre todo si quiere aprovechar la ocasión para mejorar la capacidad competitiva de nuestra industria en un entorno digital. Segundo, el carácter multifacético del proceso, pues la gran diversidad de temas involucrados hace muy difícil que los agentes productivos por si solos sean capaces de integrar todas las dimensiones y los esfuerzos necesarios.

La diversidad y heterogeneidad de factores que intervienen conduce a que también las políticas necesiten ser diversas. De hecho, los asuntos son tan variados que no es posible en esta síntesis atender adecuadamente a todos ellos. Por el contrario, se trata de ordenar el tipo de actuaciones que serían convenientes pero sin entrar en mayores detalles. La intención es la de diseñar

un marco de los distintos aspectos y niveles que, en todo caso, deberían tenerse en cuenta, dejando para otros debates más puntuales la profundización en los detalles de asuntos que aquí simplemente se apuntan.

En coherencia con el diagnóstico previo las reflexiones sobre las políticas se estructuran en los siguientes bloques: el capital humano Tics y redes; las políticas industriales y tecnológicas; y otras características de la nueva política.

3.3.1 Capital humano, TICS y redes.

Capital humano

Hay un acuerdo generalizado en señalar la trascendencia de contar con un capital humano susceptible de aprovechar e impulsar la digitalización de la industria y afrontar sus consecuencias. De hecho, cuando se hacía el diagnóstico anterior se pusieron de relieve algunos problemas en este campo que, si no son solucionados satisfactoriamente, hipotecarán severamente las posibilidades de que España dé el salto hacia adelante que se demanda. A continuación se hacen algunas reflexiones sobre la formación y la educación.

Generalmente hablando, sería básico aumentar los niveles de capacitación digital de la mano de obra y de segmentos clave de la población. En este sentido cabe señalar que, aunque en algunos aspectos la población española y las instituciones alcanzan niveles de digitalización comparable a los de otros países (p. ej. el uso de teléfonos inteligentes o la digitalización de algunos campos importantes de la administración) cuando nos acercamos a la población más directamente involucrada en la producción y en la gestión empresarial España muestra carencias importantes, como se vio al recoger los datos sobre el acceso a internet de la mano de obra.

A lo anterior hay que añadir medidas más específicas para implantarse en distintos niveles educativos; serían del siguiente orden.

1. Creemos que debe ponerse en primer lugar el caso de la formación profesional. No se trata solo de reclamar un apoyo más decidido a este tipo de enseñanza, sino de introducir más y mejores contenidos en los diversos campos relacionados con la Industria 4.0. En este sentido, la colaboración estrecha con las empresas alcanza una importancia indiscutible; debe ser más estrecha, de larga duración y suficientemente flexible como para que se lleven a cabo las adaptaciones continuas a los cambios que se irán produciendo en los campos tecnológicos, que hoy no dejan de estar en un estado embrionario.
2. La reflexión sobre la vinculación educación-empresa es aplicable también al mundo de la enseñanza superior. En este sentido, sería importante impulsar cambios en las titulaciones necesarias, incluido el controvertido tema de la estructura de cuatro años de grado y uno de máster para aproximarlos al dominante en otros países de 3+2. Pero cualquier reforma que se pueda plantear en este momento está condenada a quedarse obsoleta en un tiempo corto en el mundo que nos ocupa dominado por una tasa de cambio y obsolescencia tecnológica muy acelerados. Se sugiere aquí la introducción del concepto de “planes flexibles” que permitan modificaciones prácticas de adaptación al cambio sin tener que someterse al prolijo y lento proceso de aprobación de titulaciones que está establecido.
3. La cuestión de un profesorado suficiente, cualificado y estimulado para un compromiso con el cambio de paradigma tecnológico es asimismo primordial en la enseñanza superior. Así, las actuaciones políticas deben procurar recursos para que haya un número suficiente de profesores, capaces de desarrollar los nuevos contenidos. Para ello deben contar con una cualificación importante que se renueve mediante planes de formación continua para los que hacen falta recursos y tiempo disponible por parte de los profesores. El compromiso de los docentes debe lograrse mediante medidas que incentiven su creatividad a todos los niveles y que la colaboración con las empresas sea un mérito reconocido para su promoción y no un posible obstáculo en su progresión académica y profesional.

4. Se cree imprescindible acercar el mundo académico al laboral para que la transferencia de conocimiento entre ambas se mantenga viva a lo largo de toda la vida laboral del trabajador, creando una circularidad entre docencia teórica y experiencia laboral que mejore tanto la empleabilidad de los estudiantes como de los ya ocupados. Los centros docentes tendrían que adoptar planes específicos de estudios, generalistas o especializados, con contenidos adecuados a los requerimientos sociales y laborales, que sirvan a los trabajadores ocupados para actualizar su currículo y su capacitación. (<http://www.ugt.es/SitePages/NoticiaDetalle.aspx?idElemento=3406>)
5. En el caso de la enseñanza secundaria, hay que tener en cuenta que es la más generalizada y por tanto la que afecta a un colectivo más amplio de la población. Las carencias detectadas en informes internacionales refuerza la importancia de mejorar este nivel crítico de la educación, pues es la base para que una mayoría de ciudadanos esté en mejores condiciones de afrontar los cambios que se avecinan. En este sentido, es crítico atender al perfeccionamiento del profesorado como centro de los cambios en los resultados educativos.

Tecnologías de la información y la comunicación

Dentro de las políticas más transversales, deben tener una atención primordial aquellas que fomenten y mejoren el acceso y funcionamiento de las telecomunicaciones. De manera general hay que apostar por incrementar sustancial y sostenidamente el acceso a ellas, poniendo especial atención al caso de las empresas de menor tamaño. Entre las actuaciones que se proponen, señala la OCDE la necesidad de aumentar la competencia en los mercados de éstas y el acceso a internet, donde todavía hoy se encuentran barreras no deseables que limitan la competencia de las empresas y gravitan de manera negativa en la capacidad de los usuarios y en la competitividad de las pequeñas y micro empresas.

Es preciso acompañar todo ello con una mayor inversión en TICs, para lo cual el desarrollo pleno de la Agenda Digital es cuestión nodal para que las empre-

sas tengan un marco de referencia creíble y de largo plazo en que situar sus decisiones de inversión y cambio. Una vez más debe hacerse una mención especial al caso particular de las empresas más pequeñas.

3.3.2 Las políticas industriales y tecnológicas.

Dentro de este apartado, la relación de actuaciones por parte de la administración es muy amplia y compleja, por cuanto las reformas estructurales de la industria son imprescindibles para tener una base más adecuada a las necesidades de la industria digital. Igualmente imprescindible son las actuaciones encaminadas a reforzar la capacidad de la industria para generar y absorber nueva tecnología. Veamos algunas de las cuestiones más sobresalientes.

Comenzando por la política industrial hay al menos cuatro aspectos que deben considerarse: los que se refieren al desarrollo general de la industria; los relacionados con los sectores de alta tecnología; lo relativo al tamaño de las empresas; y los concernientes a la internacionalización.

Ya se puso de manifiesto en apartados anteriores el hecho de la pérdida de posiciones de la industria en el conjunto de la economía. Este no es un fenómeno exclusivo de España, si no que se ha producido en una amplia muestra de países europeos, siendo más preocupante en el caso de los países del sur. La excepción es Alemania y algunos de sus países de mayor influencia, singularmente Polonia, donde la gran potencia industrial ha desplegado unas cadenas de valor manufactureras muy considerables (Molero y López, 2016; Pianta, 2015).

En consecuencia, deberían ponerse en marcha actuaciones de política industrial que tengan como objetivo revertir la tendencia mediante el apoyo a una industrialización creciente. Ciertamente parece que las administraciones europeas y la española están tomando conciencia de la urgencia del tema, al menos en el terreno de las declaraciones, como pone de manifiesto la elaboración del Marco Estratégico de la España Industrial que está elaborando el MEIC y del cual existe ya un primer borrador que pretende *“la articulación de una política industrial*

con visión de medio y largo plazo instrumentada a través de líneas de actuación sostenida en el tiempo". Ahora debe completarse con la voluntad política y los presupuestos necesarios para poner en marcha las medidas allí esbozadas.

Los posibles instrumentos a poner en marcha son muy diversos por lo que es conveniente distinguir entre tres tipos de actuaciones.

- En primer lugar, cabe referirse a medidas que incidan sobre el marco regulatorio que faciliten la creación de nuevas industrias o las modificaciones y traslado de las existentes; en este campo pueden señalarse acciones para simplificar los procedimientos, la eliminación de barreras legales entre distintas comunidades autónomas o la mejora en la información y los procedimientos para registrar cualquier modalidad de propiedad intelectual.
- En segundo lugar, se pueden emplear medidas de estímulo indirecto para la creación de industrias concediendo, por ejemplo, beneficios fiscales en determinadas circunstancias o rebajas de las cuotas de la seguridad social, bonificaciones en el empleo o el acceso a cierto tipo de créditos en condiciones más favorables que las del mercado.

Finalmente no debe descartarse la posibilidad de intervenciones directas de las administraciones en el desarrollo industrial mediante la creación de empresas o instituciones similares cuando así lo justifique las características de ciertas actividades —p. ej. la mejora de la sostenibilidad ambiental, el desarrollo de instrumental sanitario o científico todavía no disponible en el mercado— o las necesidades más imperiosas de reindustrialización en zonas deprimidas. En el contexto actual parece recomendable que la actividad emprendedora de las administraciones se desarrolle mediante entidades de carácter público/privado.

El segundo frente de actuaciones de políticas industriales se refiere a los problemas estructurales que afectan a la evolución y adaptación de nuestra industria al nuevo paradigma tecnológico: el tamaño de las empresas y la composición sectorial de la industria. Podría caber la duda de si el colectivo de micro y pequeñas empresas estuviese altamente tecnificado, lo que le

llevaría a cotas de productividad elevadas, con independencia del tamaño. Sin duda, aunque hay muchos ejemplos de empresas concretas donde esta premisa se cumple, en el conjunto de ellas esto no es así, sino que las de menos de 9 empleados tienen una productividad por empleado diez veces inferior a la media de la industria y las de entre 10 y 19 trabajadores también tiene una productividad inferior al promedio. Es precisamente a partir de este estrato de tamaño donde la relación se invierte y las empresas tienen productividades promedio por encima de la general de la industria. No cabe entonces ninguna duda sobre la importancia que deben tener medidas que fomenten el aumento de la dimensión de una importantísima mayoría de empresas industriales.

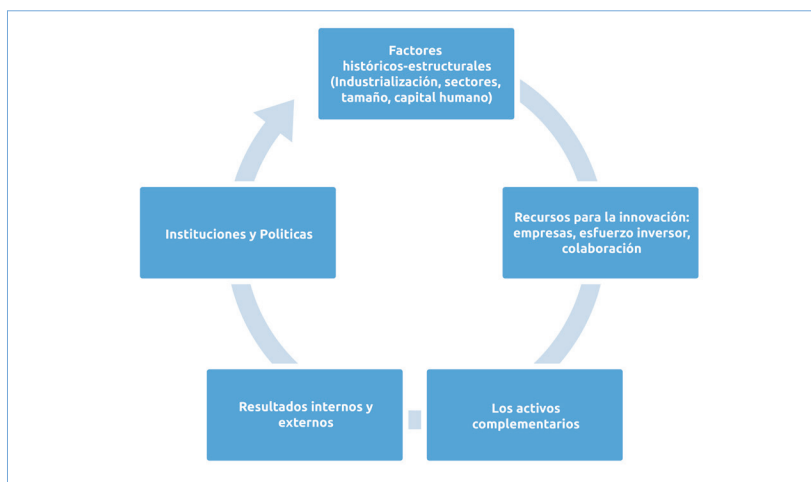
El asunto de la estructura sectorial añade otro capítulo importante para las políticas. El hecho es que los sectores más intensivos en tecnología —según las definiciones de la OCDE— tienen un escaso peso en la industria española. El gráfico nº2 (véase la página 111) es expresivo de esta situación y cuando se compara con la de los países competidores, muestra una deficiencia estructural notable. Este hecho supone un hándicap más, ya que es en este tipo de sectores donde se dan con más potencia las oportunidades tecnológicas y a su vez donde hay una mayor demanda de innovaciones (Molero y López, 2016).

Un complemento importante de lo anterior está en el cálculo de la especialización internacional relativa de los sectores industriales. Los resultados obtenidos en estimaciones recientes (Molero y López, 2018) muestran que las mayores desventajas se acumulan en sectores de alto contenido tecnológico como los vinculados con un uso intensivo de TICs, o los segmentos más especializados de la fabricación de la maquinaria. Este resultado es debido en parte, precisamente, a la menor presencia relativa de esos sectores, lo que refuerza la necesidad de impulsar los sectores tecnológicamente más intensivos y adjuntar medidas para que en los mismos se lleven a cabo actividades que se concreten en mayores resultados tecnológicos.

Corresponde seguidamente ocuparse de las posibles actuaciones directamente vinculadas con la tecnología. Para ello es ilustrativo empezar con lo señalado

en otros lugares acerca de la *causación circular* que encuadra la innovación y que, como se sintetiza en la figura 5, supone enmarcar la situación de la innovación tecnológica en España dentro de un conjunto de fuerzas que van desde los factores estructurales que determinan la realidad industrial actual hasta la estructura de las políticas establecidas en los periodos más recientes.

Figura nº 5 La causación circular de la innovación en España



Fuente: Molero, 2015

En consonancia con este planteamiento las sugerencias de actuaciones para mejorar la situación de la innovación tecnológica deben incluir los siguientes aspectos:

- Desde luego convendría comenzar por los factores estructurantes básicos y aquí es imprescindible señalar la necesidad de combatir la desindustrialización de la economía española, mejorar la composición sectorial en favor de sectores más intensivos en tecnología y adoptar medidas encaminadas a convertir muchas de las actuales micro y pequeñas empresas en empresas de mayor dimensión que puedan afrontar con más garantía el desafío de la innovación. Simultáneamente se debe aumentar el número de grandes empresas que tengan una posición tractora, capaz de “tirar” de

la innovación propia y de su entorno; sin industria, con escasa presencia en sectores dinámicos, con un exceso de microempresas y un defecto de grandes empresas, no es posible revertir la situación.

- A continuación hay que fijar el foco en el número de empresas innovadoras y su capacidad de invertir recursos en la innovación. Lo primero es, por supuesto, diseñar o profundizar en políticas que incentiven el surgimiento y la consolidación de esas empresas, siendo un componente imprescindible incluir la creación de otras nuevas de base tecnológica. El estímulo a una mayor inversión de los actores que ya innovan, pasa por reforzar y continuar con medidas como las desgravaciones fiscales, a la vez que facilitar su acceso a las empresas de menor tamaño. Un aspecto a tener en cuenta que pocas veces se menciona es el fuerte impacto positivo sobre los rendimientos de las que hoy desarrollan de forma intermitente la innovación, contribuyendo a que pasaran a hacerlo de manera constante; está comprobado que puede tener un efecto más positivo que lograr el aumento de los recursos en innovación de aquellas ya comprometidas con ello. (Molero et al, 2012). Debe insistirse en que esos mayores recursos no solo incidirían en una mayor capacidad de crear conocimiento tecnológico, sino que también sería muy positivo para la capacidad de conocer lo que falta, donde se encuentra y como integrarlo (Cohen y Levinthal 1989).
- Incidir sobre lo que hemos calificado como los activos complementarios es primordial. Como han señalado diversos autores (Audretsh y Kelbach, 2008; Fagerberg et al, 2007; Fagerberg y Srholec, 2008) sin las necesarias capacidades sociales —algunos incluso mencionan directamente las capacidades empresariales— no es posible llevar a un alto grado de eficacia los esfuerzos directamente encaminados a mejorar las capacidades tecnológicas. Deben, pues, plantearse otro tipo de reformas del mercado de trabajo que favorezcan la empleabilidad de las personas mejor formadas y la constitución de grupos de trabajo en las empresas que garanticen el aprendizaje colectivo y la asimilación de tecnología. También deben hacerse reformas en el sistema financiero para que la financiación de la innovación

sea mejor y se generalicen esquemas de financiación a “riesgo y ventura” con los agentes innovadores. Esto debe comenzar por la propia administración, en particular su agencia especializada, el CDTI. En tercer lugar, el Sistema Educativo necesita de cambios “con perspectiva de la Innovación”, es decir donde se prime la creación, uso y difusión de nuevas tecnologías y la evaluación de sus impactos.

- Respecto a las políticas propiamente de fomento de la innovación y el cambio técnico, cabe señalar que lo primero es que tales políticas tengan el lugar que les corresponden si se acepta que son esenciales para un nuevo modelo competitivo que cree más bienestar. Esto es, revertir la situación actual caracterizada por el hecho de que la I+D+i no está en la agenda de las prioridades políticas (Inserer y Jiménez, 2014). A partir de aquí, la coordinación entre departamentos ministeriales y entre estos y las comunidades autónomas es una necesidad largamente expuesta por los analistas, muchas veces anunciada y hasta hoy no llevada a la práctica.

En el terreno de la orientación de las políticas de innovación dos últimas consideraciones. La primera, que se trascienda —no que se elimine— el esquema tradicional de que el Estado interviene porque el mercado es poco eficaz en este terreno, sino que se necesita un diseño nuevo orientado a proyectos que transformen la sociedad y la economía. La segunda, es más básica: si bien es cierto que la disponibilidad de recursos presupuestarios no es condición suficiente para impulsar el sistema hacia adelante, conviene recalcar que dicha disponibilidad es absolutamente necesaria, por lo que es urgente terminar con la tendencia de los últimos años de recortar los presupuestos públicos en apoyo de la I+D que han llevado a que en 2015 sean similares a los de casi diez años atrás (Molero y No, 2015).

- Un último aspecto a considerar en relación con las políticas de fomento de creación de conocimiento para las nuevas tecnologías es no olvidar que tan importante como esa producción es la capacidad para integrar el conocimiento generado con el proveniente de otros actores externos. Creemos que en los últimos años se ha olvidado que la economía española

sigue necesitando considerables cantidades de tecnología proveniente del exterior; no solo de la UE. La globalización acelerada supone una nueva “vuelta de tuerca” a los aspectos de importación de tecnología que han sido trascendentes en la todavía reciente industrialización. Las consideraciones a tener en cuenta se pueden agrupar en dos ejes:

- Actuaciones que diferencien entre la tecnología incorporada en bienes e inversiones directas y la adquirida directamente a través de licencias y contratos de transferencia de tecnología.

Frente a la dicotomía de “comprar o hacer” hoy sabemos que cada país debe encontrar la mezcla más adecuada de comprar y hacer tecnología. La clave del éxito está en la asimilación e integración de lo foráneo con lo propio.

3.3.3 Políticas para preservar el Estado Social

El debate sobre políticas relacionadas con las nuevas formas de empleo está presente en el conjunto de Europa. En él se aborda cómo hacer el mercado de trabajo más flexible e incluyente; cómo legalizar las prácticas de empleo no declarado; cómo garantizar una protección social y unas condiciones de trabajo sólidas; y cómo evitar que se sustituya el empleo convencional por formas de empleo menos favorables para los trabajadores. Existe una conexión directa entre la polarización laboral en los sectores y el descenso de los sectores industriales.

“Los efectos de cambios tecnológicos derivados de la robotización y la inteligencia artificial pueden ser sustancialmente distintos, especialmente si llega el punto en que son básicamente autónomos y llegan a desempeñar una parte sustancial de los empleos que hoy existen. Eso abre paso a propuestas como la socialización de los robots, porque genera problemas más sustanciales que en realidad no sabremos bien cómo abordar hasta que no los afrontemos más de cerca”⁴.

⁴ Juan Francisco Jimeno, economista y autor del libro *“Crecimiento y empleo: una relación turbulenta e incomprensible”* (RBA, 2016).

En este marco, emerge la realidad más inmediata del desempleo estructural. Las cifras de la Organización Internacional del Trabajo muestran que en el mundo no se crea empleo suficiente para absorber la masa de jóvenes que cada año buscan incorporarse a un mercado que se empequeñece.

Junto con el esperado “*desacoplamiento*” y la mayor segmentación del mercado laboral, es previsible la erosión de los ingresos por cotizaciones sociales, por lo que el peso sobre los sistemas de protección social puede verse afectado ante una perspectiva en la que cada vez menos trabajadores contribuyan para sus futuras pensiones. En este marco, sería preciso reformular la actual composición de la administración del Estado para coordinar actuaciones y concentrar recursos, con el objetivo de orientarlos hacia la preservación del Estado Social, atendiendo a aspectos relacionados con:

- Generar suficientes empleos para compensar los nuevos efectos.
- Junto al esperado “*desacoplamiento*” y mayor segmentación del mercado laboral, evitar la erosión de los ingresos por cotizaciones sociales.
- Garantizar la financiación y ratio de cobertura del sistema de SS.
- Considerar la contribución de robótica e inteligencia artificial a los resultados empresariales y la distribución fiscal de los beneficios generados.
- Es necesario que se diversifique la financiación de la protección social.

Es imprescindible contemplar la existencia de un sistema integral de seguridad social —basado sólo en parte en las contribuciones de los ingresos obtenidos—, para el desempleo, la enfermedad y la jubilación. La solidaridad seguirá siendo fundamental para prevenir los riesgos sociales y evitar los de pobreza.

3.3.3 Rasgos que deben caracterizar las respuestas a los nuevos desafíos.

El punto de partida, indicado al comienzo del capítulo, es afirmar la necesidad de esas políticas, en el entendimiento de que la espontaneidad de las fuerzas del mercado no es suficiente, máxime en contextos tecnológicamente embrionarios de las nuevas tecnologías y donde apenas están apuntados los

“modelos dominantes de los patrones tecnológicos del futuro”. Con otras palabras, el papel de la administración es imprescindible.

Seguidamente cabe señalar que la magnitud del problema hace que los actores esenciales reclamen un Acuerdo de Estado. Así se viene produciendo en otros países, empezando por Alemania, pionero en plantear una estrategia nacional para la Industria 4.0. Esta necesidad, además de responder a la importancia del reto, cobra mayor fuerza si se contempla el cambio tecnológico en marcha en su contexto de reto social, pues el resultado futuro va a depender en gran medida de las decisiones de los actores sociales, desde el Estado a las empresas, los sindicatos y otras instituciones como las universidades.

La ausencia de ese acuerdo puede conducir a que unas medidas se contrapongan a otras causando retardos e ineficiencias que pueden tener un notable coste en términos de capacidad de monitorizar el proceso. Así, por ejemplo, si se dan estímulos para que la relación entre las empresas y las universidades mejoren y, al mismo tiempo, no se altera el sistema de gobierno de las últimas, el resultado puede estar muy lejos del óptimo.

Lo mismo podría decirse de una política fiscal que siga el guión tradicional de tener como objetivo los ajustes presupuestarios sin poner en primer plano la necesidad de planes proactivos para dinamizar al conjunto de los agentes sociales. Hay que subrayar, que en este punto las coincidencias entre representantes empresariales y de los trabajadores son bastante claras en cuanto a la identificación del problema y la propuesta de soluciones, lo que debería posibilitar el paso a actuaciones concretas, ambiciosas y con visión de cambio estructural.

Preocupa de manera significativa la cuestión de evitar el dualismo digital, para combatir lo que se plantean los planes de inclusión tecnológica. Ésta debería producirse en todos los ámbitos, desde la ciudadanía en general, hasta el conjunto de agentes productivos pues se vislumbra el peligro de una industria digitalmente dual con una parte, posiblemente minoritaria, integra-

da perfectamente en las nuevas tendencias internacionales y otra parte con serios problemas para una integración de ese tipo. Es en este sentido en el que se apunta la necesidad de establecer una nueva equidad social que tenga en cuenta las transformaciones por venir y particularmente los cambios que se prevén en el mercado de trabajo.

Un ejemplo útil de cómo combinar bastantes de las medidas que se han ido sugiriendo es el Plan Digital 2020 de la CEOE. De manera sintética se resume en la figura nº 6. Es fácil apreciar las similitudes metodológicas con el enfoque expuesto al detallar la situación de la innovación tecnológica. En ambos casos se trata de abordar los problemas con un enfoque estructural, de sistema, donde lo más importante son las relaciones entre las diversas partes y ver como se refuerzan o debilitan recíprocamente formando círculos virtuosos o viciosos.

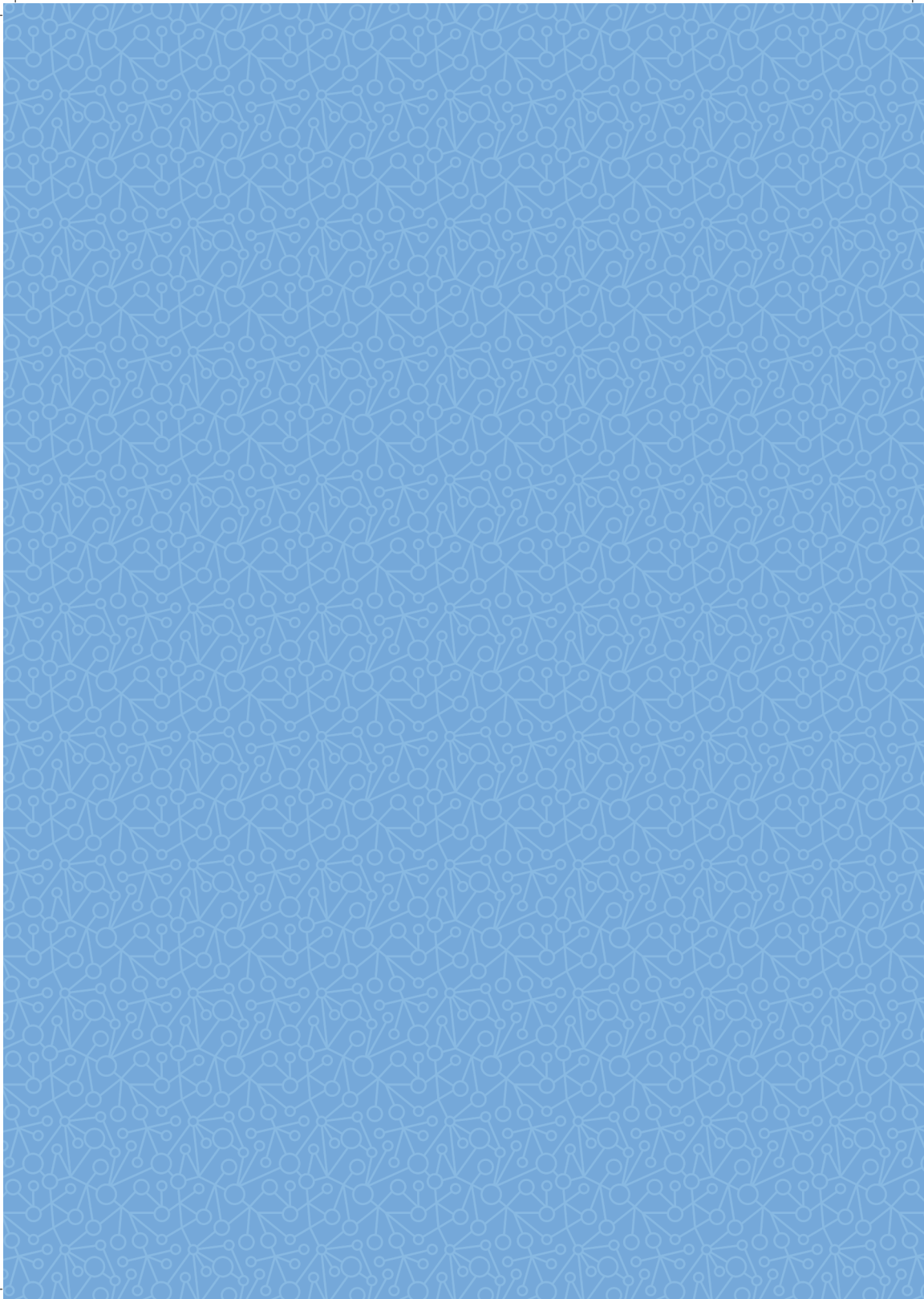
Figura nº 6. Plan Digital CEOE



Fuente: CEOE: Plan Digital 2020. Madrid, 2016

Son destacables las consecuencias que ello origina para las políticas. Se trataría de que las actuaciones a emprender no se circunscriban a uno o pocos campos ni reducirse a los aspectos tecnológicos. Lo anterior exige con mayor fuerza la coordinación entre las instituciones responsables de las diversas medidas.

Para concluir, un par de reflexiones complementarias para superar el enfoque de las políticas basadas solamente en la existencia de fallos del mercado; es decir, puesto que éste no asigna perfectamente los recursos para la actividad de innovación tecnológica, es necesaria la intervención pública. Sin que esto deje de ser cierto, hoy se manejan otras cuestiones más amplias. Una, las políticas de innovación deben acompañar al innovador; estos deben tener visión de sistema y de evolución temporal. Dos, el Estado debe jugar un papel dinamizador, señalando las sendas estratégicas para la economía de cara a orientar la toma de decisiones de los agentes innovadores en un momento de fuerte incertidumbre tecnológica.



CAPÍTULO 4.

CONCLUSIONES

Por Luis Fernando Álvarez-Gascón, José Molero y Juan Mulet

Conclusiones y recomendaciones

Como se ha expuesto al comienzo, este libro nace de una jornada que incluía ponencias y debates públicos sobre la Industria 4.0 en España. El objetivo final era llegar a consensuar un conjunto de conclusiones y recomendaciones sobre la conveniencia de impulsar la reindustrialización española por esta vía, y aportar ideas para llevarla a cabo. Seguidamente se presenta de forma resumida el resultado de aquellas sesiones.

Conclusiones

En los capítulos anteriores hay informaciones y datos suficientes para sostener las siguientes conclusiones sobre la necesidad de la re-industrialización y la situación española sobre la Industria 4.0:

1. La reindustrialización es una opción ya adoptada por la mayoría de los países avanzados.
2. La Industria 4.0 es la vía mayoritariamente elegida para su reindustrialización.
3. Los organismos internacionales están ofreciendo recomendaciones muy precisas sobre la conveniencia de esta vía de reindustrialización y las maneras de conseguirla.
4. El impulso a la innovación es siempre una etapa obligada en todas estas recomendaciones.
5. En España existe un potencial científico y tecnológico capaz de soportar el impulso de la Industria 4.0, si las políticas públicas y privadas lo asumen.

Sin embargo, ni la tradición empresarial ni el apoyo público histórico pueden asegurar que el camino hacia la Industria 4.0 esté exento de dificultades.

Recomendaciones

Todo lo anterior, lleva al FEI a proponer una serie de recomendaciones para que sea pronto realidad una Industria 4.0 española. Estas recomendaciones están estructuradas en dos grandes grupos. El primero se refiere a la propia Industria 4.0, mientras que el segundo contiene las recomendaciones que ayudarían a crear un clima propicio para esta reindustrialización, al mismo tiempo que serían beneficiosas para toda la innovación española. Este último grupo ha sido dividido en dos, uno para las recomendaciones que afectan solo a las empresas, y otro a la necesaria colaboración dentro del sistema español de innovación.

A. Específicas para la Industria 4.0

1. Dado que la Industria 4.0 es la adecuada respuesta para reindustrialización de España, la cúpula del Gobierno deberá incluir su impulso entre sus prioridades y crear los mecanismos que aseguren su desarrollo, que deberá ser vigilado por el Congreso.
2. El fomento de la innovación y del desarrollo de la Industria 4.0 debe ser un objetivo de todas las políticas de inversión del Gobierno. Se deberá prestar especial atención a propiciar una regulación que estimule o, por lo menos, no retarde, la implantación de la Industria 4.0. El MINECO es el departamento natural para la coordinación de las políticas, que pueden surgir de cualquier departamento, de las autonomías y de las entidades locales, que están siendo muy activas, por ejemplo, en EE. UU. (*Smart Cities*, “maker cities”).
3. El impulso de la innovación que la Industria 4.0 necesita va desde la ciencia al mercado. Afecta a todos sus habilitadores tecnológicos (ciberseguridad, *cloud*, redes, Inteligencia artificial, *Big data*, *IoT*, Realidad Virtual/Aumentada, *blockchain*,...), que se renuevan y aumentan continuamente. La incorporación al Plan Estatal de I+D+i 2017-2020 constituye una buena noticia.

4. Tampoco se puede olvidar la innovación transformadora, porque mucha se concentra en procesos y en modelos de negocio disruptivos, y en otros intangibles, como los datos o las marcas.
5. Las políticas encaminadas a la Transformación Digital serán siempre beneficiosas para la Industria 4.0 (p. ej. la educación digital, los *Digital Innovation Hubs*, la fiscalidad del software,...).
6. Dado que la Compra Pública Innovadora es uno de los mejores instrumentos de política de innovación, identificar las oportunidades que puedan surgir en los ámbitos de mayor inversión pública (p. ej. salud, transportes, obras públicas...).
7. Dado que la industria 4.0 tiene en el talento uno de sus principales desafíos, es urgente habilitar políticas de formación, atracción y retención de especialistas tanto en el ámbito público como privado.
8. Apoyar a la integración de nuestra industria en las cadenas de valor internacionales. Perseguir acuerdos bilaterales, multilaterales en su caso, para cooperación en sectores designados (p. ej. automóvil, 5G).

B. Para otras políticas, especialmente para la transformación digital, que beneficiarían a la Industria 4.0.

Empresas

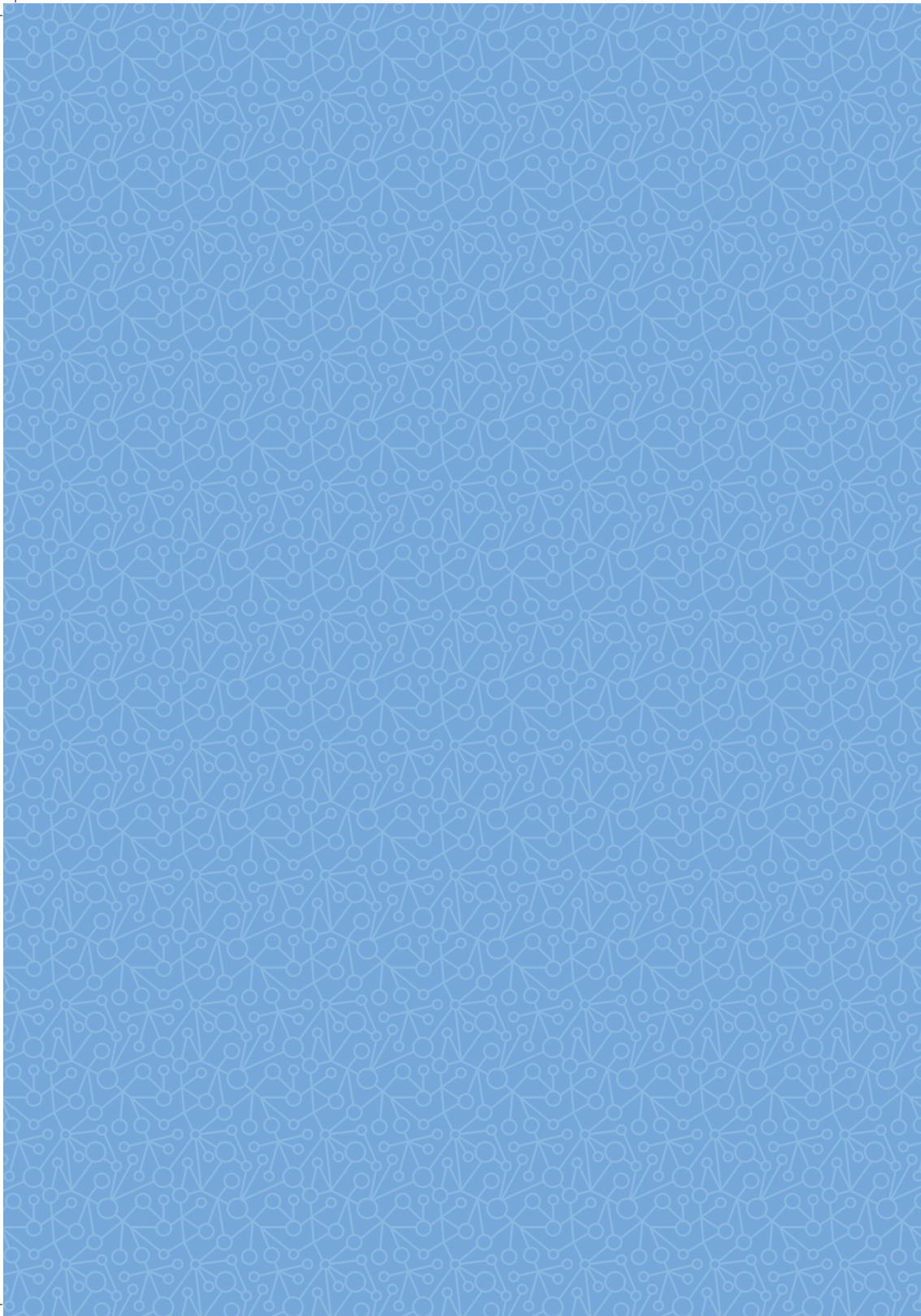
1. En sintonía con la tendencia europea, las políticas de innovación deberían introducir la orientación a (pocas) misiones que integran la digitalización de algunos sectores.
2. Simplificar el acceso de las empresas a la financiación pública de la innovación, y mejorar la gestión de los instrumentos (p. ej. plazos, riesgos).
3. Mejorar al máximo la usabilidad de los instrumentos de apoyo a la I+D+i (p. ej. ventanilla única, predictibilidad de las convocatorias, asistencia personalizada).
4. Impulsar la protección de la propiedad intelectual, tanto por parte de la industria, como la efectiva salvaguarda de esos derechos desde la acción estatal.

5. Prestar atención a las asociaciones empresariales y clusters en la estructuración de iniciativas sectoriales, transversales y geográficas. El diálogo sectorial (sin limitar las iniciativas a una visión puramente sectorial, muchas de ellas serán transversales) y la visión de las grandes empresas con potencial tractor darán valor a estas iniciativas.
6. Realizar un análisis y ajuste posterior de las políticas e instrumentos para diferentes sectores industriales clave de nuestro país. Cada sector puede requerir aproximaciones distintas. La actividad de I+D+i no es exclusiva de sectores de alta tecnología. También hay que incorporar a los sectores de baja intensidad tecnológica, incluyendo la colaboración con la comunidad científica.
7. En línea con la tarea de asesoramiento a empresas, y también para alimentar las decisiones de políticas públicas, la prospectiva y análisis tecnológico deben impulsarse, con medios propios o externalizados.
8. Dada la tipología de la empresa española (alto porcentaje de pymes y micro pymes), para muchas de ellas será fundamental un servicio de formación, asesoramiento y acompañamiento en su transformación, propicio para la colaboración público privada. Servicios que también pueden tener una importante componente digital.
9. Apoyar a las NEBTs y a los *spin-off* universitarios, en particular en aspectos relativos a personal.

Colaboración

1. Evaluación continua de las políticas públicas de innovación.
2. Debe darse un impulso al encuentro entre los ámbitos de ciencia e innovación empresarial, revisando los instrumentos existentes (p. ej. OTRIs, institutos tecnológicos) y fomentando nuevos modelos (p. ej. integración bidireccional entre personal de empresas y universidades y centros de investigación). Iniciativas como doctorados industriales o la recién creada red Cervera distan de haber mostrado su potencial.

3. El impulso a la demanda privada innovadora debe ser un elemento a evaluar, como articulación de oferta y demanda local es un elemento a considerar. Un ejemplo de reto que puede articular esta demanda privada es la economía circular.
4. Favorecer la disponibilidad de infraestructuras y datos para el desarrollo de investigación y pruebas de concepto en nuestro país.
5. Como complemento a las políticas de innovación, el reconocimiento a las empresas modélicas, casos de éxito, y al talento emprendedor e innovador puede favorecer el despliegue de una cultura favorable a la transformación. Utilizar los medios de comunicación públicos como instrumento de esta difusión.
6. Dimensión internacional de las políticas, con una primera referencia obligada en la UE Participación activa en la estrategia europea.
7. Atracción de actividades de I+D de las multinacionales a través de diversos incentivos (fiscalidad de la I+D, proyectos tractores, infraestructuras, talento,...).



BIBLIOGRAFÍA

(INE, 2018) <http://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=4214&capsel=4215>

(INE, 2018b) <http://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=4313&capsel=4314>

(Industrie 4.0 WG, 2013) Industrie 4.0 Working Group, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, Communication Promoters Group of the Industry-Science, Research Alliance, acatech, 2013.

(Mulet, J., 2016) Mulet, J., Las consecuencias de la reciente crisis económica para la innovación empresarial española, FEDEA, 2016

(NASA, 2018)
https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf

(OECD, 2018),
OECD, MSTI, Main Science and Technology Indicators, OECD, 2018 http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MSTI_PUB

(OECD, 2005) OECD, Oslo Manual, Guidelines For Collecting And Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, OECD, 2005

(OECD, 2015), OECD, Frascati Manual 2015, Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, OECD, 2015

(Scimago, 2018)
(<http://www.scimagojr.com/countryrank.php>)



Depósito legal: M-00000-2018