



Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de
colaboración entre el
Instituto Gallego de
Promoción
Económica, la Alianza
Tecnológica
Intersectorial de
Galicia y los centros
integrantes de esta
alianza para la
detección y análisis de
oportunidades
sectoriales para las
empresas industriales
gallegas en el ámbito
de la industria 4.0



1. OBJETIVO DEL INFORME	4
2. ANTECEDENTES	5
2.1 ROL DE LA INDUSTRIA EUROPEA EN LA ECONOMÍA	5
2.1.1 Inversión en I+D+i en la UE	5
2.1.2 La industria como generadora de empleo	8
2.1.3 Posicionamiento por países	9
2.2 EL SECTOR INDUSTRIAL EN ESPAÑA.....	10
2.2.1 Caracterización de la industria española	11
2.2.2 Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España	11
2.2.3 Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España	12
2.3 LA INDUSTRIA EN GALICIA.....	14
2.3.1 Estrategia de Especialización Inteligente.....	14
2.3.2 Agenda para la competitividad de Galicia: Industria 4.0	17
3. CONCEPTO INDUSTRIA 4.0	20
3.1 QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0	20
3.1.1 Contexto: de dónde surge el término.....	20
3.1.2 Definición: ¿Qué es la Industria 4.0?.....	22
3.2 INDUSTRIA 4.0, FÁBRICA DEL FUTURO Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES.....	23
3.2.1 La fábrica del futuro. Industria 4.0.....	23
3.2.2 Materiales y fabricación inteligente.....	26
3.2.3 Conectividad y análisis de datos	31
3.2.4 Materiales y fabricación inteligente.....	34
3.3 ESTRATEGIA DE LA UNIÓN EUROPEA.....	37
3.3.1 Política Industrial Europea	37
3.3.2 Reindustrialización.....	37
3.3.3 Digitalización de la industria europea	38
3.3.4 Programa Marco de I+D (Horizonte 2020)	40
3.4 PLATAFORMAS Y ASOCIACIONES DE REFERENCIA	42
3.4.1 MANUFUTURE	42
3.4.2 FoF-2	42
3.4.3 EFFRA – European Factories of the Future Research Association.....	43
3.4.4 EUROBOTICS.....	44
3.4.5 SPARC Robotics – the partnership for robotics in Europe.....	45
3.4.6 I4MS INITIATIVE – ICT Innovation for Manufacturing SMEs.....	46

3.4.7	SPIRE – Sustainable Process Industry through resource and energy efficiency.....	46
3.4.8	5G-PPP	47
3.4.9	AIOTI – Alliance for Internet of Things	48
3.5	INICIATIVAS POR PAÍSES	49
3.5.1	Alemania	49
3.5.2	Italia	50
3.5.3	Francia.....	52
3.5.4	Reino Unido.....	53
3.5.5	Suecia.....	55
3.5.6	Dinamarca	55
3.6	OTRAS INICIATIVAS: EEUU Y CHINA	56
3.6.1	EEUU	56
3.6.2	China	57
3.6.3	Comparativa con Europa	57
3.7	GENERADORES DE VALOR: TECNOLOGÍAS EMERGENTES E IMPACTO EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES	59
3.7.1	Calidad	61
3.7.2	Producción	61
3.7.3	Producción	64
3.7.4	Productos y servicios.....	64
4.	BIBLIOGRAFÍA.....	69

1. OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe se enmarca dentro del **Convenio de Colaboración** firmado entre el Instituto Gallego de Promoción Económica (**IGAPE**), la Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia (**ATI**) y los Centros Tecnológicos de esta asociación: Asociación Nacional de Fabricantes de Conservas de Peixe e Mariscos-Centro Técnico Nacional de Conservación de Productos da Pesca (**ANFACO-CECOPESCA**), Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste (**AIMEN**), Centro Tecnológico de Automoción de Galicia (**CTAG**), Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Galicia (**GRADIANT**), Fundación Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética (**ENERGYLAB**) e Instituto Tecnológico de Galicia (**ITG**).

El objeto general del convenio es la **detección y análisis de oportunidades sectoriales para** las empresas industriales gallegas en el ámbito de la **Industria 4.0**. Para ello, una de las primeras actividades consiste en realizar un Estudio del Estado del Arte, que es lo que se presenta en este informe.

El **Estado del Arte** que se presenta a continuación se ha realizado de manera sectorial teniendo en cuenta los principales sectores con peso en la economía gallega, en total se han identificado **10 sectores clave**: Agroalimentación y Bio, Automoción, Madera/Forestal, Naval, Metalmecánico, Textil/Moda, Aeronáutico, TIC, Energías Renovables y Piedra Natural.

El Informe consta de 3 capítulos principales: en el **Capítulo 2**, se realiza una introducción al peso de la Industria en la Economía a nivel europeo, nacional y más concretamente en Galicia. En el **Capítulo 3**, se realiza un análisis en torno a qué se entiende por Industria 4.0, para posteriormente enumerar las distintas iniciativas que se están poniendo en marcha para el despliegue de la Industria 4.0. Por último, en el **Capítulo 4** se presenta el **Estado del Arte Tecnológico por Sector**, en primer lugar se realiza una introducción a los principales elementos generadores de valor en la industria 4.0 y su relación con las **9 tecnologías** consideradas facilitadoras de la transformación hacia la Industria 4.0, y que son: 1) Automatización, y robótica avanzada y colaborativa; 2) Human Machine Interaction; 3) Sistemas Ciberfísicos e IoT; 4) Fabricación Aditiva; 5) Tecnología de Materiales Inteligentes; 6) Logística avanzada; 7) Modelización, simulación y virtualización de los procesos; 8) Big Data, Cloud Computing y Data Analytics; y 9) Safety and Security; también se identifica como área transversal de relevancia la Gestión de la energía y los residuos. Posteriormente, se presenta el Estado del Arte, reflejando la madurez tecnológica de cada una de las tecnologías y presentando aplicaciones sectoriales concretas que ejemplarizan el potencial que estas tecnologías pueden ofrecer a las empresas gallegas.

2. ANTECEDENTES

2.1 ROL DE LA INDUSTRIA EUROPEA EN LA ECONOMÍA

Europa es **líder mundial** en muchos **sectores estratégicos**, como el automovilístico, el aeronáutico, el de la ingeniería, el espacial, el químico y el farmacéutico. La industria sigue representando **cuatro quintas partes de las exportaciones** europeas y un **80% de la inversión en I+D** del sector privado procede de la industria manufacturera¹.

El Tejido Industrial está muy caracterizado por la **presencia de Pymes**, que deben superar los obstáculos que limitan su crecimiento para ser más competitivas. La Pyme promedio es más pequeña en Europa que en EEUU. También hay diferencias dentro de la UE: la Pyme media en Alemania tiene 7,6 trabajadores, frente a los 3,6 trabajadores en España y 3,2 en Italia. Esto tiene consecuencias significativas: cuanto más pequeña es la empresa, mayores son las dificultades para invertir en innovación, exportar e integrarse en cadenas de valor mundiales, lo que dificulta su competitividad.

La facturación en 2010 de la industria manufacturera en Europa fue de aproximadamente 6.400 mil millones (Eurostat). En el siguiente gráfico se puede observar que la **contribución del sector manufacturero al valor añadido de la UE** descendió de aproximadamente un 18% en el año 2000 a un 14% aproximadamente en 2009 para finalmente mostrar una ligera recuperación en 2011 al incrementarse hasta el 16%².

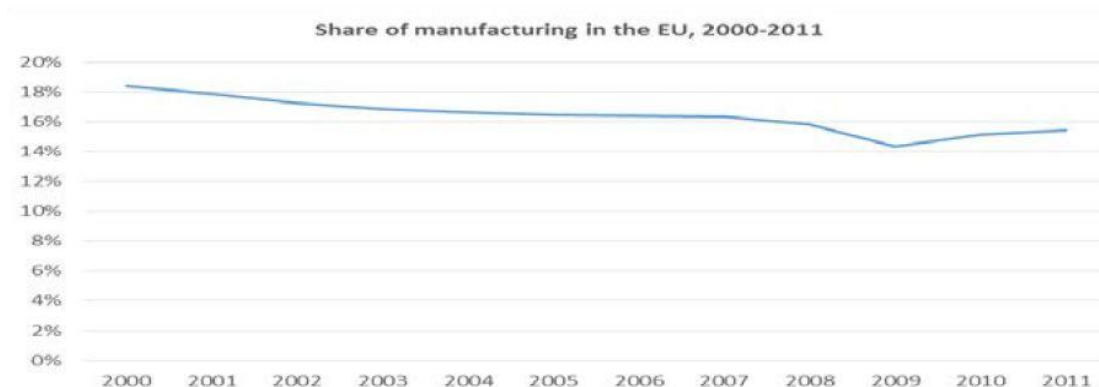


ILUSTRACIÓN 1: CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL AL VALOR AÑADIDO DE LA ECONOMÍA

2.1.1 Inversión en I+D+i en la UE

La Comisión Europea considera que las **políticas de I+D son una prioridad**, tal y como se señala en la iniciativa emblemática “Unión por la Innovación”³, siendo la I+D uno de los principales motores para impulsar las innovaciones empresariales.

¹ COM (2012) 582 final, “Una industria europea más fuerte para el crecimiento y la recuperación económica”, 2012.

² European parliament, “Policy department a: economic and scientific policy”, 2015.

³ COM (2010) 546 de 6 de octubre de 2010.

Sin embargo, pese a que la investigación europea ha sido excelente y ha sido responsable de muchas tecnologías nuevas utilizadas en la industria de todo el mundo, no siempre ha sido capaz de **convertir el liderazgo científico en ventas industriales**.

Dados los escasos recursos naturales y energéticos, y por otro lado los ambiciosos retos sociales y medioambientales que se plantean, las empresas de la UE no pueden **competir** en cuestión de precios ni de baja calidad de producto⁴. Para competir en los **mercados mundiales**, las empresas tienen que orientarse hacia la innovación, la productividad, el aprovechamiento eficiente de los recursos y un alto valor añadido.

La ventaja competitiva de Europa en la economía mundial seguirá residiendo en **bienes y servicios de alto valor añadido**, en la gestión eficaz de sus cadenas de valor y en el acceso a los mercados en todo el mundo.

Entre 2002 y 2007, el gasto interno bruto en I + D como porcentaje del PIB fue relativamente estable en la UE, con un 1,8%. Desde entonces, ha crecido ligeramente, alcanzando el 2,03% en 2014. En 2015, según datos de EUROSTAT se mantiene el gasto de **2,03% del PIB**, los Estados miembros gastaron casi **300.000 millones de euros en actividades de investigación y desarrollo**. La UE, cuyo gasto en I + D se mantiene prácticamente estable en 2015, está por detrás de otras grandes economías como Japón y Estados Unidos, que gastaron respectivamente el 3,59% y el 2,73% de su PIB nacional⁵.

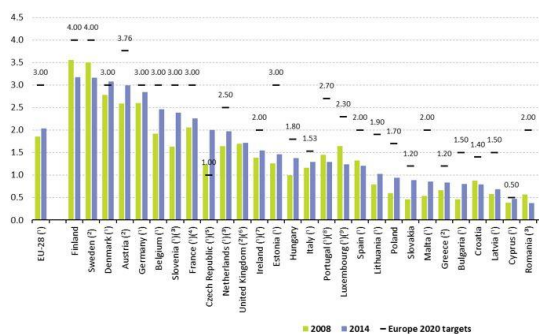


ILUSTRACIÓN 2: INVERSIÓN EN I+D EN LA UE POR PIB. FUENTE: EUROSTAT

Así pues, la innovación y el progreso tecnológico siguen siendo la principal fuente de competitividad de la industria de la UE. Por eso, se necesitan más esfuerzos para alcanzar el **objetivo** de la **estrategia Europa 2020** de destinar el **3% del PIB a la I+D**.

⁴ COM (2014) final de 22 de enero de 2014.

⁵ <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7752010/9-30112016-BP-EN.pdf/62892517-8c7a-4f23-8380-ce33df016818>

EL GASTO EN I+D SE CONCENTRA EN LAS REGIONES DE ALEMANIA, REINO UNIDO, LOS PAÍSES NÓRDICOS, AUSTRIA, BÉLGICA Y ESLOVENIA⁶

Al analizar la intensidad de la I+D por región se observa un **alto nivel de gasto en I + D** en 30 de las regiones NUTS 2 de **Alemania** (10 regiones), **Reino Unido** (4), **Suecia** (4), **Austria** (4) y **Finlandia** (3), seguidas por regiones de **Dinamarca** y **Bélgica** (2 regiones cada una) y **Eslovenia** (1). Algunos clusters intensivos en investigación también se ponen de manifiesto: en particular, hay una banda de regiones intensivas en investigación que van desde Finlandia hasta el sur de Suecia y Dinamarca; otra banda va desde el Reino Unido, pasando por Bélgica hasta el sur de Alemania; y una banda final va desde Eslovenia, Austria y Suiza hasta el sur de Francia y el norte de España.

La **concentración geográfica de las actividades de I+D** es un fenómeno común, y los grupos de I + D se desarrollan a menudo en torno a instituciones académicas o actividades industriales específicas de alta tecnología y servicios basados en el conocimiento, en los que pueden beneficiarse de un entorno favorable y de un desborde de conocimientos. Debido a estas concentraciones muchas regiones atraen nuevas empresas y personal altamente calificado y desarrollan una **ventaja competitiva** en actividades especializadas.

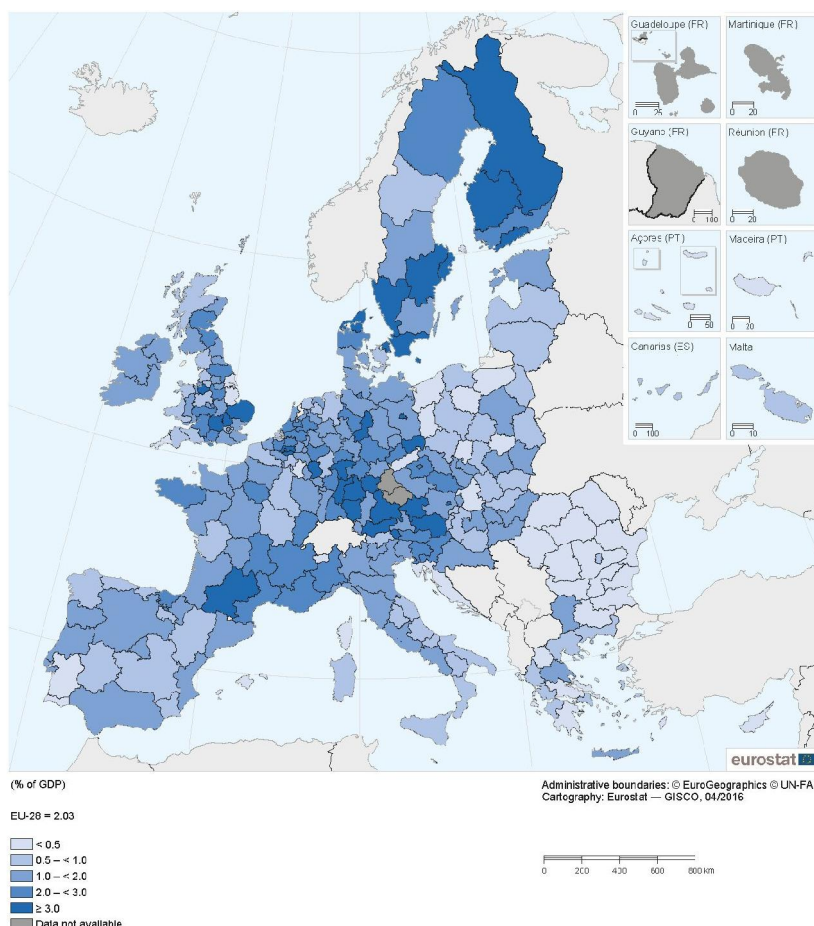


ILUSTRACIÓN 3: GASTO EN I+D POR REGIONES EN 2013. FUENTE: EUROSTAT

⁶http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Europe_2020_indicators_-_research_and_development#How_much_is_the_EU_investing_in_R.26D.3F

2.1.2 La industria como generadora de empleo

Casi **uno de cada cuatro puestos de trabajo** del sector privado se encuentra en la **industria** y suele requerir una alta cualificación, además, cada empleo adicional en el sector manufacturero **genera entre 0,5 y 2 empleos en otros sectores**. La industria manufacturera crea más de 34 millones de puestos de trabajo en Europa en 25 sectores industriales distintos y en torno a 2 millones de empresas, mayoritariamente Pymes⁷. La Comisión considera que una base industrial fuerte es fundamental para la recuperación económica y la competitividad europeas⁸.

Con todo, las repercusiones de la **crisis** han sido devastadoras, desde 2008 **se han destruido 3,5 millones de empleos** en torno a la fabricación⁹.

Para analizar la situación de los distintos Estados Miembros, existe una **relación directa entre el ratio de desempleo de una región y el índice de innovación**, y tal y como se muestra en el siguiente gráfico elaborado por el grupo High Level Group de la Comisión Europea, **España y Grecia se encuentran en una situación desfavorable**.

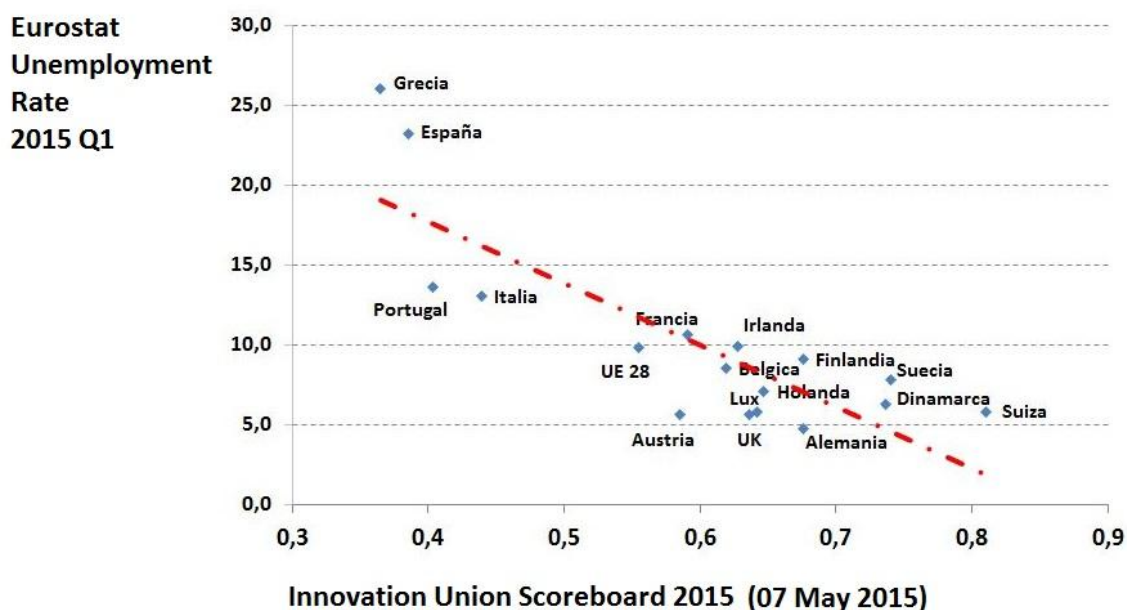


ILUSTRACIÓN 4: CORRELACIÓN ENTRE LA INNOVACIÓN Y EL DESEMPLEO. FUENTE: EUROSTAT

⁷ European parliament, “Policy department a: economic and scientific policy”, 2015.

⁸ COM (2014) 14 final del 22 de enero de 2014

⁹ http://ec.europa.eu/growth/industry/policy_en

2.1.3 Posicionamiento por países

Según un reciente estudio de la consultora Deloitte, en el que se elabora un ranking de los países actualmente más competitivos para la producción, España ocupa el puesto 25. El ranking lo encabezan los siguientes países: China, USA, Alemania, Japón y Corea del Sur¹⁰.

Otro estudio, realizado por la consultora Roland Berger también posiciona a España a la cola en cuanto a la relación entre la fabricación y el PIB, tal y como se puede observar en la siguiente figura:

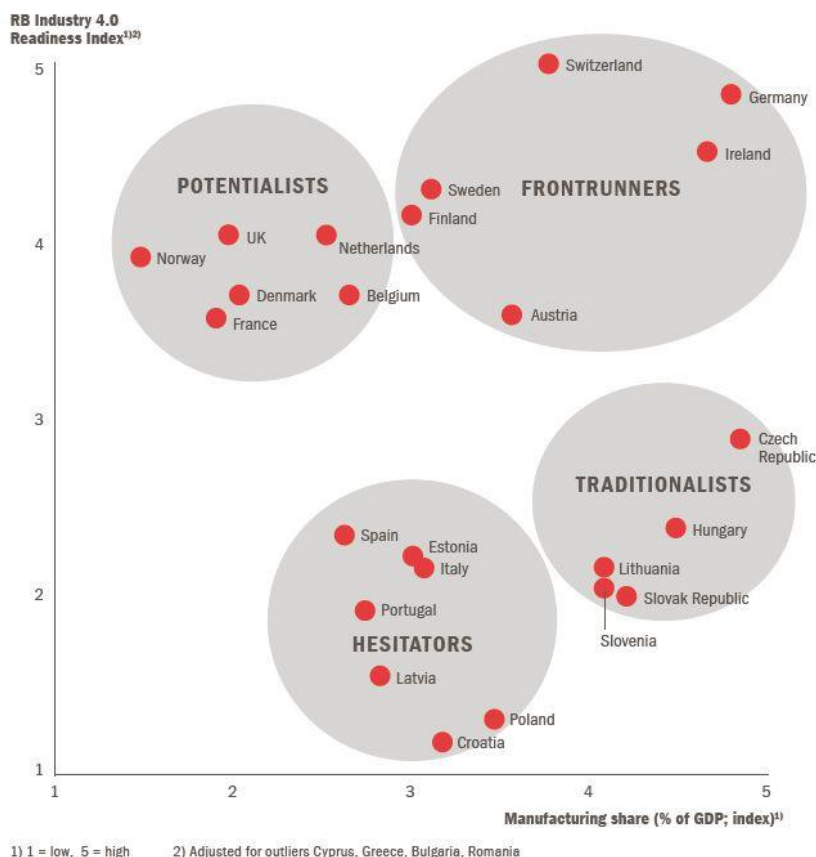


ILUSTRACIÓN 5: READINESS CHECK FOR EUROPE. FUENTE: ROLAND BERGER, 2015

El índice RB está representado en el eje vertical y se calcula de la siguiente manera: primero se mide la complejidad del proceso de producción, el grado de automatización, la capacitación de la mano de obra y la intensidad de la innovación en una categoría que se llama "excelencia industrial". Después se agrupa el alto valor agregado, la apertura de la industria, la red de innovación y la sofisticación de Internet en una categoría denominada "red de valor". Cada categoría fue medida usando una escala de 5 puntos, con "5" indicando que un país está excelentemente preparado para la Industria 4.0. La combinación de estas dos categorías determina la posición de un país en el Índice RB 4.0.

¹⁰ Deloitte, "2016 Global Manufacturing Competitiveness Index", 2016.

2.2 EL SECTOR INDUSTRIAL EN ESPAÑA

España, con un PIB de 1,4 millones de dólares, es la **quinta economía europea** (tras Alemania, Francia, Reino Unido e Italia) y la número trece a nivel mundial, con EEUU encabezando la lista¹¹. El sector que más relevancia presenta dentro de la economía española es el **Sector Servicios**, que ha ganado protagonismo en los últimos años en detrimento de la construcción y la industria.

El **Sector Industrial** en España representa el **17% del PIB de la economía**¹², que ha mostrado desde 2009 (14,4%) una mejora incremental, aunque aún lejos del 18,8% alcanzado en el año 2000, y del objetivo establecido por la Comisión Europea.

La Comisión Europea ha aceptado el reto de la reindustrialización de Europa y se refleja en su estrategia “Una política industrial integrada para la era de la globalización” en la que se establece como **objetivo que la industria represente el 20% del PIB europeo en 2020**. En 2014, la Comisión elaboró una nueva comunicación titulada “Por un renacimiento industrial europeo” con la que pretende fijar las prioridades de la política industrial para lograr este objetivo, estas prioridades se mencionan en el apartado 3.3.

El gobierno español, por su parte, ha puesto en marcha una política económica orientada a contar con sólidas bases macroeconómicas y de estímulo del fortalecimiento y desarrollo de una industria sólida, competitiva y de referencia internacional. Para ello, en octubre de 2013 se presentó el “**Estudio para el fortalecimiento y desarrollo del sector industrial es España**”¹³. El informe analiza exhaustivamente la situación de la industria en España e identifica las principales líneas de actuación para impulsar el fortalecimiento y desarrollo de la industria española.

Del Estudio se extrae que la industria genera más de **2,3 millones de empleos**, según la Encuesta de Población Activa en 2015 ha creado el 42% de los nuevos empleos en España, y la retribución media a los empleos industriales es un 20% superior a la de otros sectores.

Además, el empleo generado por las empresas industriales es de mayor calidad y más estable que el del resto de sectores: **dos tercios de los trabajadores industriales permanecen más de seis años en la misma empresa** y el porcentaje de empleados con menos de un año de antigüedad se sitúa en el 9%, muy por debajo del 14% del sector servicios. Se trata de un sector con trabajadores muy formados y por lo tanto **generador de empleo cualificado, estable y de calidad**.

Por otra parte, la industria juega un papel clave en el **impulso de I+D+i en España** siendo uno de los sectores que realiza un mayor esfuerzo en este ámbito. El gasto medio de las empresas industriales españolas supera el **2% del valor añadido bruto** del sector.

Por último, destacar que, durante estos últimos años, **las exportaciones** han sido el principal motor de crecimiento del sector industrial. Desde el año 2009, la cifra ha crecido a un ritmo del 11% anual y el sector exterior aporta casi un tercio del valor añadido bruto de la industria en España, lo que ha permitido compensar la brusca caída de la demanda interna.

¹¹ Datos consolidados del Banco Mundial del año 2013. Fuente: MINETUR, “La transformación digital de la industria española”, 2015.

¹² Europa Press, Julio 2015.

¹³ Boston Consulting Group, en colaboración con el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Octubre 2013.

2.2.1 Caracterización de la industria española

La industria española presenta una serie de características que se deben tener en cuenta a la hora de evaluar las oportunidades que las tecnologías 4.0 presentan.

El **tejido empresarial** de la industria española se caracteriza por un **elevado peso de las Pymes**. La distribución de las empresas por tamaño es similar a la del resto de Europa, sin embargo, se observa que las grandes empresas en España generan un menor VAB en comparación con la UE¹⁴.

El elevado peso de las pequeñas empresas en comparación con otros países condiciona la productividad del mercado español y dificulta, en determinadas ocasiones, la profesionalización, el crecimiento y la expansión internacional de algunos sectores.

Según el **Informe “Industria Conectada”** elaborado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, algunas de las **principales dificultades** a las que tiene que hacer frente la industria española son:

- **Difícil acceso a la financiación:** como consecuencia del tamaño de las empresas (principalmente PYMES) y debido al contexto económico desfavorable.
- **Baja inversión en I+D+i privada:** en España las inversiones se han ido disminuyendo considerablemente desde el año 2000 y comparativamente con otros países como Alemania, EEUU o Japón.
- **Baja renovación de los medios productivos:** se renuevan con menor frecuencia que en el resto de Europa, y al amortizarse durante periodos largos, las máquinas pueden quedar desfasadas lo cual afecta a la productividad.
- **Dificultad para la expansión internacional:** como consecuencia principalmente del tamaño de las empresas, que las limita en aspectos como la financiación. Los datos indican que el porcentaje de exportaciones industriales sobre el VAB de España es comparativamente menor que el de la mayoría de países de la UE.
- **Importantes diferencias en el coste laboral:** se observa que en el territorio español hay diferencias entre regiones en el coste laboral medio por hora de la industria.
- **Competencias no actualizadas:** aunque se están empezando a producir algunos cambios en los planes formativos, es necesario que se adapte aún más, a las nuevas competencias requeridas por la industria.

2.2.2 Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España

La Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España constituye un plan de acción, integrado por un conjunto de propuestas de actuación, concretas y bien delimitadas, que puestas en marcha en el corto plazo van a permitir mejorar las condiciones transversales en las que se desarrolla la actividad industrial en España y a **contribuir a que la industria crezca, sea competitiva y aumente su peso en el conjunto del PIB**.

¹⁴ Minetur, “Industria Conectada”.

La Agenda contiene **97 medidas** que se estructuran en torno a **10 líneas de actuación** para fortalecer el sector y mejorar la competitividad de la industria española:



ILUSTRACIÓN 6: LÍNEAS DE ACTUACIÓN PARA FORTALECER EL SECTOR Y MEJORAR LA COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA. FUENTE: MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

Esta Agenda recoge actuaciones del Ministerio de Industria, Energía y Turismo así como de otros Departamentos Ministeriales y entidades públicas, orientadas a facilitar un entorno empresarial favorable al desarrollo de nuestro tejido industrial. La Agenda fue aprobada por el Consejo de Ministros en su reunión del 11 de julio de 2014 y presentada públicamente el 16 de septiembre de 2014.

2.2.3 Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España

El Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (antes Ministerio de Energía, Industria y Turismo) ha emprendido la iniciativa **“Industria Conectada 4.0”**, una iniciativa conjunta y coordinada por los sectores público y privado (Banco Santander, Telefónica e Indra). Esta se encuentra alineada y complementa a otras dos iniciativas nacionales: la Agenda Digital para España y la Agenda para el Fortalecimiento del Sector Industrial.

El modelo español de Industria Conectada 4.0 persigue **3 objetivos** concretos:

1. Incrementar el **valor añadido** industrial y el **empleo** cualificado en el sector industrial.
2. Favorecer el **modelo industrial** de futuro para la industria española, con el fin de potenciar los **sectores industriales de futuro** de la economía y **aumentar su potencial de crecimiento**, desarrollando a su vez la **oferta local de soluciones digitales**.
3. Desarrollar **palancas competitivas** diferenciales para **favorecer la industria** española e impulsar sus **exportaciones**.

La estrategia gira en torno a una serie de **habilitadores digitales** que posibilitan la transformación de la industria, siendo el origen de los retos a los que se enfrenta la industria:



ILUSTRACIÓN 7: MAPA CONCEPTUAL DE HABILITADORES DIGITALES. FUENTE: INDUSTRIA CONECTADA 4.0

El Plan se estructura en torno a **4 líneas de actuación** que se centran en potenciar tanto la demanda como la oferta de habilitadores digitales que hagan posible la Industria 4.0 española. Las líneas de actuación se concentran a su vez en un total de **8 áreas estratégicas** en las que se centran los esfuerzos de la iniciativa, y que se resumen en la siguiente figura:



ILUSTRACIÓN 8: LÍNEAS DE ACTUACIÓN Y ÁREAS ESTRATÉGICAS DE LA ESTRATEGIA INDUSTRIA CONECTADA 4.0. FUENTE: INDUSTRIA CONECTADA 4.0

2.3 LA INDUSTRIA EN GALICIA

Galicia cuenta con un sector industrial fuerte y consolidado en sectores como la **automoción**, el **naval**, el **textil**, la **piedra**, la **metalurgia**, la **alimentación**, la transformación de la **madera** o la **logística**. La industria representa el **19,4% del PIB gallego**, casi 3 puntos por encima de la media española.

2.3.1 Estrategia de Especialización Inteligente

Las estrategias RIS3 son una de las propuestas legislativas que adoptó la Comisión Europea en octubre de 2011 dentro la **política de cohesión para el período 2014-2020**. Estas propuestas están orientados al cumplimiento de los objetivos de la **Estrategia Europa 2020**: crecimiento inteligente, sostenible e integrador, enfoque en los resultados y maximizar el impacto de la financiación de la UE.

La Comisión Europea ha propuesto que la especialización inteligente sea una condición previa (la llamada condicionalidad «ex ante»). Esto significa que los Estados miembros y regiones deben definir su RIS3 para poder recibir **ayudas del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)**, especialmente en dos de los objetivos clave: fortalecimiento de la I+D+i, y aumento del acceso a TIC y su utilización.

La comisión busca con esta propuesta un uso más eficiente de los Fondos Estructurales, aumentar sinergias entre las políticas de la UE, nacionales y regionales, y aumentar las inversiones públicas y privadas.

En Galicia, fue la **Agencia Gallega de Innovación (GAIN)**, dependiente de la Consejería de Economía e Industria de la Xunta de Galicia, la responsable de elaborar la Estrategia de Especialización Inteligente de Galicia 2014-2020, que fue presentada en 2014 como resultado de un proceso participativo en el que intervinieron los distintos departamentos de la administración regional, así como otras instituciones y agentes económicos y sociales representativos del Sistema Gallego de Innovación.

La estrategia RIS3 está basada en un conjunto limitado de prioridades tecnológicas y de innovación, concretamente en **10 prioridades** agrupadas en torno a **3 Retos de Futuro**:



ILUSTRACIÓN 9: RETOS DE LA ESTRATEGIA RIS3 DE GALICIA. FUENTE: GAIN

El **RETO 1** está basado en un “Nuevo modelo de gestión de los recursos naturales y culturales basado en la innovación” y busca la modernización de los sectores tradicionales gallegos a través de la introducción de las innovaciones que incidan en la mejora de la eficiencia y rendimiento del uso de los recursos endógenos

y su reorientación cara usos alternativos con mayor valor añadido en actividades energéticas, acuícolas, farmacológicas, cosméticas, alimentarias y culturales. El **RETO 2** está basado en un “Nuevo modelo industrial sustentado en la competitividad y el conocimiento” con el objetivo de aumentar la intensidad tecnológica de la estructura industrial de Galicia, a través de la hibridación y las Tecnologías Facilitadoras Esenciales. Por último, el **RETO 3** se basa en un “Nuevo modelo e vida saludable cimentado en el envejecimiento activo de la población” y tiene como objetivo posicionar a Galicia para el año 2020 como la región líder en el sur de Europa en la oferta de servicios y productos intensivos en conocimiento relacionados con un modelo de vida saludable.

RETO 2: EL MODELO INDUSTRIAL DE LA GALICIA DEL FUTURO

En relación a la transformación que se está produciendo hacia la Fábrica 4.0, uno de los tres grandes retos busca el **incremento de la competitividad de las industrias con más peso en la economía gallega**, y fija como vías para lograrlo el **aumento de la intensidad tecnológica**, la **diversificación**, la especialización y la **innovación de los procesos y productos**, y destaca el papel determinante que para ello tendrán las tecnologías facilitadoras, especialmente las **TICs** y la hibridación, es decir, la **búsqueda de sinergias y conocimiento compartido entre sectores** interrelacionados. En la siguiente figura se han identificado los agentes relevantes en este Reto:

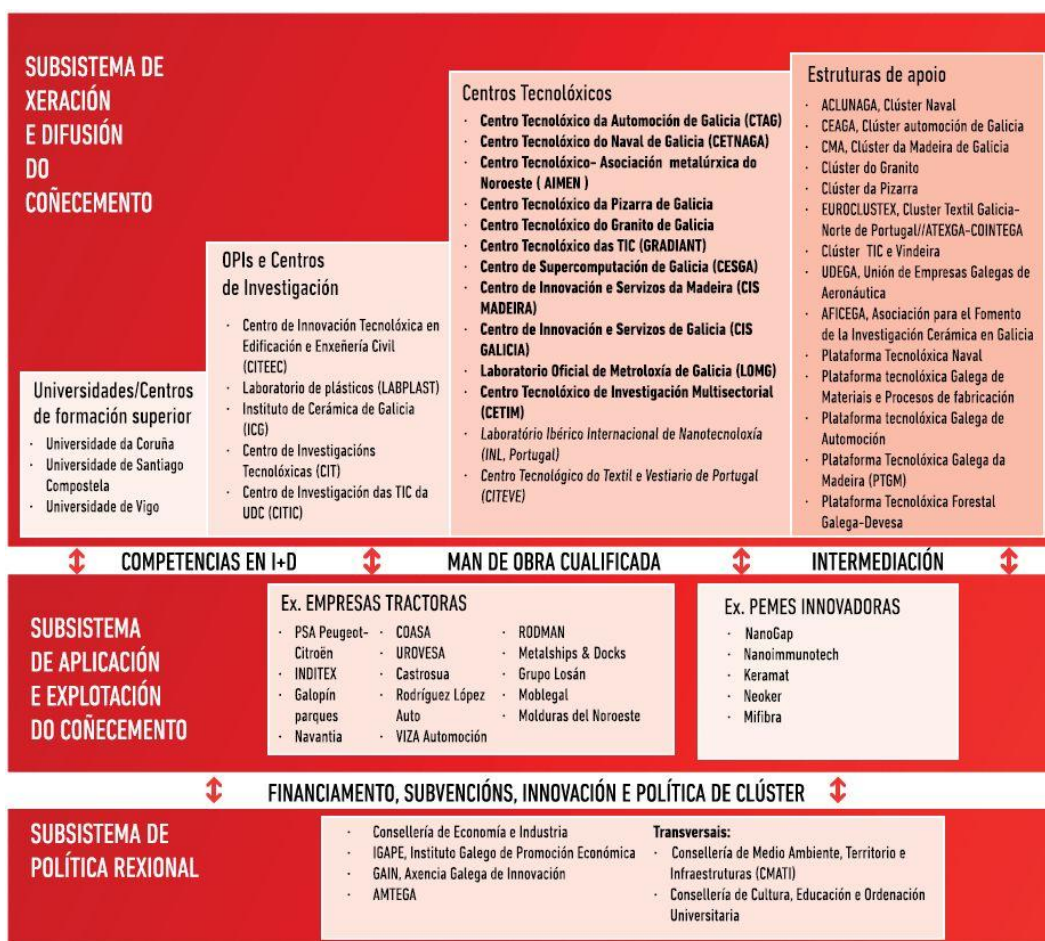


ILUSTRACIÓN 10: AGENTES RELEVANTES EN EL RETO 2. FUENTE: GAIN

Las prioridades establecidas en la estrategia RIS3 Galicia para el Reto 2 son:

- **Prioridad 1 “Diversificación de los sectores industriales tractores”:** diversificación de la actividad de los sectores que ejercen un papel tractor en la economía gallega, implementando medidas que fomenten un cambio de orientación en las empresas, mayoritariamente Pymes de capacidad tecnológica media-baja, para favorecer modelos de negocio basados en la innovación y en la tecnología.
- **Prioridad 2 “Mejora de la competitividad industrial”:** potenciar la competitividad del sector industrial gallego mediante la innovación en los procesos productivos. El resultado será un avance decidido hacia la fábrica del futuro, más eficiente y con un mejor comportamiento medioambiental.
- **Prioridad 3 “Impulso de la economía del conocimiento”:** impulsar y fortalecer un sector tecnológico basado en el conocimiento para reforzar su capacidad de tracción sobre el resto de los sectores estratégicos gallegos.

LÍNEAS DE ACTUACIÓN

Para conseguir las prioridades descritas, la Agencia Gallega de Innovación ha articulado un total de 20 instrumentos, organizados alrededor de **5 ejes estratégicos** en los que convergen las **20 líneas de actuación** y con el que se movilizan aproximadamente **1.600 millones de euros para innovación**.

Concretamente, se establece un programa de apoyo a las Pymes (**PEME INNOVA**) que aglutina 6 instrumentos dirigidos a fomentar la capacidad de innovación de las Pymes, un programa específico para fomentar el espíritu emprendedor innovador (**EMPRENDEMENTO INNOVADOR**) que incluye un programa de aceleración de la innovación y otro de fomento del talento, acompañado de 5 instrumentos adicionales que componen el programa de apoyo a la transferencia de conocimiento al mercado (**GALICIA TRANSFIRE**) y finalmente, con un carácter claramente innovador, el programa **INNNOVA EN GALICIA** que integra 6 instrumentos novedosos dirigidos a la movilización de capital privado y al fomento de la contratación pública como motor de la innovación, cerrando el conjunto de instrumentos transversal con la difusión y asistencia técnica a la estrategia.

	<p>PEME INNOVA APOIO ÁS PEMES INNOVADORAS Marco de apoio para fomentar a absorción de coñecemento por parte das pequenas e medianas empresas galegas para mellorar as súas competencias e, en consecuencia, a súa competitividade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 01 Programa de Innovación Sectorial. 02 Programa de Apoio á Innovación Aberta. 03 Programa de Bonos para Servizos Tecnolóxicos. 04 Programa de Bonos para Financiamento Internacional. 05 Programa de Homologación de Axentes de Innovación. 06 Programa de Fomento da Capacidade de Absorción de Coñecemento das Empresas.
	<p>INNOVA EN GALICIA MOBILIZACIÓN E ATRACCIÓN DE CAPITAL PRIVADO Bloque de instrumentos orientados a que o investimento público exerza como panca para a mobilización e atracción de capital privado con destino a iniciativas de innovación galegas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 07 Programa Fondo de Atracción para Centros de Desenvolvemento. 08 Programa Fondo de Demanda Temperá. 09 Programa de Proxectos de Demostración. 10 Programa de Proxectos Estratéxicos Público-Privados. 11 Programa de Cooperación co Horizon 2020 no Desenvolvemento de Proxectos Colaborativos de I+D+I. 12 Programa de Instrumentos de Enxeñaría Financeira para a Mobilización de Capital Privado.
	<p>GALICIA TRANSFIRE APOIO Á TRANSFERENCIA DE COÑECEMENTO AO MERCADO Conxunto de actuacións para fomentar a transferencia de coñecemento e de resultados de investigación desde os centros científicos e tecnolóxicos galegos ao mercado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 13 Programa de Contratos-Programa de Transferencia para Centros Científicos e Tecnolóxicos. 14 Programa de Investimentos en Activos de Coñecemento e Tecnoloxía en Centros Científicos e Tecnolóxicos. 15 Programa de Proba Concepto. 16 Programa de Compra Pública Innovadora. 17 Programa de Fomento da Propiedade Industrial.
	<p>EMPRENDEMENTO INNOVADOR FOMENTO DO EMPRENDEMENTO INNOVADOR Accións de soporte para aumentar e potenciar a oferta de oportunidades coas que o talento investigador e innovador conta para mellorar a súa competitividade científica e/ou posicionarse no mercado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 18 Programa de Aceleración da Innovación. 19 Programa de Retención, Incorporación e Mobilidade do Talento.
		<p>+ 20 Programa de Actuacións Transversais (posta en marcha, seguimento, avaliación e difusión da RIS3 Galicia).</p>

ILUSTRACIÓN 11: PROGRAMAS ASOCIADOS A LOS RETOS Y PRIORIDADES DE LA ESTRATEGIA RIS3 GALICIA.

FUENTE: AGENCIA GALLEGA DE INNOVACIÓN, 2014

2.3.2 Agenda para la competitividad de Galicia: Industria 4.0

La Agenda para la competitividad de Galicia – Industria 4.0, publicada en 2015 por la Xunta de Galicia, surge con el objetivo de ser un **instrumento para aumentar el peso de la actividad industrial** en el conjunto de la economía gallega, siguiendo de este modo la misma dirección que la Unión Europea, que propone alcanzar un crecimiento de la industria manufacturera en el conjunto de la actividad económica comunitaria, hasta llegar a un **20% del PIB europeo en el año 2020**.

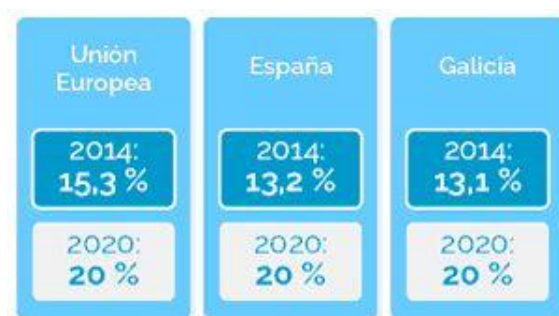


ILUSTRACIÓN 12: OBJETIVO DE AUMENTO DEL PESO DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL PARA LLEGAR AL 20% DEL PIB EN 2020. FUENTE: GAIN

La visión compartida busca **consolidar en Galicia la denominada Industria 4.0**, compuesta por **fábricas inteligentes, automatizadas, flexibles, interconectadas, sostenibles y sociales**, que cuenta con espacios compartidos entre humanos y máquinas, y otorga más responsabilidades a las personas, más cualificadas y bien formadas, capaces de gestionar eficientemente los nuevos ámbitos productivos.

Los grandes objetivos que giran en torno a esta visión compartida, son por lo tanto los siguientes:

- **Incrementar el peso de la industria en el PIB** en 6,5 puntos hasta alcanzar el 20% en el año 2020.
- **Incrementar el peso del empleo industrial** en 4 puntos, lo que llevaría (según la evolución demográfica prevista para el periodo 2014-2020) hasta más de **50.000 nuevos empleos** en la Industria.

Para alcanzar estos objetivos, en la Agenda para la competitividad de Galicia- Industria 4.0 se han identificado los siguientes **retos a abordar**:

- Equilibrio entre sectores tradicionales y de futuro: orientación hacia la obtención de un mayor valor añadido de los sectores tradicionales, al mismo tiempo que se fomentan las actividades emergentes o de alto potencial de crecimiento.
- Hibridación sectorial y aprovechamiento de recursos: para avanzar hacia una industria que crezca gracias a la hibridación de empresas y sectores con conocimientos, procesos, mercados u otros intereses en común, y aprovechen las ventajas competitivas de sus recursos endógenos diferenciales.
- Cultura empresarial innovadora y vocación global: hacia una industria profesionalizada y evolucionada que interiorice la cultura innovadora y la vocación global, asumiendo así la naturaleza estratégica de la innovación y de la internacionalización como condiciones para mejorar la competitividad presente y futura.
- Emprendimiento Industrial y Business Factories: una industria que acoja en condiciones favorables a los emprendedores, permitiendo y apoyando el desarrollo de nuevos proyectos industriales; y una industria en la que tengan cabida los focos de emprendimiento industrial, que fomenten a creación de start-ups innovadoras.
- **Fábricas Inteligentes y logística 4.0**: Una industria conectada, que incorpore las más avanzadas TIC, y en la que todos los procesos se encuentren conectados entre sí.
- Cadenas de valor en Galicia: la industria debe buscar todo lo necesario para ser competitiva, no sólo en cuanto a los elementos de su entorno, sino también en cuanto a la posibilidad de completar sus cadenas de valor.

La Agenda se estructura en torno a **5 programas de impulso**: un primer programa relativo a los factores territoriales de competitividad, de cara a asegurar un entorno adecuado para el desarrollo de la industria en cuanto a energía, normativa, suelo industrial, formación profesional, tecnologías de la información y la comunicación, y logística; y cuatro programas de impulso en el esfuerzo de personas y de las organizaciones, capitalización y crecimiento empresarial, innovación y mercados, e internacionalización.

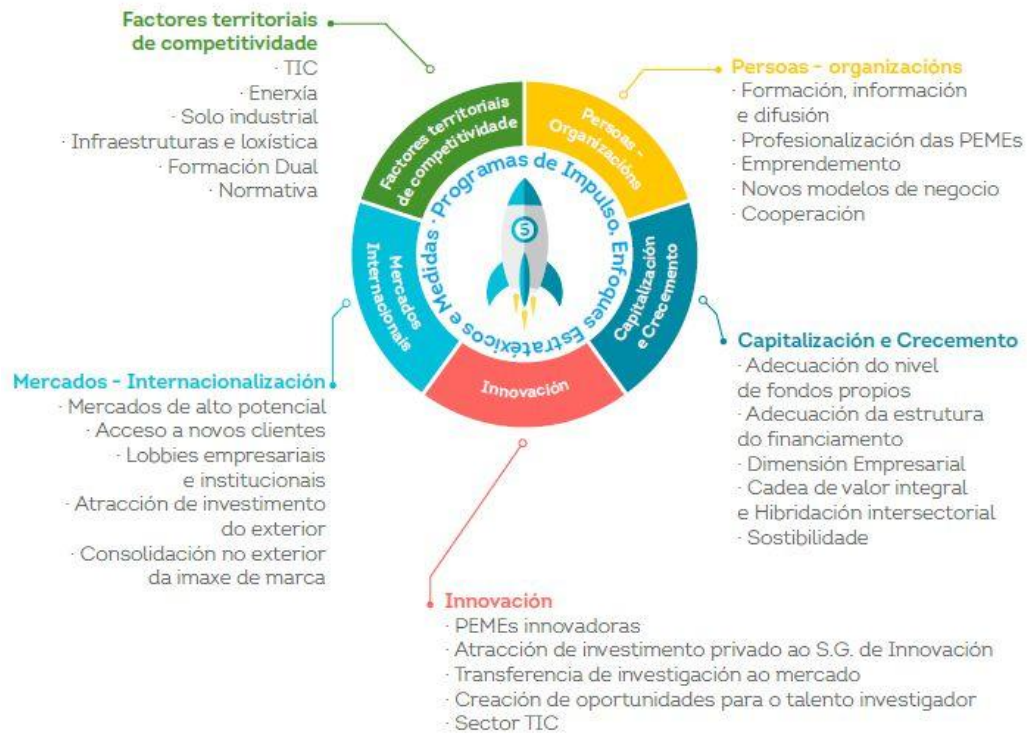


ILUSTRACIÓN 13: PROGRAMAS DE IMPULSO Y ENFOQUE ESTRATÉGICO DE LA AGENDA PARA GALICIA-INDUSTRIA 4.0

Los 5 programas de impulso recopilan un total de **60 medidas**, 56 a lo largo de los programas de impulso y 4 adicionales que describen el papel de los agentes colaboradores, entre las que destacan:

- Rebaja del coste del suelo industrial de entre un 15-50%.
- Línea de apoyo a proyectos orientados a la Fábrica Inteligente.
- Concurso para la financiación de proyectos presentados en el marco de la “Industria 4.0”.
- Creación de aceleradoras de empresas.
- Programa de inteligencia competitiva.
- Apoyo de los procesos de relocalización y de integración de las cadenas de valor.

La Agenda de Competitividad Industrial está gestionada por el **Instituto Galego de Promoción Económica (IGAPE)**, adscrito a la Consejería de Economía e Industria de la Xunta de Galicia.

3. CONCEPTO INDUSTRIA 4.0

3.1 QUÉ ES LA INDUSTRIA 4.0

3.1.1 Contexto: de dónde surge el término

El término “**Industria 4.0**” fue acuñado por el gobierno alemán y hace referencia a la **4ª revolución industrial**. La primera revolución industrial tuvo lugar en el siglo XVIII como consecuencia de la aparición de la máquina de vapor y de la mecanización, lo que supuso un fuente de energía más potente y flexible para la maquinaria; en el siglo XIX tuvo lugar la segunda revolución industrial, protagonizada por la llegada de la electricidad y la producción en masa (Henry Ford); y la tercera revolución se produjo en la década de los 70 y surgió a raíz de la electrónica, la automatización y la aparición de las TICs.

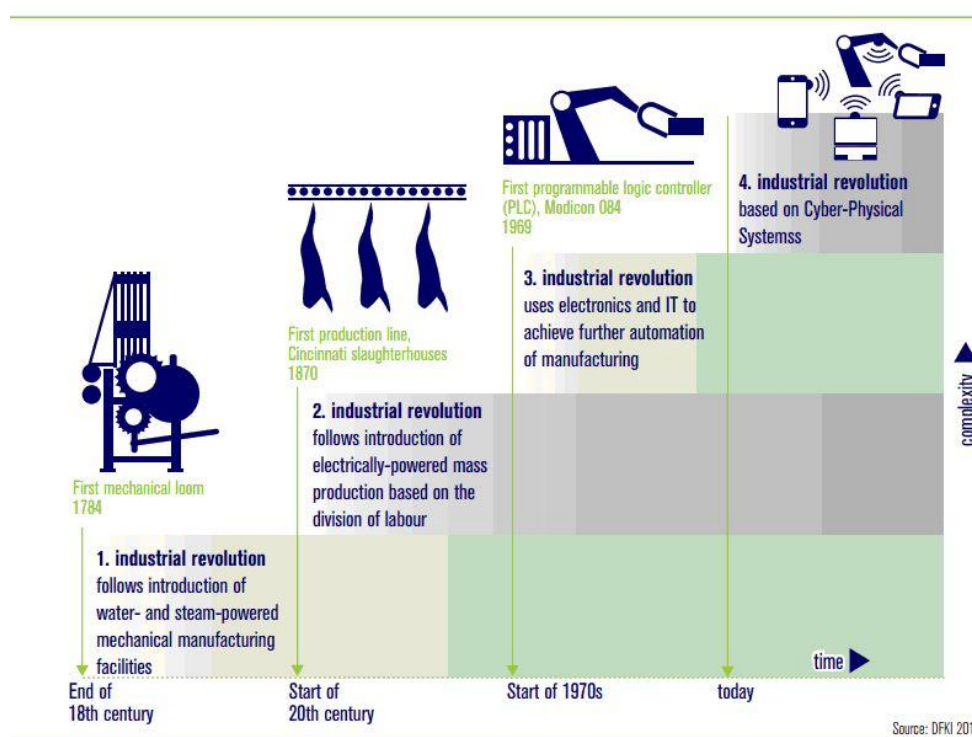


ILUSTRACIÓN 14: LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES. FUENTE: GERMAN RESEARCH CENTER FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE (DFKI)

Para el gobierno Alemán, el término Industria 4.0 describe y resume un **conjunto de cambios tecnológicos** que se están produciendo en torno a la fabricación, y establece las prioridades de un marco de política coherente con el objetivo de **mantener la competitividad global de la industria** alemana. Es conceptual en el sentido de que establece una forma de entender un fenómeno observado e institucional, ya que proporciona el marco para una serie de iniciativas políticas identificadas y apoyadas por representantes gubernamentales y empresariales que impulsan un programa de investigación y desarrollo.

Por Industria 4.0 se entiende¹⁵ la organización de los **procesos de producción** basados en la tecnología y los dispositivos que **se comunican de forma autónoma a lo largo de toda la cadena de valor**: un modelo

¹⁵ European parliament, “Policy department a: economic and scientific policy”, 2016.

de la **fábrica "inteligente"** del futuro donde los sistemas informáticos supervisan los procesos físicos, creando una **copia virtual del mundo físico** y se toman decisiones de manera descentralizada basadas en mecanismos de auto-organización. El concepto tiene en cuenta la creciente **informatización de las industrias manufactureras** en las que los objetos físicos se integran perfectamente en la red de información. Como resultado, los sistemas de fabricación están verticalmente conectados en red con los procesos empresariales dentro de las fábricas y conectados horizontalmente a redes que se pueden gestionar en tiempo real, desde el momento en que se hace un pedido hasta la logística de salida. La diferencia entre la industria y los servicios es menos relevante, ya que las **tecnologías digitales** están **conectadas con productos y servicios** industriales en **productos híbridos** que no son ni bienes ni servicios exclusivamente. De hecho, tanto los términos **"Internet de las cosas"** como **"Internet de los servicios"** son considerados elementos clave de la industria 4.0.

Teniendo en cuenta lo anterior, las **principales características de la Industria 4.0** son:

- **Interoperabilidad:** los sistemas cyberfísicos (portadores de piezas de trabajo, estaciones de ensamblaje y productos) permiten a los seres humanos y a las fábricas inteligentes conectarse y comunicarse entre sí.
- **Virtualización:** se crea una copia virtual de la Fábrica Inteligente vinculando datos de sensores con modelos de plantas virtuales y modelos de simulación.
- **Descentralización:** capacidad de los sistemas cyberfísicos de tomar decisiones propias y producir localmente gracias a tecnologías como la impresión en 3D.
- **Capacidad en tiempo real:** la capacidad de recopilar y analizar datos y proporcionar la información derivada inmediatamente.
- **Orientación al servicio.**
- **Modularidad:** adaptación flexible de fábricas inteligentes a requerimientos cambiantes mediante la sustitución o expansión de módulos individuales.

Por último, cabe destacar también que **tecnologías** se asocian a la Industria 4.0¹⁶ desde el gobierno Alemán:

- La aplicación de las **tecnologías de la información y la comunicación** (TICs) para digitalizar la información e integrar los sistemas en todas las etapas de la creación y el uso del producto (incluida la logística y el suministro).
- **Sistemas cyberfísicos** que utilizan las TIC para monitorizar y controlar procesos y sistemas físicos. Estos pueden involucrar sensores integrados, robots inteligentes que pueden configurarse para adaptarse al producto en tiempo real a medida que se va creando, o fabricación aditiva.
- **Comunicaciones de red** incluyendo tecnologías inalámbricas wireless e Internet que sirven para la comunicación entre dispositivos (p. impresión 3D).

¹⁶ European Parliament, "Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth", 2015.

- **Simulación, modelado y virtualización** en el diseño de productos y la planta, y con proveedores y distribuidores.
- Recopilación de grandes cantidades de **datos** y su **análisis y explotación**.
- Un mayor apoyo basado en las TIC para los trabajadores, incluidos los robots, la realidad aumentada, o mediante análisis Big Data y Cloud Computing.

Otra aproximación a las **tecnologías claves y facilitadoras** de la Industria 4.0 es la proporcionada por **EFFRA** en su RoadMap:

- **Procesos avanzados de fabricación:** como la fabricación aditiva, fotónica, tecnologías de conformado, autoensamblaje, etc.
- **Mecatrónica para sistemas avanzados** de fabricación: técnicas de control, inteligencia basada en cognición en maquinaria y robótica, interacción hombre-máquina, actuadores inteligentes, materiales avanzados, etc.
- **Tecnologías de la información y la comunicación:** conexión del mundo físico en las plantas de producción, minería de datos, modelado y simulación, etc.
- **Estrategias de fabricación:** diseño centrado en el usuario, virtualización y digitalización, etc.
- **Modelado, simulación y previsión.**
- **Conocimientos y skills de los trabajadores.**

3.1.2 Definición: ¿Qué es la Industria 4.0?

Teniendo en cuenta el origen del término Industria 4.0 acuñado por el gobierno alemán y su definición, tal y como se recoge en el apartado anterior, se ha realizado una investigación bibliográfica, recopilando distintas definiciones y clasificaciones de tecnologías existentes en la actualidad, con el objetivo de realizar una mejor aproximación a la definición de “Industria 4.0” y a la identificación de las tecnologías asociadas. Algunas de las definiciones analizadas pertenecen a asociaciones de referencia europea como EFFRA (European Factories of the Future Research Association), institutos de investigación e innovación como Fraunhofer, consultoras internacionales como Boston Consulting, McKinsey o Price Waterhouse, así como los roadmaps estratégicos de distintos gobiernos.

Partiendo de esta base bibliográfica, y teniendo en cuenta los cambios a nivel regional, nacional y europeo que se está produciendo en torno a este fenómeno de transformación de la industria, se ha consensado la siguiente definición para entender qué es la Industria 4.0 y que se tomará de referencia para el resto de apartados en este documento, especialmente para el análisis del Estado del Arte por sectores.

INDUSTRIA 4.0

El término **Industria 4.0** fue acuñado por el gobierno alemán y hace referencia a la **4ª revolución industrial**, un **nuevo paradigma** de fabricación que supone una **transformación del modelo productivo** tal y como lo conocemos hoy en día como consecuencia de la incorporación de un conjunto de **tecnologías emergentes** que **digitalizan y conectan entre sí personas, dispositivos y máquinas**. Se busca integrar a toda la **cadena de valor**, dando como resultado la **fusión del mundo virtual y físico**, es decir, una mayor disponibilidad de información de valor en tiempo real que facilitará la toma de decisiones.

La Industria 4.0 da lugar a lo que se denominan **“fábricas inteligentes”**, fábricas que evolucionan para ser **más flexibles** y adaptarse más rápido a los cambios en la demanda, que estarán **más centradas en las personas**, serán **más eficientes en el consumo de recursos**, y **más responsables medioambiental y socialmente**. Esta transformación de la industria traerá asociados nuevos productos, procedimientos y procesos más inteligentes.

Las **tecnologías emergentes vinculadas** a esta transformación son:

1. Automatización, y robótica avanzada y colaborativa
2. Human Machine Interaction
3. Sistemas Cyberfísicos e IoT
4. Fabricación Aditiva
5. Tecnología de Materiales Inteligentes
6. Logística avanzada
7. Modelización, simulación y virtualización de los procesos
8. Big Data, Cloud Computing y Data Analytics
9. Safety and Security

3.2 INDUSTRIA 4.0, FÁBRICA DEL FUTURO Y TECNOLOGÍAS EMERGENTES

3.2.1 La fábrica del futuro. Industria 4.0

La fábrica del futuro es la solución más **inteligente** hacia la **eficiencia**, la **sostenibilidad**, la **flexibilidad** y la **competitividad**, en un entorno **conectado** en el que las **personas** serán un elemento central (**Ilustración15**). Así, la fábrica del futuro será:

- **SOCIAL**. El conocimiento de los trabajadores en los procesos de fabricación de componentes y en materiales y productos debe ser un elemento clave y central de las fábricas.
- **SOSTENIBLE**. Mediante el uso racional de los recursos, materias primas y energía con el objetivo de implementar conceptos de fabricación responsable y sostenible.
- **INTELIGENTE**. Tanto en procesos como en sistemas y productos. Capaz de evaluar posibles degradaciones en la planta para notificar sobre tareas de mantenimiento y capaz de ayudar al

trabajador en tareas de reajuste y puesta a punto automáticas (minimización de lead-time) y capaz de gestionar una creciente diversidad de procesos y productos. Al mismo tiempo se buscan productos inteligentes y conectados que interactúen con los usuarios y con el entorno y sean capaces de adaptarse y reaccionar ante eventos y estímulos externos.

- **FLEXIBLE.** Reconfiguración ágil de máquinas, líneas de fabricación y plantas. Capacidad de adaptación a cambios frecuentes de producción (multireferencia y multiproducto) y fabricación aditiva.
- **AUTOMATIZADA.** La robotización incrementa la agilidad, flexibilidad, repetitividad y calidad en los procesos. Por otro lado, el empleo de soluciones robotizadas colaborativas proporciona soluciones que permiten evolucionar el modelo de producción hacia una customización masiva (fabricación a medida), permitiendo un modelo de fabricación compartido trabajador-robot que aúne la habilidad de las personas con las capacidades del robot, mejorando la productividad de las plantas.
- **CONECTADA.** En la actualidad es necesario la conexión entre todos los agentes y actividades que participan en el proceso productivo de un componente. Mayor conectividad se traduce en una mejor gestión de los mecanismos de intercambio de información y en una integración efectiva de las actividades de la cadena de valor empresarial, lo que se traduce en un incremento de productividad y competitividad.



ILUSTRACIÓN 15: CLAVES PARA EL DESARROLLO DEL CONCEPTO DE FÁBRICA DEL FUTURO

En la **Ilustración 16** se representa este concepto de Fabrica 4.0, y su relación con las tecnologías habilitadoras objeto del presente informe.

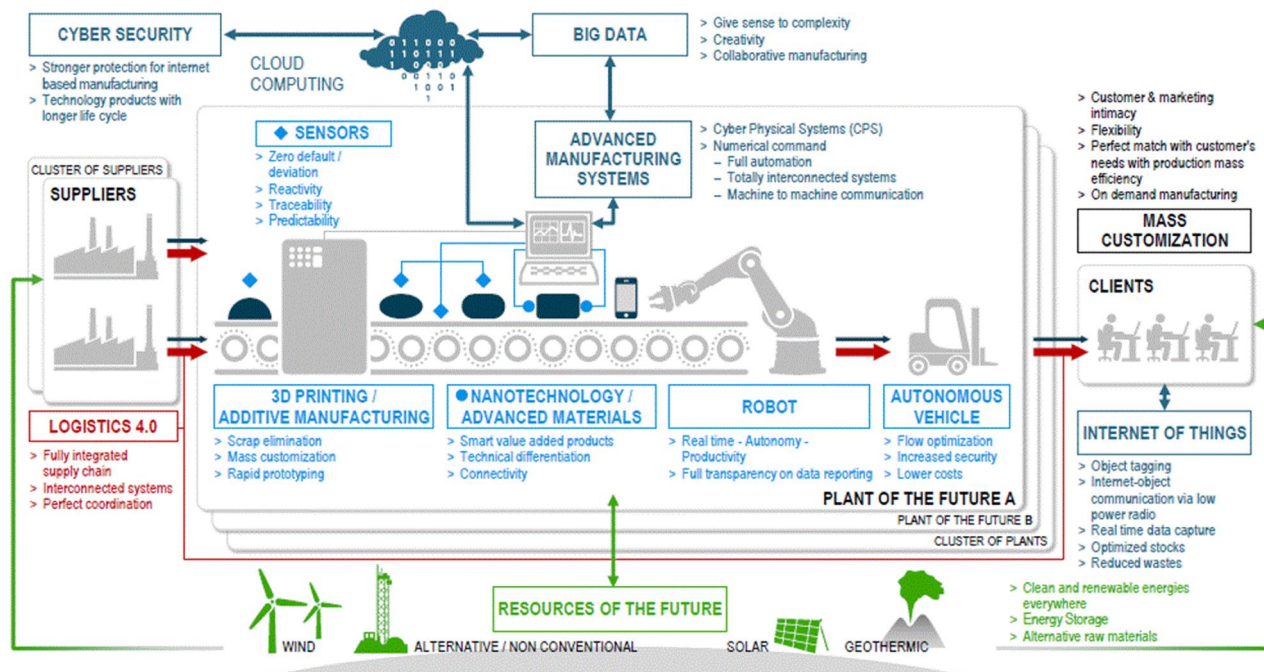


ILUSTRACIÓN 16: CONCEPTO DE FÁBRICA 4.0. FUENTE BERGER ROLAND. INDUSTRY 4.0

La implementación de este nuevo concepto de fábrica avanzada 4.0 requiere del desarrollo de soluciones y tecnologías innovadoras en los siguientes ámbitos de actuación (**Ilustración 17**):

- **Materiales y Fabricación inteligente**
- **Conectividad y Análisis de Datos**
- **Gestión de la producción**

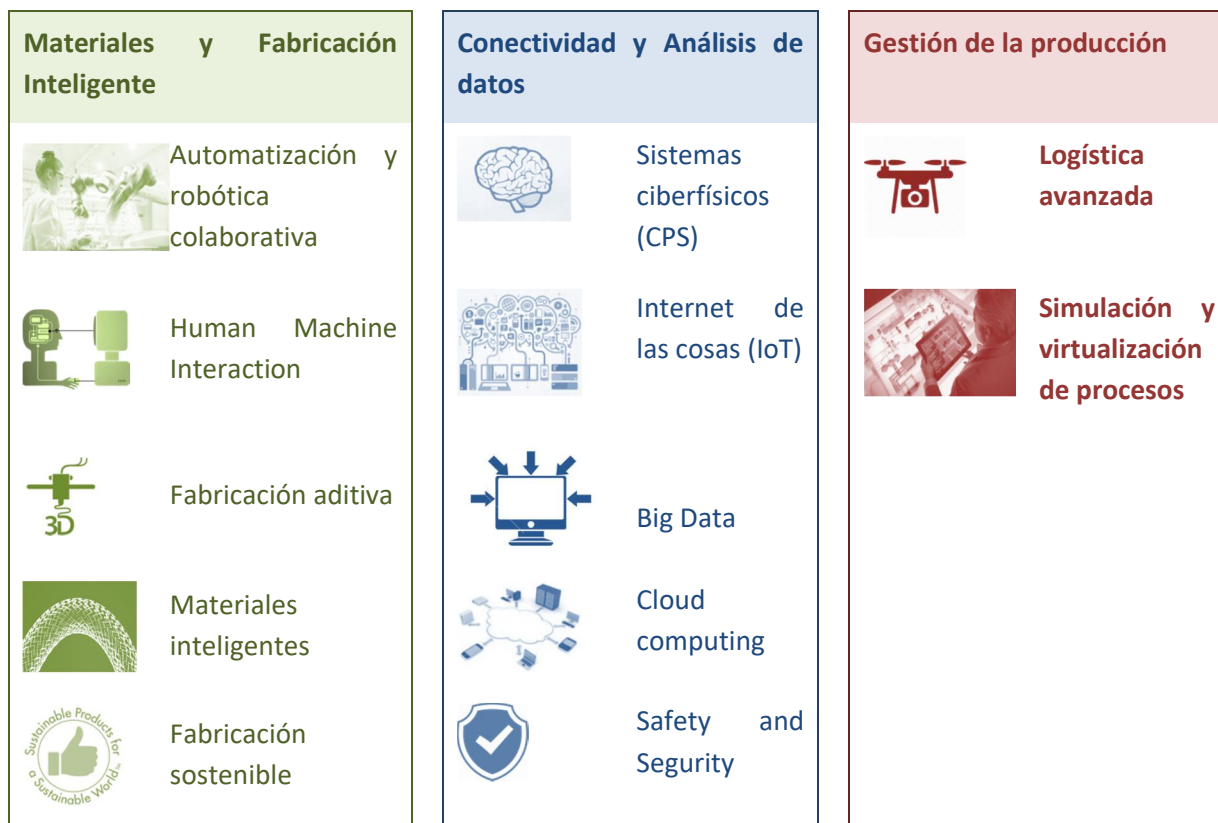


ILUSTRACIÓN 17: TECNOLOGÍAS HABILIDADORAS QUE PERMITEN IMPLEMENTAR EL CONCEPTO DE FÁBRICA 4.0, DESARROLLADAS A LO LARGO DEL PROYECTO

La integración e implementación de **tecnologías de conectividad** (IoT, sensorización avanzada...), de **tecnologías de fabricación inteligentes** (materiales avanzados, fabricación flexible, CPS...), de **sistemas de fabricación interrelacionados** cada vez más complejos –*System-of-systems*–, y de **herramientas de análisis de datos** (cloud computing, Big Data) y de soporte a la toma de decisiones (Business Intelligence) sólo puede llevarse a cabo mediante el desarrollo e integración de **herramientas de colaboración vertical** (desde los elementos de Sensorización de la planta hasta el sistema empresarial) y **herramientas de colaboración horizontal** (que permiten nuevas estrategias y redes de negocio mediante la integración de toda la cadena de valor).

3.2.2 Materiales y fabricación inteligente

AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA COLABORATIVA

Existe una tendencia creciente en el uso de **robots colaborativos** en procesos industriales. La idea es tener robots junto con elementos de sensorización de seguridad multi-nivel que puedan ser fácilmente integrados en entornos de fabricación ágil, **trabajando mano a mano con operarios**. La investigación en robótica colaborativa se plantea en diferentes vertientes: robótica industrial de alta capacidad de carga para uso compartido operario/robot y la implementación de robots ligeros desarrollados específicamente para uso colaborativo con operarios, en operaciones seguras en entornos sin vallado.

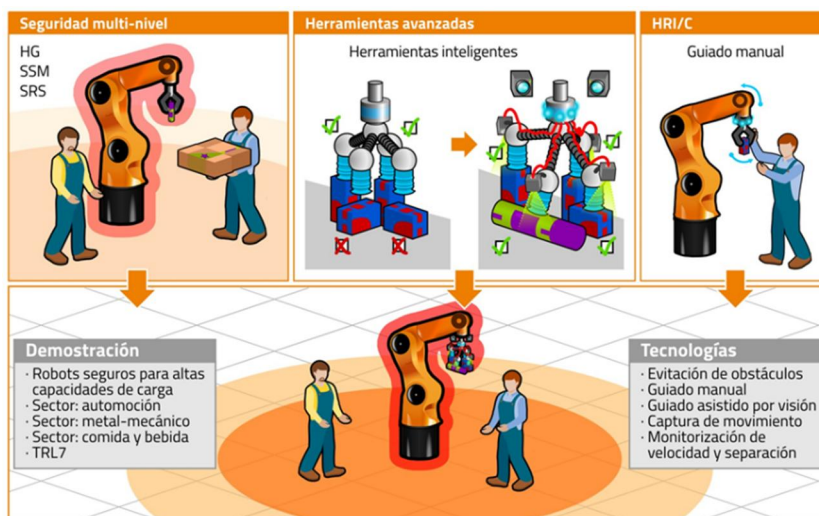


ILUSTRACIÓN 18 CONCEPTO DE CELDA ROBOTIZADA COLABORATIVA, EN EL QUE LA CAPA DE SEGURIDAD PARA USO COMPARTIDO CON OPERARIOS ESTÁ SIEMPRE PRESENTE

Para el desarrollo de sistemas de seguridad para trabajo en entorno compartido, la confianza del operario^{17,18} en el robot *co-worker* es un elemento clave a conseguir. En este contexto, la seguridad es un aspecto central a resolver cuando los operarios y robots comparten el mismo espacio de trabajo, ya que se pueden ocasionar lesiones en los operarios en caso de colisión¹⁹. Las áreas relacionadas con la seguridad alrededor del robot están normalmente cerradas a los operarios bien por barreras metálicas, bien por otro tipo de sensores de seguridad certificados —ej. barreras de seguridad, escáneres de seguridad, alfombras de seguridad, así como la cámara SafetyEYE²⁰—.

Estos sistemas permiten llevar al robot a una parada controlada cuando un operario entra en la zona de seguridad designada. No obstante, todos estos sistemas requieren de una gran área de seguridad, no operativa, alrededor del espacio de trabajo del robot, lo que impide disponer robots abiertos con espacio compartido real con operarios.

FABRICACIÓN MULTIETAPA Y FLEXIBLE

La tendencia, cada vez mayor, hacia un modelo productivo basado en lotes cada vez más pequeños, y con una mayor gama de productos a fabricar, está obligando a la industria en general y, especialmente, a los fabricantes de componentes, a **avanzar hacia una fabricación altamente flexible**. No obstante, la flexibilidad en producción es difícil de conseguir en la actualidad debido a la carencia de tecnologías de fabricación con capacidad de adaptarse con eficiencia a entornos tan dinámicos como el de automoción, y

¹⁷ J. Lee and K. See, *Trust in automation: designing for appropriate reliance*, Human Factors, 46:50-80, 2004.

¹⁸ Jenay M. Beer, Akanksha Prakash, Tracy L. Mitzner, Wendy A. Rogers, *Understanding robot acceptance*, Technical Report HFA-TR-1103, Georgia Institute of Technology, 2011

¹⁹ Haddadin, S (2009), *DLR Crash Report: Towards a standard crash-testing protocol for safety -part I. Robotics*, 272-279.

²⁰ <https://www.pilz.com/en-INT/eshop/0010>

a los altos costes de integración de las tecnologías ya disponibles. Por tanto, este cambio en el modelo productivo obliga a un cambio en la estrategia de fabricación, siendo necesario el desarrollo e implementación de nuevos métodos y tecnologías de proceso en el global de la fábrica que permitan asegurar tanto la calidad como la productividad con el objetivo de garantizar una fabricación flexible eficiente en coste. En este sentido, la industria europea está invirtiendo en tecnologías eficientes que permitan reducir el *time-to-market* e incrementar la agilidad y flexibilidad de los procesos de fabricación.

La tendencia existente hacia un modelo de fabricación a medida empuja hacia la investigación e implantación de nuevos conceptos de **fabricación flexible y reconfigurable**. Así, en estos últimos años varios proyectos europeos FP7²¹ y H2020^{22,23,24} proponen el desarrollo de nuevos sistemas de fabricación flexibles gracias a la combinación de nuevas arquitecturas de sistema reconfigurables, módulos de fabricación plug&play y herramientas flexibles multifuncionales.

Se han definido los **sistemas de fabricación reconfigurables (RMS)** como el mejor modelo productivo para una fabricación por gama de productos²⁵ (**Ilustración 19**). Estos sistemas reconfigurables deben poseer las siguientes características:

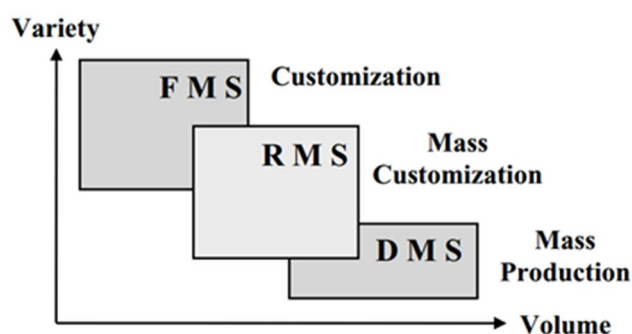


ILUSTRACIÓN 19: MODELO PRODUCTIVO ÓPTIMO EN FUNCIÓN DE LA VARIEDAD Y VOLUMEN DE FABRICACIÓN

- 1) **Modularidad** en el diseño de componentes.
- 2) Capacidad de **integración** en sistemas más complejos.
- 3) **Convertibilidad** para permitir cambios rápidos entre productos y rápida capacidad del sistema para adaptarse a productos futuros.
- 4) **Capacidad de diagnóstico** para identificar las fuentes de problemas.
- 5) **Customización** que permita la capacidad de adaptación del sistema.
- 6) **Escalabilidad**.

Para ello, un sistema de fabricación reconfigurable debe poseer **flexibilidad** no sólo para producir una gama de productos muy variados, sino también para cambiar el sistema de fabricación por sí mismo. Esto implica el desarrollo de una arquitectura modular –hardware y software– abierta²⁶.

²¹ <http://www.skillpro-project.eu/>

²² <http://recam-project.eu/>

²³ <https://www.openmos.eu/>

²⁴ <http://www.horizon2020-perform.eu/>

²⁵ Elmaraghy, Hoda A. *Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms*. International journal of flexible manufacturing systems, 2005, vol. 17, no 4, p. 261-276.

HUMAN MACHINE INTERACTION

En el futuro será determinante el modo cómo se establezcan la relación de autonomía y control de la **interacción hombre-máquina**. Vienen sorprendentes cambios tecnológicos, pero que no van a vaciar las fábricas de trabajadores. Es importante una nueva humanización de esta relación, porque *“o los hombres indicarán a las máquinas lo que deben hacer, o los hombres recibirán las órdenes de las máquinas. La solución está en que el hombre tenga la cualificación necesaria para jugar su papel”*.

En la tercera revolución industrial se hablaba del **trabajador del conocimiento**. Había que utilizar el Know how y las competencias profesionales del trabajador. Hoy el centro lo ocupa el trabajador del talento, es decir, un trabajador engaged que está totalmente implicado en su trabajo y entusiasmado con él. Las máquinas han aliviado el trabajo duro de los operarios. Pero en entornos de la Industria 4.0 la gente no deberá trabajar más horas, sino con más inteligencia. El trabajador pasará de ser trabajador a solucionador de problemas (hardware y dispositivos), tendrá entre sus competencias la toma de decisiones y será innovador. En situaciones no planificadas e imprevistas será el hombre, con sus capacidades cognitivas, quien tome decisiones y deberá concentrarse en la gestión de los problemas de su competencia.

FABRICACIÓN ADITIVA

La Fabricación aditiva (AM: *Additive Manufacturing*), es una **técnica de fabricación de piezas tridimensionales**, capa por capa, directamente a partir de un modelo digital. Fue en la década de los 80 cuando este proceso de fabricación encontró un nicho de aplicación en la fabricación de prototipos a partir de material polimérico. Con el tiempo las técnicas de fabricación aditiva han evolucionado hasta poder trabajar con otro tipo de materiales, **materiales metálicos**²⁷ y materiales diseñados para cumplir especificaciones concretas, permitiendo, por tanto, la posibilidad de producir componentes totalmente funcionales.

Las tecnologías de fabricación aditiva juegan un papel muy activo en la Industria 4.0 y desde su aparición han supuesto una revolución industrial, frente a los procesos de fabricación convencionales sustractivos. Facilitan la **personalización de productos y procesos**, con la posibilidad de reproducir cualquier geometría imaginable, con un desperdicio de materiales cercano a cero (*“net-shape”*) y permitiendo prescindir de herramientas y utillajes de fabricación. Su vinculación con las TIC permite ofrecer una respuesta inmediata a las necesidades del mercado, atendiendo a la creciente demanda de diferenciación y personalización de los productos por parte de los consumidores.

Además, juegan un importante papel en el **mantenimiento industrial**, permitiendo la eliminación de stocks gracias a la posibilidad de fabricar únicamente la pieza que es necesaria en un momento dado (como, por ejemplo, sustitución de piezas de barcos en alta mar).

MATERIALES INTELIGENTES

²⁶ Mehrabi, Mostafa G.; Ulsoy, A. Galip; Koren, Yoram. *Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing*. Journal of intelligent manufacturing, 2000, vol. 11, no 4, p. 403-419.

²⁷ Rapid Manufacturing of Metallic Objects. K.P. Karunakaran, A. Bernard, S. Suryakumar, L. Dembinski,

Entre los retos centrales definidos para la industria 4.0 se encuentra el **desarrollo e implantación de materiales avanzados** en la fábrica del futuro y en los procesos de fabricación del futuro²⁸. Al igual que ocurre en la actualidad con la industria tradicional, los materiales avanzados suponen una tecnología habilitadora transversal con impacto en una enorme pluralidad de sectores industriales. Los materiales adaptados a la Industria 4.0 deben aportar nuevas funcionalidades con respecto a los materiales utilizados en la fábrica tradicional, pero además deben ser materiales inteligentes, los cuales mediante la incorporación de elementos tales como sensores, procesadores, actuadores, etc. serán capaces de monitorizar o incluso actuar frente a ciertos estímulos o eventos, **uniendo así el mundo físico con el digital**.

De forma paralela a la transformación de los procesos de fabricación hacia la Industria 4.0, los materiales inteligentes deben aportar información de valor sobre la propia calidad de los procesos productivos, como una vía más para controlar los aspectos más críticos que afectan a los mismos. De esta forma se contribuye a lograr un uso más eficiente y sostenible de los recursos y de las materias primas y a reducir los tiempos de producción, haciendo los procesos aún más competitivos.

Para el desarrollo de este tipo de materiales es necesario adoptar estrategias tecnológicas y de fabricación novedosas. Estas estrategias incluyen la **nanotecnología** que permite la aditivación de materiales convencionales para la obtención de nuevas funcionalidades o funcionalidades expandidas, así como para la sensorización integrada²⁹; **los materiales de cambio de fase** (*Phase Change Materials*) que son utilizados para estrategias de calentamiento/refrigeración controlada e inteligente³⁰; los **biomateriales** que se alinean con los requisitos de sostenibilidad perseguidos por la Industria 4.0, o las aleaciones y polímeros con memoria de forma entre otros; la **modificación láser** para personalización y funcionalización robotizada enfocada a la customización masiva, o el uso de tecnología de **modificación de superficies por plasma**³¹.

FABRICACIÓN SOSTENIBLE

El nuevo paradigma digital deja atrás la industria poco sensible al impacto generado en su entorno, para dar paso a una industria integrada en él. Por ello, la sostenibilidad se enfoca sobre los siguientes desafíos:

- **Sostenibilidad económica** de la fabricación mediante la implementación de plantas reconfigurables, adaptativas y escalables capaces de llevar a cabo una fabricación en lotes cortos con una amplia gama de referencia de productos, de una manera eficiente en coste – fabricación flexible e inteligente—.
- **Sostenibilidad social**: Integrando y complementando las habilidades del operario con las tecnologías. El operario juega un papel central en el modelo productivo –human in the manufacturing loop—.
- **Sostenibilidad ambiental** de la fabricación mediante aplicación de tecnologías que favorezcan la eficiencia energética y de recursos, reduciendo el volumen de desperdicios generados. En este contexto se plantean las siguientes líneas de actuación:

²⁸ Future Industry Congress, Decálogo de la Industria del Futuro, Barcelona, 2016. <http://futureindustrycongress.com/>

²⁹ Nanomaterials RoadMap 2015 – Overview on promising nanomaterials for industrial applications.

³⁰ R. Baetens, *et al.*, *Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review*, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 1361-1368.

³¹ The Textile Institute, *Smart textiles for medicine and healthcare: Materials, Systems and Applications - Trends In Smart Medical textiles*, 2007.

- **Sostenibilidad en materiales:** uso más eficiente de materias primas, menor generación de desperdicios, menor consumo de recursos, etc.
- **Sostenibilidad en procesos de producción:** procesos más eficientes que se adaptan en tiempo real a las condiciones del material procesado, procesos más flexibles y rápidos con menor consumo energético, etc.

3.2.3 Conectividad y análisis de datos

El paradigma de fabricación para alcanzar el nuevo concepto de fabricación basado en la Industria 4.0 se construye, en gran medida, gracias a la implementación de **sistemas ciberfísicos (CPS)** y del **internet de las cosas (IoT)**. En este contexto, la **sensorización avanzada** es una herramienta necesaria para alcanzar este nuevo concepto de fábrica del futuro.

SISTEMAS CIBERFÍSICOS

Tal y como se ha explicado anteriormente, el concepto de fábrica de futuro se encamina a dar respuesta a un nuevo paradigma de fabricación, basado en un modelo de **customización masiva**, que requiere de nuevos modelos de fabricación flexibles y altamente reconfigurables, capaces de reaccionar eficientemente en coste y calidad ante variaciones en la demanda. Este nuevo modelo de fabricación no sólo requiere de **sistemas reconfigurables interconectados**, sino también del desarrollo de un nuevo concepto de **Fabrica Cognitiva**³² que permita disponer de nuevos sistemas de control y planificación de procesos con capacidad de reacción ante situaciones impredecibles, extendiendo, de esta forma, el rango de operación de la fábrica de forma autónoma.

Bajo este concepto, la fábrica, mientras realiza sus tareas, estaría continuamente adquiriendo los modelos de los procesos de fabricación, las capacidades de las máquinas, piezas y sus propiedades. Estos modelos se actualizarían continuamente con el objetivo de adaptarse a cambios en el entorno y se usarían en **parametrizaciones y optimizaciones del proceso**³³. Esto implica equipar a la planta con percepción, aprendizaje, razonamiento y capacidades de gestión³⁴.

Bajo este concepto, una máquina inteligente sería capaz de aprender de las tareas realizadas previamente y, por tanto, sería capaz de adaptarse a nuevos productos de manera más sencilla, lo que permitiría afrontar la fabricación de productos individualizados de forma competitiva. Esta capacidad de aprendizaje no será 100% autónoma, si no que tendrá también en cuenta las capacidades cognitivas de los operarios, capaces de reaccionar más fácilmente ante situaciones no predecibles y/o sin información detallada.

³² Bannat, Alexander, et al. *Artificial cognition in production systems*. IEEE Transactions on automation science and engineering, 2011, vol. 8, no 1, p. 148-174.

³³ F. Stulp and M. Beetz, *Optimized execution of action chains using learned performance models of abstract actions*, in Proc. 19th Int. Joint Conf. Artif. Intell., L. P. Kaelbling, Ed., Edinburgh, Scotland, 2005.

³⁴ M. Zaeh, C. Lau, M. Wiesbeck, M. Ostgathe, and W. Vogl, *Towards the cognitive factory*, in Int. Conf. Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), Toronto, Canada, Jul. 2007.

Este desarrollo está íntimamente ligado al desarrollo de **sistemas de sensorización y percepción, control, integración y cooperación entre máquinas**. Esto permitirá disponer de un modelo de fabricación inteligente capaz de:

- Adaptarse a cambios en el proceso productivo, bien a través de la reconfiguración autónoma del proceso de control, bien a través de un procedimiento centrado en la experiencia del operario de la línea.
- Extracción, gracias a una sensorización del proceso y/o parámetros de la máquina, de las reglas de conocimiento y control que gobiernan el proceso de fabricación.
- Dotar al sistema de gestión de la fábrica de información de diagnóstico referente a la calidad del proceso productivo (Fabricación encaminada a cero-defectos).

BIG DATA

La **monitorización de recursos y procesos** es una práctica cada vez más común entre las empresas y organizaciones de diversa naturaleza, que ven la necesidad de recopilar, almacenar y analizar datos procedentes de los diferentes sistemas y fuentes heterogéneas que conforman su ecosistema de trabajo. Este volumen de información generado puede, sin embargo, alcanzar cantidades considerables (gigabytes, terabytes...) surgiendo de esta manera la necesidad de emplear dispositivos, aplicaciones y servicios capaces de indexar y procesar todo este flujo de datos de manera eficiente y segura.

Para ello, se detallarán técnicas Big Data para el **procesamiento masivo de datos** y la **transmisión segura de información**, así como técnicas de **inteligencia artificial y machine learning** para identificar patrones de fallo y avería de las máquinas, y control de los procesos de fabricación. Toda esta información se obtendrá de los diversos tipos de sensores, actuadores, maquinaria y dispositivos desplegados en la planta de producción y se procesará con los algoritmos correspondientes en una plataforma Big Data desplegada en la nube.

Este estudio tiene interés desde dos puntos de vista:

- Análisis de la calidad de los procesos de fabricación
- Control de la fiabilidad de los equipos de producción

INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Con el objetivo de unificar y gestionar toda la información, se hace necesario disponer de una arquitectura de comunicaciones que soporte esta flexibilidad derivada de una fabricación personalizada, permitiendo la obtención de datos de un conjunto de fuentes de información distribuidas (productos, robótica, sensórica, máquinas) según se ha expuesto previamente. Esta **arquitectura flexible de integración de datos y dispositivos** basada en el *Internet de las cosas* (IoT), para la gestión de la información en planta, supone tres ventajas principales respecto a esquemas más tradicionales:

- Se consigue que la información obtenida y utilizada por los actores se independice de los medios físicos y protocolos empleados para transmitirla, con lo que se dota al sistema de una **mayor flexibilidad** y se facilita la creación de herramientas de control y visualización que no estén atadas

a dispositivos o ubicaciones físicas, sino que pueden ser utilizadas desde diferentes puestos dentro del esquema organizativo de la empresa (dirección, planta, almacén, etc.).

- Se facilita la **interoperabilidad** entre los diversos actores que forman parte de los procesos de producción. Así, es posible una mayor y más rápida integración entre dispositivos legacy (ya desplegados previamente en la empresa) y nuevos desarrollos o equipamiento.
- Se introducen **nuevas fuentes de información** de las que previamente no se disponían datos al dotar de inteligencia y capacidades de comunicación a actores de los que previamente no se disponía de información, como puede ser el caso de un producto a través de la línea de producción.

CLOUD COMPUTING

Garantizar la disponibilidad de los procesos que controlan la producción dentro de la fábrica es de vital importancia para que los servicios críticos estén siempre funcionando correctamente. Para que ello sea posible es necesario garantizar su instalación sobre **sistemas resilientes**. El paradigma cloud, aporta eficiencia, *time-to-value*, elasticidad y alta disponibilidad para los servicios desplegados en la fábrica.

Otra innovación imprescindible se deriva de la utilización de una mayor cantidad de datos, generados por la propia fábrica, que serán almacenados y procesados para poder dar soporte a decisiones. En un escenario en el que, por ejemplo, los datos crecen exponencialmente y a ráfagas, es necesario disponer de una **infraestructura IT dinámica**. Las instalaciones propias pueden quedarse limitadas (**recursos on-premise**) en momentos puntuales.

La adopción de **cloud público** (Amazon Web Services, Google Cloud Platform, Windows Azure) ayuda a mitigar este problema. Una gestión de **cloud híbrido**, es decir, la unión de los recursos IT de cloud público a los recursos IT on-premise (en la propia fábrica) permitirá disponer en todo momento de la infraestructura física de almacenamiento, procesado y acceso a un volumen elevado de datos de forma ágil. El avance del estado del arte en tecnología cloud permite el uso de proveedores externos de forma transparente para la fábrica en función de las necesidades o coste de cada momento.

SAFETY AND SECURITY

Internet of Things (IoT) es un concepto que agrupa a una gran cantidad de dispositivos digitales, personas, servicios y objetos con el potencial para conectarse, interactuar e intercambiar información sobre sí mismos y su entorno de forma continua. Debido a la gran variedad de aspectos que engloba, la **seguridad para IoT** es un problema crítico que debe ser resuelto para permitir el uso de muchas aplicaciones. En concreto, este problema cobra una mayor importancia en un entorno industrial en el que se debe garantizar en todo momento la fiabilidad de la información a la vez que su confidencialidad y privacidad.

Waidner et al.³⁵ comentan cómo el cambio de paradigma de lo que ellos llaman Industria 3.0 (es decir, el paradigma actual) a la cuarta revolución industrial o Industria 4.0 supondrá varios impactos a nivel de

³⁵ M. Waidner and M. Kasper, "Security in industrie 4.0 - challenges and solutions for the fourth industrial revolution," 2016 DESIGN, AUTOMATION & TEST IN EUROPE CONFERENCE & EXHIBITION (DATE), Dresden, 2016, pp. 1303-1308.

seguridad, requiriendo el desarrollo de **nuevos mecanismos de protección**. Destacan como, aunque muchos de los conocimientos en materia de seguridad que se emplean para proteger un sistema TI tradicional se pueden transferir a los nuevos sistemas TI de producción, se tienen que tener en cuenta nuevos aspectos como las **operaciones en tiempo real**, la **privacidad de los trabajadores** tras aplicar técnicas Big Data sobre los datos de producción y **garantizar la fiabilidad de los sistemas** para, entre otras cosas, proteger de daños a dichos trabajadores en caso de existir algún problema.

La compartición de información entre objetos inteligentes y sistemas ciberfísicos se encuentra en la actualidad en una **etapa inmadura** en la que todavía son muchos los retos por resolver. Las políticas de seguridad para objetos inteligentes les asignan un único propietario con control y autoridad completos sobre ellos (p.ej. un jefe de línea o de producción que es el único que tiene acceso a los datos de todos los dispositivos relevantes), algo que no es aplicable en un entorno en el que se plantean actividades colaborativas entre dispositivos, personal y diversas entidades como es el caso de un entorno de Industria 4.0. En los modelos actuales, la compartición de información presenta problemáticas tanto a nivel de privacidad como de protección de datos desde el punto de vista del propietario del dispositivo, por ejemplo, que puede monitorizar continuamente las actividades de otros usuarios o dispositivos. Por el contrario, los sistemas ciberfísicos podrían exponer credenciales u otro tipo de información crítica si su seguridad es quebrantada. Estos problemas cobran todavía una mayor importancia cuando los dispositivos involucrados (sistemas ciberfísicos) se implementan en dispositivos con un número de recursos limitados (capacidad de computación, consumo, uso de ancho de banda, etc.). Por otro lado, este tipo de medidas cobran también una relevancia importante, en especial la **gestión de permisos de acceso a la información**, al introducir la integración de los diversos actores de la cadena de valor.

3.2.4 Materiales y fabricación inteligente

LOGÍSTICA AVANZADA

Con el concepto Smart Factory, los sistemas de producción se alejarán de las plantas de fabricación centralizadas y en su lugar se crearán redes de unidades de fabricación interconectadas. Esto hará que se muevan materias primas y productos semielaborados de forma mucho más frecuente. La Industria 4.0 añadirá una mayor complejidad a las cadenas de suministro que tendrán que ser capaces de evolucionar en igual medida. Pero las mismas tecnologías que permiten hablar de Industria 4.0 están revolucionando también la Logística, pudiendo hablar de la Logística 4.0.

La Logística evolucionará hacia sistemas cada vez más automatizados. El transporte de mercancía con **vehículos autotripulados** será una realidad en las próximas décadas.

- Los **vehículos autónomos** para transporte por carretera serán sin duda una realidad mucho antes de lo que pensamos. Actualmente el proyecto Google Car dispone de una flota de coches de dos plazas sin conductor para el transporte de pasajeros, que ya están funcionando a modo de prueba en calles reales de Estados Unidos, gracias a los sistemas de visión artificial, la geolocalización y la inteligencia artificial.

Los **drones** son otra de las apuestas de las empresas logísticas para un futuro próximo. La posibilidad de transportar por aire pequeñas cargas de forma eficiente y económica ya ha dado pie a varios proyectos para distribuir mercancía directamente del almacén al consumidor final.

- Aunque las limitaciones de los drones actuales son su autonomía y su limitada capacidad de carga, varias universidades del mundo están investigando en la **robótica de enjambre** aplicada a los drones. De esta forma, varios drones podrían volar trabajando cooperativamente para transportar cargas mayores, para proporcionar redundancia y para realizar maniobras complejas que un solo dron no podría llevar a cabo.

SIMULACIÓN Y VIRTUALIZACIÓN DE PROCESOS

La simulación de procesos de fabricación continuos y discretos, la predicción del comportamiento de los sistemas y procesos de fabricación y el diseño de productos a través de maquetas virtuales y métodos de optimización integrados en las cadenas de diseño y producción son factores clave para el futuro del sector manufacturero en Europa. Los avances en tecnologías TIC en términos de poder de computación de alto rendimiento y elevada velocidad de comunicación, junto con nuevas tecnologías de sensorización avanzadas que permiten generar y explotar Big Data, la **convergencia del mundo real y del mundo virtual en sistemas ciberfísicos** (CPS) y el desarrollo de nuevas tecnologías de interacción/visualización están liderando una nueva generación de herramientas y métodos de soporte a la decisión que permiten la optimización y reconfiguración de los procesos productivos.

La industrialización virtual implica:

- **Modelado de la información:** Cada uno de los niveles existentes dentro de una planta de producción representa la información en base a sus propios criterios, muchas veces de carácter cerrado dependiendo del proveedor de los servicios, comunicaciones o maquinaria. Esto provoca el establecimiento de un marco común para la representación de la información con el objetivo de crear una representación virtual homogénea.
- **Generación del gemelo virtual:** Para disponer de información acerca de lo que está pasando a lo largo de toda la cadena de producción, o incluso acerca de qué elementos conforman un producto, y todos los estados que han seguido, es necesario crear el Gemelo Virtual (Digital Twin). Se trata de un modelo de almacenamiento de información que permite extraer, de forma rápida, vistas de la información relacionada con el estado actual de cada elemento de la fábrica (máquina, herramienta, operario, etc.), su estado pasado e incluso futuro, el estado de cada producto en fabricación, e incluso toda la historia de un producto cuando ya ha sido comercializado (por ejemplo, disponer de la información de todos los procesos que han pasado cada una de las piezas de un coche, simplemente a partir del número de bastidor del vehículo).
- **Simulación y optimización de procesos:** desarrollo de herramientas de simulación que predecirán el comportamiento de la planta de fabricación a partir de toda la información generada y procesada bajo diferentes suposiciones para obtener estadísticas de utilidad del comportamiento y el uso de los recursos (tiempos de servicio, utilización de máquinas y personal, etc.) con el objetivo de mejorar y optimizar la gestión y planificación de la producción.

Se plantean dos modos fundamentales de operación de los simuladores de eventos discretos:

1. **Predicción:** El simulador de eventos se usa para realizar predicciones acerca de cómo se comportará la planta y los diferentes elementos y componentes que la integran durante un intervalo de tiempo elegido por el usuario en la interfaz de configuración. El simulador emplea

muestras con información real relacionada con el estado actual de ocupación de cada uno de los nodos del sistema (tomando el ejemplo de una fábrica y una línea de producción; máquinas, cintas transportadoras, autómatas, actuadores, etc.) como punto de partida para simular el flujo de procesos durante un tiempo futuro. De este modo, el usuario podrá detectar posibles cuellos de botella en alguno de los procesos o desviaciones atípicas.

2. **Optimización:** El simulador de eventos permite probar diferentes configuraciones en los procesos o bloques que integran e interactúan en el sistema de fabricación, pudiendo detectar de esta manera posibles optimizaciones en la asignación de recursos o en los tiempos de servicio a los usuarios.

La **realidad aumentada** permite la superimpresión de información virtual –planos, modelos, instrucciones— en un entorno real. Es una tecnología que ha experimentado un crecimiento muy rápido en los últimos años. A nivel industrial, durante los últimos años, varios proyectos^{36,37,38} han estudiado el uso de realidad aumentada en tareas de visualización, mantenimiento, medición e información sobre la ejecución de tareas en un entorno industrial.

El uso de sistemas de realidad aumentada, centrados en las habilidades del operario, permitirá mejorar la flexibilidad, competitividad y agilidad en la fabricación. Se busca equipar a los trabajadores de nuevas **interfaces multimodales**, intuitivas, con flujos de trabajo basados en la experiencia de los usuarios, con el objetivo de planificar, programar y operar, de forma segura, el flujo de producción. En este contexto, el uso de **tecnologías TIC móviles y ubicuas** permitirá a los trabajadores controlar remotamente y supervisar las operaciones de fabricación, mejorando la productividad y compensando limitaciones derivadas del envejecimiento o de la inexperiencia de los operarios.

³⁶ Weibel, Sabine, et al. *Identifying differences between CAD and physical mock-ups using AR*. En Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2007. p. 1-2.

³⁷ Schattel, David, et al. *On-site augmented collaborative architecture visualization*. En Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2014 IEEE International Symposium on. IEEE, 2014. p. 369-370.

³⁸ <http://facts4workers.eu/project/goals/>

3.3 ESTRATEGIA DE LA UNIÓN EUROPEA

3.3.1 Política Industrial Europea

La política industrial es de **carácter horizontal** y tiene por fin instaurar unas condiciones marco que favorezcan la **competitividad industrial**. Asimismo, está bien **integrada en otras políticas de la UE**, como las relacionadas con el comercio, el mercado interior, la investigación y la innovación, el empleo, la protección del medio ambiente y la salud pública. La política industrial de la UE está específicamente encaminada a (artículo 173 del TFUE):

- Acelerar la adaptación de la industria a los cambios estructurales.
- Fomentar un entorno favorable a la iniciativa y al desarrollo de las empresas en el conjunto de la Unión y, en particular, de las pequeñas y medianas empresas.
- Promover un entorno favorable a la cooperación entre empresas.
- Favorecer un mejor aprovechamiento del potencial industrial de las políticas de innovación, de investigación y de desarrollo tecnológico.

La Unión Europea ha diseñado e impulsado en las últimas décadas iniciativas de política industrial con el fin de aumentar la capacidad competitiva de la industria comunitaria, como firme impulsora del **crecimiento sostenible** y el **aumento del empleo**. A fin de asegurar unas mejores condiciones marco para la industria de la UE se han adoptado distintas estrategias, la más reciente de las cuales se plasma en la Comunicación **“Por un renacimiento industrial europeo”**, de enero de 2014 (COM(2014)0014), cuyo objetivo final se centra en invertir la tendencia del declive industrial y alcanzar el objetivo de que las actividades manufactureras concentran el **20% del PIB de la Unión Europea** en el año 2020.

En concreto las **propuestas de la CE** para apoyar a la industria en los **grandes desafíos** a los que se enfrenta se centran en:

- Un mercado único europeo integrado que sean un lugar atractivo para las empresas y la producción.
- Modernización industrial, invertir en la innovación, las nuevas tecnologías, los factores de producción y las capacidades.
- Las PYMES y el espíritu empresarial.
- La internacionalización de las empresas de la UE.

3.3.2 Reindustrialización

El Comité Económico y Social Europeo (CESE), según su comunicado del 12 de septiembre de 2014, está convencido de que, para frenar el declive económico de la Unión, es preciso **relanzar la industria** y, en particular, la **manufacturera**, que es el punto fuerte de la estructura productiva.

En los últimos años, se ha asistido a una progresiva **deslocalización de las actividades manufactureras** de Europa a terceros países y a una **progresiva desindustrialización**, lo cual ha conducido a una reducción de

la contribución al PIB europeo de la industria manufacturera, que ha pasado en poquísimos años del 20 % al 15 %.

La deslocalización, es decir, la decisión de trasladar la producción a países extranjeros, ha sido, al menos desde la década de los setenta en adelante, una de las estrategias a las que más han recurrido las empresas manufactureras de los principales países industrializados occidentales. A menudo, esta elección en materia de gestión ha ido unida a la **externalización de actividades manufactureras** (el denominado outsourcing), contribuyendo a la creación de fenómenos económicos como la **“fábrica mundial”** (global factory), las **“cadenas de suministro internacionales”** (international supply chain).

El proceso de “desplazar riqueza” de los países de la OCDE a los países de renta media grandes y muy poblados ha estado liderado en gran parte por **China e India**, pero también están contribuyendo a dicho proceso otros países, como Brasil y Sudáfrica. En el mundo, **los 20 principales países productores**, incluidos Estados Unidos y la UE (Alemania, Italia, Francia, Reino Unido, España y Países Bajos), **han registrado descensos muy significativos** en su actividad industrial manufacturera desde 1990. En Estados Unidos, el empleo privado en la industria manufacturera se ha desplomado desde 1987 del 21% a menos del 11%.

Se considera fundamental una **política industrial integrada** y con objetivos más claros a escala europea, nacional, regional y local, que sea capaz de **atraer inversiones** en todos los sectores de la industria manufacturera (alta y baja tecnología).

En este contexto, las medidas que promuevan la **repatriación de actividades productivas** que hayan sido trasladadas pueden contribuir a alcanzar los objetivos propuestos.

Las empresas estadounidenses están repatriando de forma progresiva su producción. Este cambio refleja la pérdida de la ventaja competitiva de China como centro de producción de bajo coste tras años de rápido crecimiento de los salarios y otra serie de factores. Uno de los elementos que ha favorecido la repatriación ha sido la reducción de los precios de la energía en los Estados Unidos.

3.3.3 Digitalización de la industria europea

La Unión Europea ha diseñado e impulsado en las últimas décadas iniciativas de política industrial con el fin de aumentar la capacidad competitiva de la industria comunitaria, como firme impulsor del crecimiento sostenible y el aumento del empleo.

Una de las últimas iniciativas que acaba de impulsar la Unión Europea es la digitalización de la industria **“Digitising European Industry: reaping the full benefits of a digital single market”**, de abril de 2016 (COM(2016) 180), cuyo objetivo es reforzar la competitividad de la Unión Europea en **tecnologías digitales** y asegurar que toda la industria en Europa, **de cualquier sector e independientemente de su tamaño y ubicación**, se pueda beneficiar de las innovaciones digitales. Está prevista una **inversión de más de 50 billones de euros en la UE** entorno a la digitalización en los próximos 5 años (COM(2016) 180).

De este modo, basado en las distintas iniciativas nacionales para la digitalización de la industria y complementando a estas estrategias, actualmente coexisten **30 iniciativas nacionales y regionales** entorno a la digitalización de la industria.

Cabe destacar entre ellas, iniciativas como “Industry 4.0” en Alemania, “Smart Industry” en Holanda y Eslovaquia, “Fabbrica Intelligente” en Italia o la “Nouvelle France Industrielle” en Francia , que se explican en mayor detalle en el apartado 3.4.

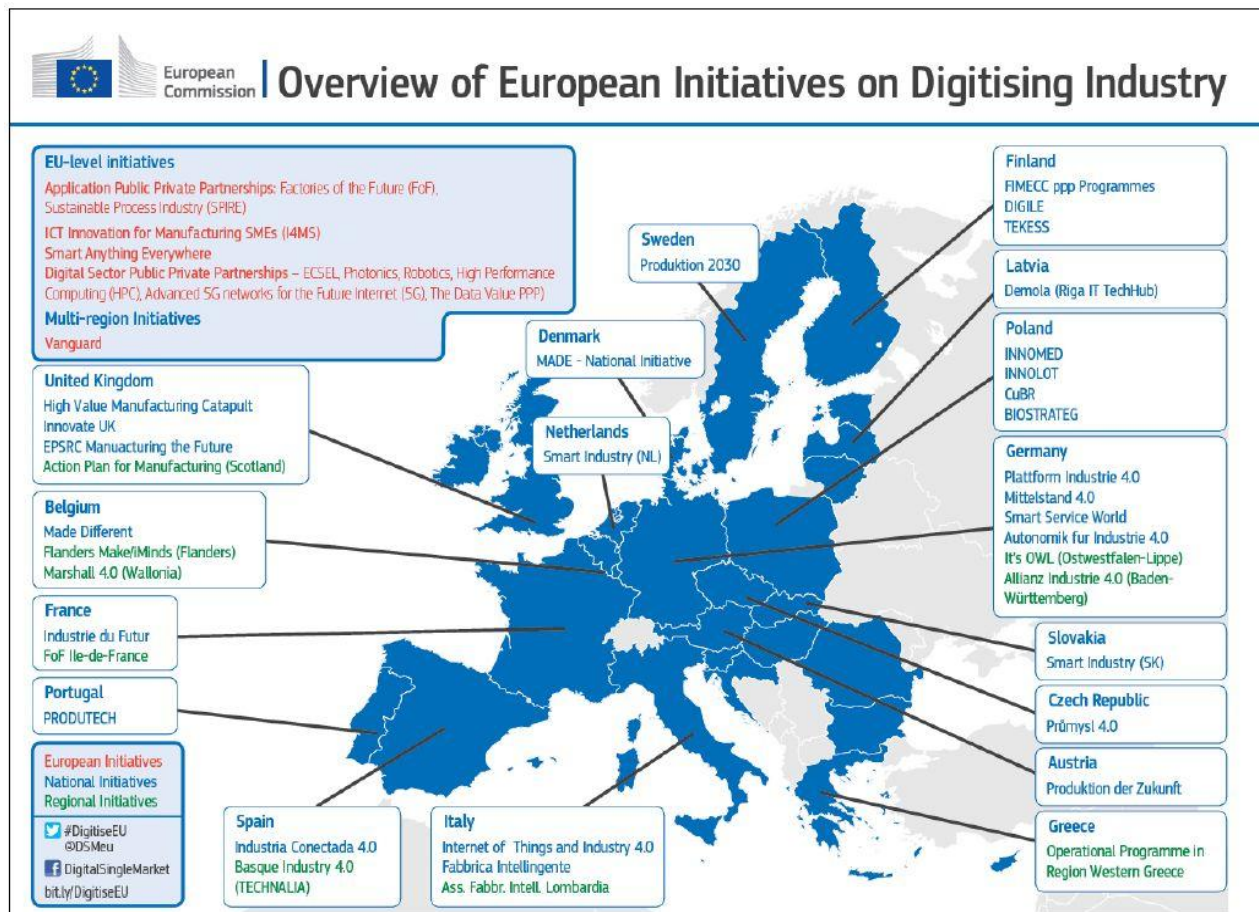


ILUSTRACIÓN 20: DIGITISING EUROPEAN INDUSTRY. FUENTE: DIGITAL SINGLE MARKET. EUROPEAN COMMISSION

Los Estados Miembros han priorizado la Industria 4.0 en sus planes estratégicos de futuro como un elemento clave para el crecimiento económico. En la siguiente figura se muestran algunas de las principales iniciativas y las inversiones previstas.

Issuer	Program [content, funding volume]		
 BMBF ³⁹	Future Project Industry 4.0	Support German industry for future challenges	EUR 200 m
 Fund for Digital Society	Future Inventions	Monetary support for R&D on embedded systems, big data and integrated objects	EUR 150 m
 University of Warwick	Warwick Manufacturing Group	Different research initiatives focused on automotive & ICT	EUR 229 m
 Innovate UK	Catapult Centers	Double manufacturing contribution to GDP	EUR 370 m
 Cleantech Vlaanderen	MIP	Innovative cleantech and transition economy projects	n.a
 Made different	Factories of the Future 4.0	Support the development of "Factories of the future"	EUR 8 m
 CFI	Intelligent factories clusters	Structure Italian manufacturing community to develop & leverage research, with 4 projects	EUR 41 m
 European Commission	Factories of the Future	Financial resources for Research and Innovation dedicated to advanced manufacturing in the EU	EUR 1.2 bn
	SPARC Robotics	Support from EU to the robotics industry from R&D to production (part of Horizon 2020)	EUR 700 m
	Digital Convergence	Foster the digital convergence throughout the EU (part of the European regional development fund ERDF)	EUR 10 m
	Future Internet Technology	Advance future internet usage across EU countries	EUR 300 m

**ILUSTRACIÓN 21: PRINCIPALES INICIATIVAS QUE APOYAN LA FABRICACIÓN AVANZADA Y LAS TIC EN EUROPA.
FUENTE: EUROPEAN COMMISSION, ROLAN BERGER**

Como parte de la iniciativa para impulsar la economía digital, la UE ha apoyado desde 2008 hasta 2014 acciones centradas en el uso inteligente de las TICs y la integración de las Pymes en las cadenas de valor digitales, con foco especialmente en el mercado global. Para el periodo 2014-2020, el Programa Marco H2020 a través del pilar "liderazgo industrial" ha comprometido cerca de 80.000 millones de euros para la investigación y la innovación, incluyendo el apoyo al desarrollo de las KET (Key Enabling Technologies)³⁹.

3.3.4 Programa Marco de I+D (Horizonte 2020)

H2020 es el **programa marco europeo** que financia proyectos **de investigación e innovación** de diversas áreas temáticas en el contexto europeo, contando con **casi 80.000M€** para el periodo **2014-2020**. El programa se estructura en torno a **3 pilares** con los que se busca contribuir a abordar los principales **retos sociales**, promover el **liderazgo industrial** en Europa y reforzar la **excelencia** de su base **científica**.

Los **objetivos estratégicos** del programa son los siguientes:

- Crear una ciencia de excelencia, que permita reforzar la posición de la UE en el panorama científico mundial.
- Desarrollar tecnologías y sus aplicaciones para mejorar la competitividad europea.
- Investigar acerca de las grandes cuestiones que afecten a los ciudadanos europeos.

³⁹ European Parliament, "Digitalisation for productivity and growth", 2015.

CIENCIA EXCELENTE	LIDERAZGO INDUSTRIAL	RETOS SOCIALES
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Consejo Europeo de Investigación (ERC). <input type="checkbox"/> Tecnologías Futuras y Emergentes (FET). <input type="checkbox"/> Acciones Marie Sklodowska-Curie (MSCA). <input type="checkbox"/> Infraestructuras de Investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Liderazgo en Tecnologías Facilitadoras e industriales: Tecnologías de la información y la Comunicación (TICs), Nanotecnología, Materiales Avanzados, Fabricación y transformación avanzadas, Biotecnología, Espacio. <input type="checkbox"/> Acceso a la financiación de riesgo. <input type="checkbox"/> Innovación en las Pymes. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Salud, cambio demográfico y bienestar <input type="checkbox"/> Seguridad alimentaria, agricultura y silvicultura sostenibles, investigación marina, marítima y de aguas interiores, y bioeconomía. <input type="checkbox"/> Energía segura, limpia y eficiente. <input type="checkbox"/> Transporte inteligente, ecológico e integrado. <input type="checkbox"/> Acción por el clima, medio ambiente, eficiencia de recursos y materias primas. <input type="checkbox"/> Europa en un mundo cambiante: sociedades inclusivas, innovadoras y reflexivas. <input type="checkbox"/> Sociedades seguras: proteger la libertad y la seguridad de Europa y sus ciudadanos.

TABLA 1: ESTRUCTURA DEL PROGRAMA H2020. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Analizando las diferentes convocatorias de ayudas dirigidas a la fabricación, se pone de relevancia el papel que la Industria 4.0 tiene para la Comisión Europea.

Así, dentro del pilar **“Liderazgo Industrial”**, se incluye una línea específica dedicada a la **fabricación y transformación avanzada**, cuyo objetivo es la transformación de las empresas de fabricación y los sistemas y procesos de hoy en día, mediante el aprovechamiento de las tecnologías clave, para lograr un mayor conocimiento, sostenibilidad, eficiencia energética y de recursos de fabricación y procesamiento, dando lugar a productos, procesos y servicios más innovadores.

Por otra parte, también se incluye dentro de las denominadas iniciativas **“Cross-Cutting”** un eje específico dirigido a las **“Fábricas del Futuro – FoF”**. Concretamente en esta línea, para el **periodo 2016-2017** está prevista la publicación de **13 Calls** con un presupuesto total de **278M€**.

El programa H2020 también incluye dentro del pilar **“Retos Sociales”** y para cada uno de los sectores, convocatorias relacionadas con los procesos de fabricación.

Por último, cabe destacar otras iniciativas enmarcadas dentro del programa H2020 como las **KIC (Knowledge Innovation Communities)**. Las KIC son consorcios público-privados integrados por centros de investigación, empresas y centros de educación superior europeos que trabajan conjuntamente para desarrollar proyectos innovadores. Actualmente se han puesto en marcha 6 KICs en los ámbitos de mitigación del cambio climático, TICs, energía sostenible, materias primas e innovación para una vida saludable y un envejecimiento activo. En **2016**, se lanzó una nueva KIC en el ámbito de la **“Fabricación de alto valor añadido”**. Estas comunidades cobra especial relevancia debido a que cada KIC está formada por

una red transnacional europea de entre cuatro y seis nodos en los que participan organizaciones de los tres ámbitos del triángulo del conocimiento —educación, investigación e innovación—, que representan toda la cadena de valor.

3.4 PLATAFORMAS Y ASOCIACIONES DE REFERENCIA

Las Plataformas Tecnológicas y las asociaciones tanto de ámbito nacional como europeo suponen **puntos de referencia para la cooperación y el avance de las tecnologías**, respondiendo de manera coordinada a los nuevos retos a través de la **colaboración entre empresas, entidades de investigación e instituciones públicas y privadas** relacionadas.

Las Plataformas Tecnológicas y asociaciones son concebidas como foros que agrupan a todos los **agentes clave en torno a un campo determinado**, aportando una **visión común e integradora**, cuya misión es la definición de una agenda estratégica de investigación y respuesta ante los nuevos retos de su área a medio y largo plazo.

A continuación, se resumen las principales iniciativas, plataformas y asociaciones europeas, comprometidas con el impulso de la I+D+i en el **ámbito de procesos de fabricación avanzados** y que se enmarcan en el Programa Marco Europeo de I+D (Horizonte 2020).

3.4.1 MANUFUTURE

www.manufuture.org



La misión de esta plataforma tecnológica es proponer, desarrollar e implantar una estrategia basada en la I+D, capaz de acelerar la transformación de la Industria hacia productos, procesos y servicios de mayor valor añadido y asegurando empleo cualificado de alta calidad, mejorando de este modo la competitividad a nivel mundial de la industria europea. A través de esta plataforma se lanzaron iniciativas como el consorcio público-privado “Factories of the Future (PPP-FoF)” y la Asociación EFFRA.

3.4.2 FoF-2



Iniciativa dirigida a ayudar a los fabricantes comunitarios, especialmente a las pequeñas y medianas empresas, a adaptarse a las presiones competitivas mundiales mejorando su conocimiento y uso de las

tecnologías del futuro. Su objetivo es ayudar a la Industria europea a satisfacer la creciente demanda mundial de productos más ecológicos, personalizados y de alta calidad a través de la necesaria transición hacia una industria basada en menos residuos y uso eficiente de los recursos.

El presupuesto previsto para esta iniciativa dentro del Programa H2020 es de 1.150 millones de euros durante el periodo 2014-2020.

Esta iniciativa da continuidad a la asociación público-privada Factories of the Future - FoF) puesta en marcha en el VII Programa Marco. Esta PPP (Public-Private Partnership) guarda relación también con las Tecnologías de la Información y comunicación.

3.4.3 EFFRA – European Factories of the Future Research Association

www.effra.eu



EFFRA es una asociación impulsada por la industria que promueve el desarrollo de nuevas e innovadoras tecnologías de producción. La asociación fue constituida por la Plataforma Tecnológica Manufuture y las principales asociaciones privadas del sector. EFFRA es el representante oficial de la parte privada del partenariado público-privado FoF.

La asociación cuenta con amplio número de miembros tanto a nivel industrial (64 miembros), organismos de investigación (75 miembros) y asociaciones regionales (13 miembros). Desde su creación, se han lanzado 151 proyectos en Calls del Séptimo Programa Marco, y en H2020 ha permitido el lanzamiento de un total de 208 proyectos a través de la PPP-FoF, con la participación de alrededor de 1.200 organizaciones en toda Europa.

Su objetivo principal es promover la investigación en tecnologías de producción, de modo que se aumente la competitividad de las empresas europeas a través de la aplicación de un conjunto de prioridades de investigación en los siguientes campos: fabricación avanzada, fábricas digitales, virtuales y de recursos eficientes, fabricación centrada en el trabajador, etc.

En 2013 publicó su Roadmap estratégico para el periodo 2014-2020 en el que se identifican los principales retos y oportunidades y las tecnologías facilitadoras, y se incluyen 6 áreas prioritarias para lograr hacer frente a los retos identificados.

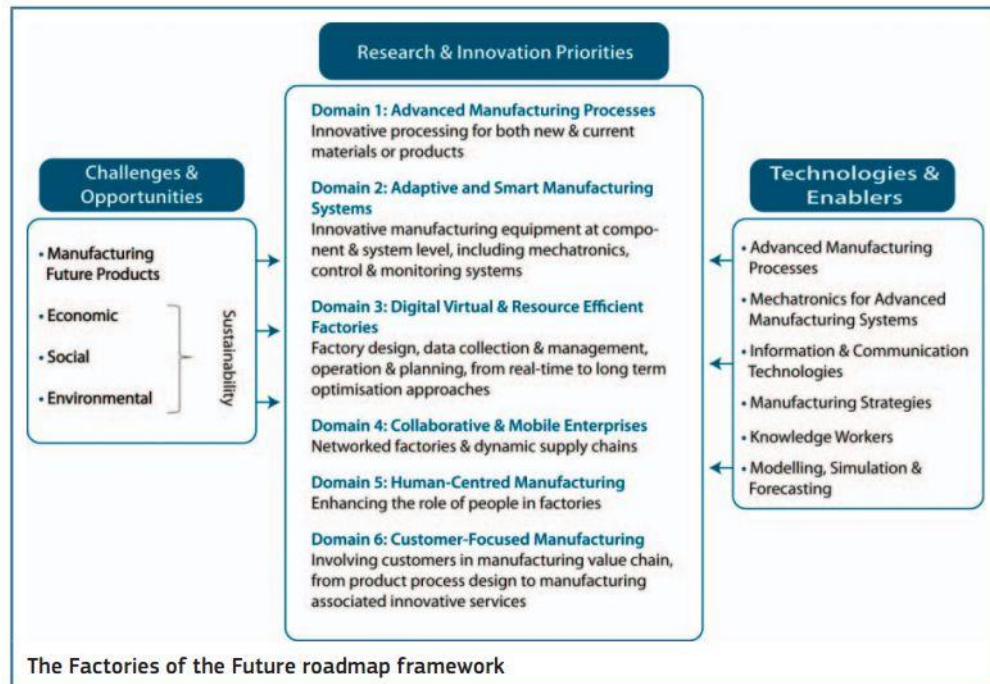


ILUSTRACIÓN 22: ÁREAS PRIORITARIAS IDENTIFICADAS EN EL ROADMAP ESTRATÉGICO DE EFFRA.

FUENTE: EFFRA ROADMAP

3.4.4 EUROBOTICS

<https://eu-robotics.net>



Asociación europea sin ánimo de lucro para todas las entidades europeas interesadas en robótica, que cuenta con un total de 250 socios, y cuya misión principal es colaborar con la Comisión Europea para desarrollar e implementar una estrategia y roadmap para la I+D+i en robótica en Europa. La asociación representa la parte privada del partenariado público SPARC.

Los principales objetivos de la asociación son:

- Fortalecer la competitividad y asegurar el liderazgo industrial de los fabricantes, proveedores y usuarios finales de los sistemas y servicios basados en la tecnología robótica.
- Conseguir el más amplio y mejor uso de las tecnologías y servicios en torno a la robótica en el sector profesional.
- La búsqueda de la excelencia científica en la robótica.

Actualmente euRobotics tiene 28 grupos de trabajo constituidos, de los cuales destacan: Inteligencia artificial y cognitiva en robótica, robótica industrial, interacción física hombre-robot, etc.

3.4.5 SPARC Robotics – the partnership for robotics in Europe

<http://sparc-robotics.eu>



SPARC es una Asociación público-privada que surge de la Plataforma Tecnológica Europea de Robótica (euRobotics) y cuya misión es impulsar la investigación y la innovación en robótica en Europa con el objetivo de asegurar la competitividad y el liderazgo industrial de los fabricantes, proveedores y usuarios de los sistemas y servicios basados en tecnología robótica, así como la excelencia científica en este campo.

La visión de la asociación es que la tecnología robótica será predominante en la próxima década, influyendo cada aspecto de los puestos de trabajo pero también del hogar. Los robots tienen el potencial de transformar el modo de vida y de trabajo, incrementando la eficiencia y la seguridad, mejorando a todos los niveles los servicios y creando empleo cualificado.

SPARC es uno de los programas con mayor financiación privada, cuenta con el apoyo de 700 millones de euros de la Comisión Europea para el periodo 2014-2020 y cerca del triple de esa cantidad como aportación de la industria europea.

En su hoja de ruta estratégica se identifican 7 mercados potenciales con aplicación de la robótica:

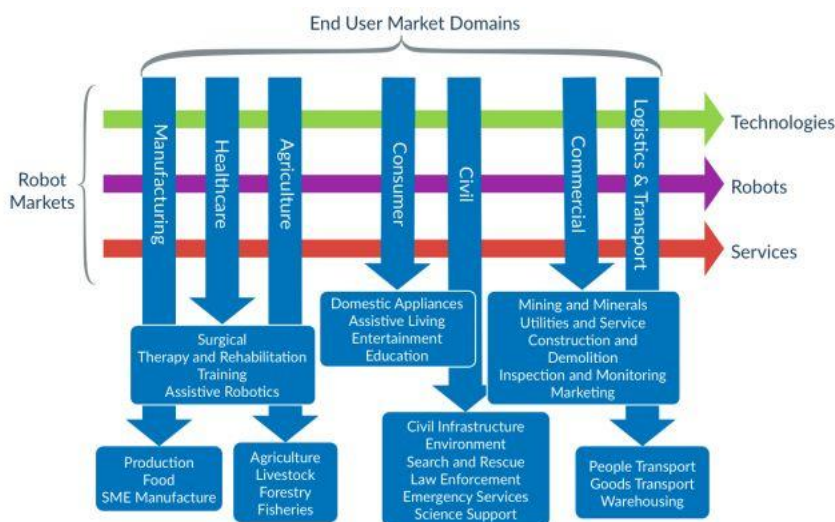


ILUSTRACIÓN 23: MERCADOS CLAVE DE APLICACIÓN DE LA ROBÓTICA. FUENTE: SPARC MULTI-ANNUAL ROADMAP

3.4.6 I4MS INITIATIVE – ICT Innovation for Manufacturing SMEs

<http://i4ms.eu/>



Para hacer llegar los beneficios de la innovación digital a todas las industrias, la Comisión está invirtiendo en la creación de “Hubs”, centros de competencia ubicados en universidades o centros de investigación cuyo objetivo es proveer a empresas, especialmente a las PYMES, de acceso a instalaciones científico-técnicas para la experimentación en torno a la innovación digital.

La iniciativa I4MS (ICT Innovation for Manufacturing SMEs) de la Comisión Europea inició su fase 1 en julio de 2013 y continuó con la fase 2 en 2015 con el objetivo de apoyar a las PYMEs y mid-caps del sector de la fabricación en tres aspectos:

- Proporcionar acceso a las competencias que pueden ayudar en la evaluación, la planificación y el dominio de la transformación digital.
- Proporcionar acceso a las redes de innovación gracias a un amplio espectro de competencias y ejemplos de buenas prácticas.
- Proporcionar apoyo financiero a las PYMEs y mid-caps para dominar la transformación digital.

La iniciativa se centra en 4 áreas tecnológicas que han sido identificadas como áreas clave para la transformación digital del sector manufacturero:

- Servicios de simulación basados en la nube con HPC (High power computing)
- Equipos basados en tecnología láser avanzada
- Sistemas de robótica industrial para las PYMEs
- Sistemas Cyberfísicos para producción de alta precisión y eficiencia

En la fase 1 de la iniciativa, se financiaron 7 proyectos que concluirán a finales de 2016, y en la fase 2, se aprobaron un total de 4 proyectos que empezaron en otoño de 2015. Se trata de proyectos que se articulan a través de apoyo financiero a terceras partes que ofrece el programa H2020 (la denominada “financiación en cascada”). Más de 20M€ de fondos fueron distribuidos a través de 9 “Open Calls” durante la primera fase, y se espera que 8,5M€ sean distribuidos en la fase 2 a través de las 8 “Open Call”.

3.4.7 SPIRE – Sustainable Process Industry through resource and energy efficiency

<https://www.spire2030.eu/>



SPIRE es una asociación público-privada dedicada a la innovación en eficiencia energética y de recursos impulsada por las industrias de procesos. El objetivo principal de SPIRE es abordar los siguientes tres desafíos europeos:

- Urgencia para crear crecimiento y aumentar la competitividad de Europa en un mercado global.
- Necesidad de rejuvenecer la industria procesadora europea que está en la base de la economía europea en términos de volumen de negocios, empleo y generación de tecnologías para todos los sectores industriales.
- Imperativo para reducir la ineficiencia de recursos y energía y el impacto ambiental de las actividades industriales.

La asociación cuenta con un amplio número de miembros entre los que destaca la industria (46 miembros) y centros e instituciones de investigación (59 miembros).

SPIRE se organiza en torno a 8 sectores industriales:



ILUSTRACIÓN 24: SECTORES EN LOS QUE SE ENFOCA SPIRE. FUENTE: SPIRE ROADMAP

3.4.8 5G-PPP

<https://5g-ppp.eu/>



5GPP es una asociación público-privada que surge como iniciativa de la Comisión Europea, la industria manufacturera, los operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios, PYMES e investigadores. El objetivo de la asociación es proveer soluciones, arquitecturas, tecnologías y estándares para las infraestructuras de nueva generación de comunicación de la próxima década.

El reto de la alianza es garantizar el liderazgo europeo en las áreas específicas en las que Europa es fuerte y en los nuevos mercados como las ciudades inteligentes, e-salud, transporte inteligente, la educación o en el área de entretenimiento.

3.4.9 AIOTI – Alliance for Internet of Things

www.aioti.org



La Comisión Europea ha lanzado, en el marco del congreso internacional Net Futures 2015, una alianza para la innovación en Internet de las Cosas (AIOTI). La AIOTI, entre otras actividades, dará soporte a la Comisión Europea en relación al futuro de la I+D+i en Internet de las Cosas y temáticas como estandarización y elaboración de recomendaciones en política sobre IoT, incluyendo la definición y diseño de pilotos para ser financiados en H2020 y el soporte para la constitución de consorcios intersectoriales.

Se han creado 11 grupos de trabajo, compuestos de forma inicial principalmente por grandes empresas, y abiertos a la inclusión de entidades que cubran toda la cadena de valor, considerando especialmente pymes y start-ups. Estos 11 grupos de trabajo son:

- WG 1: IoT European research cluster
- WG 2: Innovation Ecosystems
- WG 3: IoT Standardisation
- WG 4: Policy issues (trust, security, liability, privacy)
- WG 5: Smart living environments for ageing well (e.g. smart house)
- WG 6: Smart farming and food security
- WG 7: Wearables
- WG 8: Smart cities
- WG 9: Smart mobility (smart transport/smart vehicles/connected cars)
- WG 10: Smart environment (smart water management)
- WG 11: Smart manufacturing

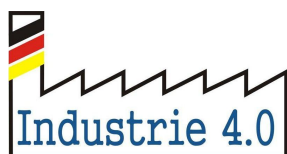
La nueva alianza para la innovación en el Internet de las Cosas (AIOTI) reúne a empresas de diferentes sectores y a algunas de las mayores compañías tecnológicas de Europa como Nokia, Siemens, Telefónica, IBM, Cisco o Samsung, entre otras. El siguiente paso prevé la incorporación de Pymes y startups a la coalición.

3.5 INICIATIVAS POR PAÍSES

Varios Estados Miembros están lanzando sus propias **iniciativas en el ámbito de la Industria 4.0**, además de Alemania, que como ya se ha mencionado ha acuñado en término y por ello es pionera en el impulso de programas en este contexto, también se han sumado países como Italia, Francia o Reino Unido, cuyo sector industrial representa un mayor peso en el total del valor añadido en la UE.

A continuación se resumen brevemente en que se basan las **estrategias de los distintos países**.

3.5.1 Alemania



Desde 2010, el gobierno alemán ha contribuido con más de **200 millones a la iniciativa Industria 4.0** (uno de los 10 proyectos integrados en el Plan de Acción Estratégico para una Alemania basada en tecnología avanzada cara a 2020 “High-Tech Strategy 2020”) con el objetivo de impulsar la transformación hacia lo que denominan “Fábricas Inteligentes” (Smart Factories). La estrategia está basada en el profundo conocimiento existente en el país en torno a los sistemas embebidos. Así, la iniciativa alemana **promueve la informatización de las industrias, pasando de los sistemas embebidos a sistemas cyberfísicos**, el principal objetivo es mantener el fuerte posicionamiento de Alemania en la industria manufacturera y la ingeniería mecánica a través de la **transformación digital**. El desarrollo de nuevos modelos de negocio y productos inteligentes es considerado menos importante.

En enero de 2012 se creó un grupo de trabajo dirigido por Dr. Siegfried Dais (Robert-Bosch GmbH) y Prof. Henning Kagermann (German Academy of Science and Engineering) con el fin de elaborar recomendaciones estratégicas integrales para la implementación de la “Industria de 4.0”, cuyo documento fue publicado a principios de 2013 e incluía **8 áreas prioritarias**⁴⁰ en las que se consideraba que era necesaria una mayor política industrial e involucración de las empresas: 1) Disponer de un estándar abierto para una arquitectura de referencia, 2) Manejo de sistemas complejos, 3) Proporcionar una adecuada infraestructura, 4) La seguridad y protección, 5) La organización del trabajo y el diseño de los puestos en la nueva era digital, 6) Formación y desarrollo profesional, 7) Marco regulatorio y 8) Eficiencia en el uso de recursos.

En 2014, el gobierno alemán presentó el programa Industria 4.0 y anunció que tendría una financiación de **500M€ para los 3 siguientes años**.

⁴⁰ Communication Promoters Group of the Industry-Science, “Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0”, Abril 2013.



500 M€ for 3 Years
National Program:
250 M€ Funding of
Ministry for Research and
Ministry for Economics

Evolution from
Embedded Systems
to Cyber-Physical
Systems

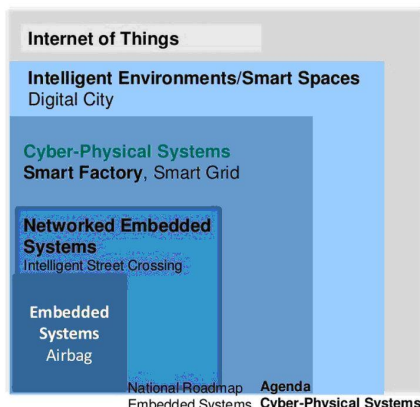


ILUSTRACIÓN 25: PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA ALEMÁN INDUSTRY 4.0. FUENTE: THOMAS WHASTER, 2014

Además, en 2013 se lanzó la plataforma **“Platform Industrie 4.0”**⁴¹, una iniciativa conjunta de distintas organizaciones industriales: BITKOM (Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media), VDMA (German Engineering Federation) and ZVEI (Electrical and Electronic Manufacturers Association). La plataforma actúa como punto de encuentro entre empresas, profesionales del sector, administración pública y otros agentes del sistema de ciencia e investigación.

Cabe destacar que Alemania cuenta con **centros e institutos de investigación de referencia** tales como: ACATECH (National Academy of Science and Engineering), DFKI (German research Center for Artificial Intelligence), Fraunhofer, is’s OWL (Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe): y con **empresas de relevancia internacional** que están encabezando la transformación hacia la Industria 4.0 como Bosch, Festo, SAP, TRUMF o Wittenstein.

Según un informe elaborado por ACATECH⁴², estos son los principales aspectos que definen la estrategia Industria 4.0 alemana:

- **Construir una marca fuerte en torno a la Industria 4.0:** reforzar continuamente la dimensión internacional de las actividades alemanas en torno a la Industria 4.0 con el objetivo de generar beneficios alrededor del interés que ello suscita en todo el mundo.
- **Utilizar la estandarización internacional como catalizador para la cooperación:** la industria alemana busca tener un rol de liderazgo en la definición de estándares internacionales.
- **Crear vínculos más fuertes entre los centros de innovación:** se promueve la colaboración entre centros de innovación con el objetivo de impulsar la cooperación entre empresas y centros de investigación de diferentes países.
- Asegúrese de que los **beneficios de la Industria 4.0** no son abstractos: perseguir un enfoque dual que avance hacia una estrategia europea de Industria 4.0 más integrada, pero al mismo tiempo se desarrollen soluciones tecnológicamente avanzadas.

3.5.2 Italia

⁴¹ <http://www.plattform-i40.de/>

⁴² ACATECH, “Industry 4.0 in a Global Context”, 2016.



El sector manufacturero en Italia representa el **15% del PIB**, con una facturación de 906.000M€ (2012) y un valor añadido de aproximadamente 200.000M€ (2012), gracias a los casi **4 millones de empleo** generados en más de 417.000 empresas. En 2012, Italia se encontraba **entre los 6 primeros países del mundo** en términos de valor añadido por la industria manufacturera, donde los diez primeros países representan el 70% del total del valor añadido. Por último, las exportaciones representaron en 2013 un total de 306.000M€ y, en términos de destino, las exportaciones italianas estaban destinadas principalmente a países fuera de Europa⁴³.

En Italia el organismo responsable de la estrategia Industria 4.0 es el **Cluster Tecnológico Italiano para la Fabricación Inteligente**. Su objetivo es desarrollar e implementar una estrategia basada en la investigación y la innovación, capaz de consolidar e incrementar las ventajas competitivas nacionales, y orientar la transformación del sector industrial italiano hacia nuevos productos, procesos / tecnologías y sistemas de fabricación, de manera coherente con las agendas estratégicas de la Unión Europea para la investigación y la innovación. Para ello, en 2015 publicó la Hoja de Ruta para la investigación e innovación **“Roadmap per la ricerca e l’innovazione”**.

En la Hoja de Ruta se han establecido las líneas de acción a través de las cuales la industria manufacturera italiana puede llevar a cabo sus actividades de I+D+i en los próximos años. Cada línea de acción específica da respuesta a los retos identificados y permite la explotación de los puntos fuertes del sector industrial italiano. Las **líneas de acción** son:

1. Sistemas de producción personalizada: herramientas avanzadas de diseño, soluciones avanzadas de gestión de la producción en función de la demanda, mini-factorías, sistemas de producción para materiales inteligentes, etc.
2. Estrategias, métodos e instrumentos para la sostenibilidad industrial: huella de carbono, ecoeficiencia, tecnologías y procesos de reutilización y reciclado, modelado y simulación para una cadena de valor sostenible, economía circular, etc.
3. Sistemas para la mejora de las personas en las fábricas: soluciones TIC para la gestión del conocimiento, factorías centradas en las personas, nuevos materiales y tecnologías para la seguridad en el trabajo, sistemas de realidad aumentada y virtual, etc.
4. Sistemas de producción de alta eficiencia: sistemas híbridos, sistemas de producción basados en “zero defectos”, sistemas de supervisión y control, sistemas cyberfísicos, robots industriales, etc.
5. Procesos de producción innovadores: materiales innovadores, soluciones avanzadas para fabricación de productos a tamaño micro, procesos híbridos, fabricación aditiva, tecnologías para la fabricación de componentes composite en grandes volúmenes, etc.
6. Sistemas de producción evolutivos y adaptativos: interacción hombre-máquina, colaboración humano-robot, herramientas integradas de simulación virtual de los procesos, máquinas inteligentes, etc.

⁴³ <http://www.fabbricaintelligente.it/>

7. Estrategias y gestión de los sistemas de producción de la próxima generación.

3.5.3 Francia



En 2013, el gobierno francés puso en marcha el programa **"New Industriale France"** para la renovación e innovación de la capacidad industrial francesa. Se pusieron en marcha **34 proyectos** de renacimiento industrial, que unen a los grandes grupos empresariales y pymes entorno a prioridades concretas, que serán apoyados por el Estado.

Uno de los proyectos se denomina **"Industrial Plant of the Future"**, y en el se hace mención a la necesidad de modernizar los medios de fabricación en Francia, que **en 2013** disponía de menos de **35.000 robots** frente a los 150.000 de Alemania.

En mayo de 2015, se lanzó la segunda fase del programa **"New Industriale France"** con una inversión pública de **3,4M€**⁴⁴ y en la que se han reagrupado los 34 proyectos industriales de la primera fase en **9 soluciones industriales**, la décima "Industria del Futuro" deberá integrar las 9 soluciones industriales identificadas:

- Nuevos recursos.
- Ciudades sostenibles.
- Movilidad ecológica.
- El transporte del futuro.
- Alimentación inteligente.
- Economía de los datos.
- Objetos inteligentes.
- Confianza digital.
- La medicina del futuro.

Los **cinco pilares** del plan para transformar la Industria son⁴⁵:

⁴⁴ <http://www.emag.suez-environnement.com/en/france-places-resource-management-at-the-heart-of-its-industry-of-the-future-plan-13704>

⁴⁵ Gobierno francés, "Reúnir la nouvelle France industrielle", 2015.

1. Desarrollo de la oferta de tecnologías en las áreas de **fabricación aditiva**, **Internet de las cosas** y la **realidad aumentada**, áreas en las que Francia puede convertirse en un líder europeo o mundial en los próximos 3 a 5 años. Con una financiación total de 730 M€, una primera convocatoria de proyectos estaba prevista para septiembre de 2015 y el lanzamiento de una nueva plataforma tecnológica en 2016.
2. El **apoyo financiero** hasta 2.000 **Pymes** en los próximos dos años, incluyendo 2.500M€ de beneficios fiscales y 2.100M€ de préstamos.
3. La **formación** de los empleados para asegurarse de que son competentes para las nuevas funciones que tendrán en la "industria del futuro", incluyendo el lanzamiento de programas multidisciplinares.
4. Promoción de la **marca "Industrie du futur"** a través de la puesta en marcha de al menos 15 showcases hasta finales de 2016, la marca de esta iniciativa y la organización de un gran evento internacional en París.
5. El fortalecimiento de la **cooperación europea e internacional**, en particular en lo relativo a las directrices y normas, la participación de las empresas francesas en Horizonte 2020, y el inicio de una colaboración con la plataforma alemana "Industria 4.0".

El pasado 9 de febrero de 2016, el Ministro de Economía anunciaba las **4 prioridades tecnológicas** que se abordarán durante el **año 2016**:

- La fabricación aditiva.
- La ciberseguridad.
- La digitalización de la cadena de valor.
- La eficiencia energética.

Además, en 2015 se ha formalizado un acuerdo franco-alemán firmado entre el Instituto Mines Télécom y la Universidad Técnica de München para la creación de un centro para la Industria del Futuro⁴⁶.

3.5.4 Reino Unido

El gobierno de Reino Unido hace hincapié en la importancia de la Industria 4.0 en el informe publicado en 2015 con el título **"Strengthening UK manufacturing supply chains"**⁴⁷. Se trata de una apuesta del gobierno para crear puestos de trabajo y crecimiento económico a largo plazo. Destacan iniciativas como "See Inside Manufacturing (SIM)", que anima a empresas a abrir sus puertas a jóvenes y profesores, lo que les permite una visión de primera mano de la fabricación moderna y los puestos de trabajo que ofrecen.

Además, en 2010 se lanzó la red **"Catapult Network"**, una iniciativa de la Agencia de Innovación de Reino Unido (TSB, Technology Strategy Board) cuyo objetivo es la creación de una **red de centros tecnológicos y**

⁴⁶ <https://www.mines-telecom.fr/en/institut-mines-telecom-and-tum-create-the-franco-german-academy-for-industry-of-the-future/>

⁴⁷ HM Government, "Strengthening UK manufacturing supply chains", 2015.

de innovación que potencien la transformación de ideas con gran potencial en nuevos productos y servicios.

La red está centrada en **7 áreas** consideradas como **prioritarias: fabricación avanzada**, energía renovable off-shore, salud, aplicaciones para satélites, economía digital, ciudades del futuro y sistemas de transporte.

El **centro en fabricación de alto valor** fue el primero de los centros y se creó en 2011 integrando a los 7 centros ya existentes en Reino Unido de referencia en este campo y estaba prevista una inversión de más de 140 millones de libras durante los 6 primeros años por parte del gobierno. Los 7 centros que lo integran son:

- the Advanced Forming Research Centre (AFRC) in Glasgow,
- the Advanced Manufacturing Research Centre (AMRC) in Sheffield,
- the Centre for Process Innovation (CPI) in Wilton,
- the Manufacturing Technology Centre (MTC) in Ansty,
- the National Composite Centre (NCC) in Bristol,
- the Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre (NAMRC) in Sheffield, and
- the Warwick Manufacturing Group (WMG) in Coventry.

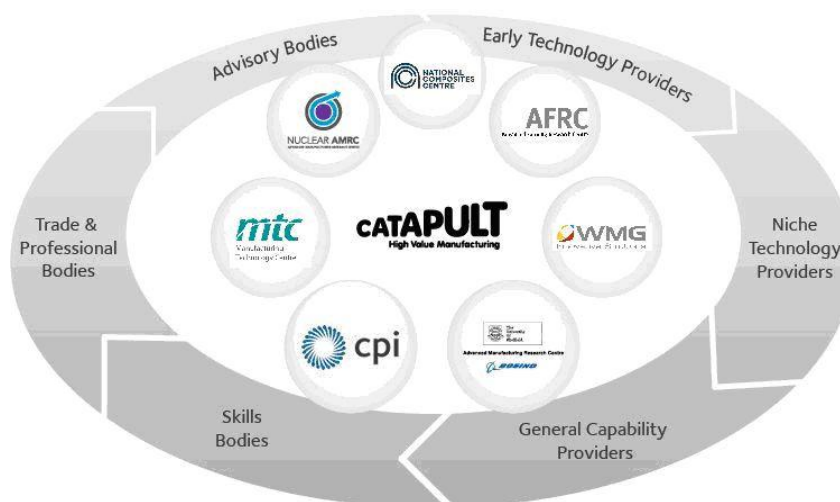


ILUSTRACIÓN 26: CENTROS QUE FORMAN PARTE LA “CATAPULT” EN FABRICACIÓN DE ALTO VALOR (UK). FUENTE: WWW.CATAPULT.ORG.UK

3.5.5 Suecia

La industria es el motor de las exportaciones suecas con 1.050 millones de coronas suecas de la exportación de bienes, lo que supone el **27% del PIB**. La industria manufacturera emplea a 600.000 personas de las cuales 200.000 son de empresas de propiedad fuera de Suecia, según Business Suecia⁴⁸.

La estrategia del Gobierno sueco para la nueva industrialización es fortalecer la capacidad de las empresas para el cambio y la mejora de la competitividad y para ello se han identificado cuatro áreas de particular importancia:

- **Industria 4.0** – las empresas del sector industrial sueco deberán ser líderes de la transformación digital y en la explotación del potencial de la digitalización.
- **Producción sostenible** – el aumento de la eficiencia de los recursos, las consideraciones ambientales y una producción más sostenible, contribuirán a la creación de valor, la generación de empleo en el sector industrial y la mejora de la competitividad.
- **Habilidades industriales** – el sistema para la formación en habilidades 4.0 debe satisfacer las necesidades del sector industrial y promover su desarrollo a largo plazo.
- **Banco de pruebas en Suecia** – Suecia liderará la investigación en áreas que contribuyen al fortalecimiento de la producción industrial de bienes y servicios en Suecia.

El gobierno sueco, a través de la agencia Vinnova⁴⁹, dependiente del Ministerio de Industria e Innovación, está invirtiendo **50M€ para fortalecer la innovación y la fabricación en la industria** a través de distintas iniciativas.

3.5.6 Dinamarca

Manufacturing Academy of Denmark

MADE⁵⁰ – **Plataforma para la fabricación del futuro** – es una plataforma estratégica que reúne a expertos en el ámbito de la fabricación: cuenta con el apoyo de 5 universidades, 2 institutos tecnológicos, 10 grandes empresas manufactureras y un amplio número de PYMES danesas, además colabora con universidades extranjeras. La plataforma busca fortalecer la industria danesa a través de la **investigación e innovación** en **automatización flexible**, desarrollo y aplicación de **nuevas tecnologías**, **nuevos procesos de producción**, nuevos **métodos de organización de la producción** y una mayor **implicación de los trabajadores**.

⁴⁸

<http://www.rockwellautomation.com/global/news/blog/detail.page?docid=02dde6fe6c1b5a9cbb938808e5cb963a>

⁴⁹ <http://www.vinnova.se/>

⁵⁰ <http://en.made.dk/>

El Consejo Danés de Investigación Estratégica y el Consejo Danés para la Tecnología y la Innovación ha concedido en 2013, **64 millones de coronas danesas** (9M€ aprox.) a la Agencia de innovación e investigación estratégica para impulsar la iniciativa MADE.

Los miembros de la iniciativa MADE que tengan menos de 250 empleados pueden presentarse a la convocatoria de proyectos demostradores. Las empresas seleccionadas reciben apoyo financiero hasta 92.000 coronas danesas (12.400€ aprox.) y asesoramiento por un periodo de 6 a 8 meses. Uno de los principales requisitos es que los proyectos estén dirigidos a una de las siguientes **9 temáticas**:

- Desarrollo de producto de alta velocidad.
- Plataformas de Producción modulares.
- Impresión en 3D y nuevos procesos de producción.
- Desarrollo de la cadena de suministro.
- Digitalización de las cadenas de suministro.
- Personalización del producto de ciclo de vida largo.
- El paradigma de la "nueva" de fabricación.
- Automatización flexible.
- Sensores y control de calidad.

3.6 OTRAS INICIATIVAS: EEUU Y CHINA

3.6.1 EEUU

Estados Unidos **ha perdido un tercio de su producción industrial** como resultado de las **políticas de deslocalización** llevadas a cabo en las últimas décadas y por ello está intentando recuperar la producción que se había llevado a otros países, y así se demuestra en las últimas decisiones que ha ido tomando el gobierno actual en materia industrial⁵¹ entre las que destaca la creación en 2011 de un **consorcio en fabricación avanzada “Advanced Manufacturing Partnership (AMP)”** una iniciativa en la que participan el Departamento de Defensa, Energía y Educación, así como la NASA, la Fundación Nacional de Ciencia y el Instituto Nacional de Tecnología y Estándars (NIST). Además el AMP cuenta con la participación en su comité de universidades como el MIT, la Universidad de California, Stanford, Michigan, etc. e importantes empresas como Caterpillar, Corning, Dow Chemicals, Ford, Honeywell, Intel, Johnson&Johnson, Northrop Grumman, Procter&Gamble, United Technologies.

También ha creado el primer instituto especializado en **fabricación aditiva “The National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII)”**, un consorcio que cuenta con la participación de más de 80 empresas fabricantes, 9 universidades, 6 centros de formación y 18 organizaciones sin ánimo de lucro. El consorcio cuenta con un 43% de financiación pública.

⁵¹ <http://www.manufacturing.gov/welcome.html>

<https://www.whitehouse.gov/issues/technology#id-8>

En 2013 se empezó a constituir la red nacional de Innovación en procesos de fabricación **“The National Network for Manufacturing Innovation (NNMI)”**. Esta red consolida 15 institutos creados en el seno del consorcio AMP y en sus inicios contó con una financiación de entorno a 1 billón de dólares.

Por último, destacar que en 2014 empresas internacionales como AT&T, Cisco, General Electric, IBM e Intel crearon el **“Industrial Internet Consortium (ICC)”** con el objetivo de coordinar las prioridades en el área del internet industrial.

3.6.2 China

La estrategia del Gobierno asiático para por incrementar la calidad de los productos a través del uso de tecnologías avanzadas de producción⁵².

China se enfrenta al reto de incrementar los salarios, y la fabricación avanzada es uno de los instrumentos que le puede ayudar a alcanzar este reto. Así, el uso de tecnología avanzada proporcionaría una menor dependencia de mano de obra a bajo coste que sería sustituida por mano de obra mas cualificada.

El Plan Estratégico para el periodo 2011-2015 incluía la reducción de la importación de tecnología como una de sus principales prioridades. Además, **en 2010 se creó el primer centro dedicado al “Internet de las cosas”** con un presupuesto en I+D de más de **117M de dólares**, que se ve apoyado de cerca de 300 compañías en este ámbito que dan empleo a más de 70.000 personas.

Actualmente dispone de **2.500 patentes en el campo de las tecnologías facilitadoras**⁵³ para el despliegue de la Industria 4.0, lo que los posiciona a la cabeza en cuanto a propiedad industrial seguidos de Estados Unidos (1.065 patentes). En Europa, Alemania, que lidera este cambio posee 441 patentes [Datos de Fraunhofer].

Además han diseñado un plan **“Made in China 2025”** en el que se identifican 10 sectores prioritarios entre los que están las TICs, el sector aeroespacial, equipamiento oceanográfico, ahorro energético y los nuevos materiales. Las claves de esta nueva estrategia son la innovación, las tecnologías smart, el desarrollo sostenible y, en general, la transformación de la industria china hacia una industria de calidad [Manu-Ket].

El Plan contempla ayudas financieras y la creación de un centro de innovación en la producción.

3.6.3 Comparativa con Europa

A continuación se muestra una tabla resumen de las prioridades que han establecido la UE frente a las que han establecido los países que actualmente están encabezando el cambio hacia las industrias 4.0⁵⁴.

⁵² <http://csis.org/publication/made-china-2025>

⁵³ <https://www.iao.fraunhofer.de/lang-en/about-us/press-and-media/1218-industry-4-0-china-moves-into-the-fast-lane.html>

⁵⁴ Irina Dezhina, Alexey ponomarev, “Advanced Emphasis in Industrial Development”, 2014.




<p>UNIÓN EUROPEA</p> 	<p>Factories of the Future (PPP) – H2020, 2012</p> <ul style="list-style-type: none"> • Advanced manufacturing processes • Adaptive and smart manufacturing systems • Digital, virtual and resource efficient factories • Collaborative and mobile enterprises • Human-Centred manufacturing • Customer focused manufacturing
<p>EEUU</p> 	<p>White House, 2012</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensors, measurement and flow control • Modern materials design, synthesis and processing technologies • Visualization, informatics and digital manufacturing technologies • Sustainable manufacturing • Industrial nano technologies • Flexible electronics manufacturing • Industrial biotechnologies and bioinformatics • 3D-printing • Advanced manufacturing and test (quality Assurance) equipment • Industrial robotronics • Advanced forming and connection technologies
<p>CHINA</p> 	<p>Knyagin, 2013</p> <ul style="list-style-type: none"> • ICT –new generation industry • Biological engineering • High-performance technologies and equipment • Advanced materials • Sensors • Smart technologies <p>Made in China, 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • Information technology • Numerical control tools and robotics • Aerospace equipment • Ocean engineering equipment and high-tech ships • Railway equipment • Energy saving and new energy vehicles • Power equipment (smart grid and smart city technology) • New materials • Medicine and medical devices • Agricultural machinery

TABLA 2: PRIORIDADES EN FABRICACIÓN AVANZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3.7 GENERADORES DE VALOR: TECNOLOGÍAS EMERGENTES E IMPACTO EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES

El desarrollo de determinadas tecnologías y ciertas tendencias permiten vislumbrar importantes cambios que se van a producir en la industria a corto y medio plazo. La denominada Industria 4.0 traerá consigo una **optimización de los principales procesos industriales**: diseño, producción, logística y servicio. Pero su implantación tendrá un impacto más allá de la mejora en los procesos industriales y en muchos casos supondrá cambios en el propio paradigma de fabricación, en el modo en el que se genera valor y en el modelo de negocio con el que se captura ese valor.

El concepto de Industria 4.0 se refiere a una revolución industrial que aún no se ha producido; por primera vez una revolución industrial se predice a priori y no es observada *ex-post*. Su capacidad transformadora de la industria se irá poniendo de manifiesto a medida que se consolide su implantación.

La Ilustración 27, de un estudio del **World Economic Forum**⁵⁵ ilustra una posible evolución en cuatro **fases distintas**: las dos primeras representan oportunidades inmediatas que impulsan la adopción a corto plazo, a partir principalmente de la eficiencia operativa. Estas actividades están sucediendo ahora y es probable que se aceleren en los próximos años; las fases 3 y 4 incluyen cambios estructurales a medio-largo plazo.

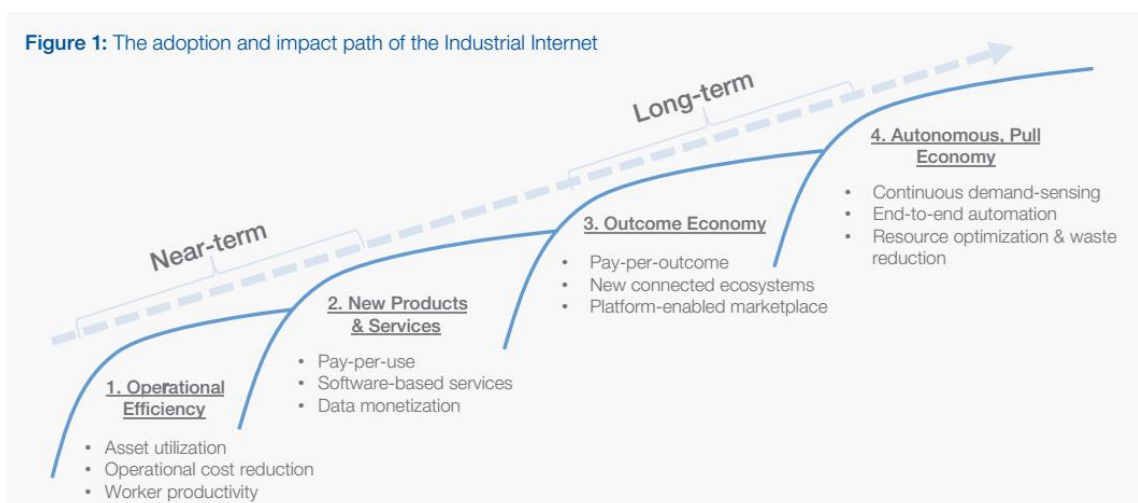


ILUSTRACIÓN 27: FASES DE ADOPCIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0

Entendiendo que la Industria 4.0 es un proceso de cambio que aún está en sus albores, se han identificado **cuatro de elementos generadores de valor (“VD - Value Drivers”)** en los que la implantación de las tecnologías habilitadoras de Industria 4.0 reseñadas con anterioridad tendrán un **impacto a corto-medio plazo** en la mejora de los procesos y de la competitividad de las empresas. Estos “*Value Drivers*” son:

1. Calidad
2. Producción
3. Trabajo (personas)
4. Productos y servicios

⁵⁵ “Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services”. 2015. World Economic Forum. http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf

Para cada uno de estos VDs se han identificado 34 “**palancas tecnológicas**”, derivadas de los beneficios de la implantación de las tecnologías de Industria 4.0, que se describen a continuación.

3.7.1 Calidad

La introducción de las tecnologías de Industria 4.0 van a tener un importante impacto en el incremento de la calidad del proceso de producción y de los productos fabricados:

- a. **Control de la calidad / Control de la producción:** el desarrollo de nuevos sensores, el uso de IoT en combinación con sistemas de análisis y tratamiento de datos, entre otros, permitirán una mejora en el control de los procesos y en la inspección de los productos. El análisis de datos en tiempo real y el control avanzado de procesos permitirán correcciones de errores en tiempo real para minimizar la reelaboración y el desecho.
- b. **Planificación de calidad / Identificación y trazabilidad:** la implantación de tecnologías como IoT facilitarán la trazabilidad integral de un producto de modo que este tendrá asociada información sobre su proceso productivo: las materias primas utilizadas, información sobre los componentes y sus proveedores, en qué momento y en qué condiciones fue producido, por qué puestos y qué operarios se encargaron de las operaciones de producción, las pruebas de calidad que ha superado, su huella de carbono... Esta trazabilidad podrá expandirse, de modo que será posible asociar a un producto información en todo su ciclo de vida: no sólo en el proceso productivo, sino también en el proceso de llegada al cliente (transporte, logística y venta), durante su uso y hasta su reciclaje. Además, la monitorización continua del proceso productivo y la visualización del estado de producción permitirá la detección temprana de incidencias y la identificación continua de puntos de mejora en el sistema.
- c. **Mejora continua (Producto, proceso, organización):** disponer de una gran cantidad de información del proceso productivo será una herramienta clave para la mejora continua de la calidad del producto, del proceso productivo y de la propia organización. Por otro lado, disponer de herramientas de analítica de datos para el tratamiento de esa información permitirá apoyar el proceso de mejora continua en sistemas que detecten de forma automática incidencias, causas de problemas y puntos susceptibles de mejora del sistema.
- d. **Defectos / Despilfarro:** la detección temprana de fallos o problemas en el proceso productivo y la mejora en la calidad del proceso que se conseguirá gracias a la introducción de tecnologías de Industria 4.0 permitirá reducir la cantidad de productos defectuosos que se producen, reduciendo a su vez el despilfarro tanto de materiales como de mano de obra.

3.7.2 Producción

La disponibilidad de una cantidad cada vez mayor de datos en tiempo real, tanto del proceso productivo como otra información relevante (información logística, integración con la cadena de valor...), permitirá mejorar el modo en el que se gestiona el proceso productivo, optimizando el uso de recursos y permitiendo que la producción se adapte a los cambios del entorno.

- a. **Mejora de la planificación de la producción:** disponer de una visión real del estado de la planta, datos históricos del proceso productivo y una mejor información sobre los clientes permitirá una planificación de la producción más ajustada y que se realizará de forma continua, adaptándose a los cambios que se produzcan (incidencias en producción, cambios en los pedidos, ...).
- b. **Rapidez en la toma de decisiones:** el desarrollo e implantación de nuevos sensores y actuadores conllevarán una mayor hibridación del mundo físico y el virtual. Disponer de más y mejor información en tiempo real permitirá agilizar y mejorar la toma de decisiones. Disponer de actuadores con los que los sistemas digitales puedan actuar sobre el mundo físico acelerará el proceso desde la toma de decisión hasta su implantación.
- c. **Visión de la producción en tiempo real:** la creciente cantidad de sensores en la planta de producción y la integración de los sistemas de información de la cadena de valor permitirán disponer de información en tiempo real del estado actual del proceso productivo, hacer una mejor gestión del mismo y estar más preparado para responder de forma ágil a cambios en las necesidades de producción.
- d. **Producción flexible:** la implantación de la Industria 4.0 proporcionará una configuración más flexible de la producción, facilitando a la empresa adaptarse a las necesidades del cliente y responder más rápidamente a los cambios del entorno. Las conexión de los sistemas de producción y los sistemas de información incrementarán la adaptabilidad de la cadena de producción. En la fábrica del futuro, el uso de herramientas de fabricación que configuren puestos de producción más flexibles (como la impresión 3D, los sistemas de robótica colaborativa, ...), las mejoras en los sistemas de logística interna y externa mediante el uso de vehículos autónomos, la comunicación entre máquinas y entre la cadena de valor y las herramientas de empoderamiento de operarios, permitirán organizar la producción de forma eficiente sin necesidad de funcionar con planes de producción rígidos y disponer de líneas de fabricación versátiles que puedan ser utilizadas para una amplia gama de productos sin un elevado coste de cambio de lote.
- e. **Optimización del uso de máquinas:** disponer de información en tiempo real del proceso productivo y de herramientas de predicción y planificación permitirá ajustar de manera continua el comportamiento del proceso productivo para optimizar el uso de los recursos de producción. La flexibilidad de los equipos de producción permitirá que un mismo puesto pueda utilizarse para un gran número de operaciones distintas; esta versatilidad de los puestos facilitará optimizar su uso al poder asignarlo a diferentes operaciones. Por otro lado, el desarrollo de soluciones de mantenimiento predictivo permitirá evitar los fallos en los equipos y reducir las paradas inesperadas.
- f. **Optimización de uso de operarios:** al igual que en el caso de la optimización de máquinas, disponer de información en tiempo real del proceso productivo permitirá optimizar el trabajo de las personas. Un mayor conocimiento de las personas, sus aptitudes y sus capacidades, permitirá asignar a las personas más adecuadas en cada momento para realizar aquellas actividades que mejor desempeñan y en las que ofrecen mayor valor.

- g. **Reducción del tamaño de lote:** muy dependiente de la flexibilidad del sistema productivo; se persigue la producción de productos individualizados en tamaño de lote unitario gracias al uso de sistemas productivos automatizados automáticos más flexibles o la fabricación aditiva. La integración de los sistemas de información con los sistemas de planta permitirá reducir el impacto de fabricar en lotes pequeños, al posibilitar una planificación más ajustada y, en definitiva, una producción con un flujo más tenso.
- h. **Mantenimiento predictivo:** el mantenimiento es un elemento clave en la industria. La sensorización de los equipos de producción permitirá recopilar gran cantidad de información sobre su funcionamiento; a su vez, la utilización de herramientas de analítica de datos posibilitará el desarrollo de soluciones que permitan identificar patrones de comportamiento de las máquinas de producción, llegando a pronosticar o predecir potenciales fallos basados en el comportamiento histórico de la máquina y del sistema productivo. Esto posibilitará implementar estrategias de mantenimiento predictivo que identifiquen patrones de fallo y avería de las máquinas.
- i. **Reducción de inventarios:** la integración de los sistemas de la cadena de suministro, la mejora de las herramientas de previsión de la demanda y de planificación continua, la producción flexible, la reducción de los costes de logística, tanto interna como externa, o la reducción del tamaño de los lotes de producción van a habilitar una mayor tensión en el flujo del sistema productivo que a su vez requerirá una menor cantidad de inventarios intermedios para funcionar.
- j. **Gestión avanzada de la energía:** la implantación de la industria 4.0 traerá consigo un mayor conocimiento del proceso productivo y de los recursos e insumos utilizados en la producción. La capacidad de medir el gasto energético asociado al proceso productivo y de actuar sobre la producción permitirá hacer una producción más eficiente desde el punto de vista energético. Además permitirá cuantificar la energía consumida en la producción de un producto determinado, con lo que se podrá calcular la huella energética y ambiental asociada a su producción.
- k. **Gestión avanzada de insumos (agua, etc.):** La capacidad de medir el gasto energético, el consumo de agua o de materias primas del proceso productivo y de actuar sobre la producción permitirá hacer un uso más eficiente de los insumos y residuos.
- l. **Reciclaje, reutilización y valorización de residuos:** los residuos industriales resultado de los procesos de manufactura son un problema a resolver, que en muchos casos no sólo supone un coste asociado a la materia prima que se desecha, sino que también tienen un coste asociado a su tratamiento. Su aprovechamiento puede convertirlos en recursos útiles, que pueden reutilizarse dentro del proceso productivo o tener otros usos. La implantación de tecnologías de Industria 4.0 permitirá una mejor cuantificación y clasificación de los residuos generados en el proceso productivo, lo que a su vez facilitará la identificación de las mejores estrategias para su valorización. Por otro lado, el uso de determinadas tecnologías de producción hará más eficientes los retrabajos en piezas defectuosas, permitiendo que productos que iban a ser descartados entren de nuevo en el proceso productivo.

3.7.3 Producción

La Fábrica Inteligente supone un nuevo modelo de producción más automatizado, flexible, conectado, sostenible y social, con espacios compartidos entre humanos y máquinas y con nuevas responsabilidades para las personas, más cualificadas y capaces de gestionar de forma eficiente los nuevos entornos productivos. La implantación de tecnologías de Industria 4.0 tendrá un profundo impacto en el modo en el que las personas generan valor en la manufactura:

- a. **Reducción de trabajos penosos:** los sistemas de automatización y robótica permitirán sustituir el trabajo de personas por máquinas en aquellos puestos con unas condiciones más ingratas, por su alta carga física, nivel de estrés o peligrosidad. La monitorización del ambiente de trabajo permitirá también medir parámetros que influyen sobre la calidad del puesto de trabajo y actuar para reducir estos factores.
- b. **Ergonomía:** el uso de tecnologías de apoyo a la operación como exoesqueletos o robots colaborativos facilitarán el trabajo de los operarios y reducirán el esfuerzo a realizar. Además herramientas como wearables u otras herramientas para la monitorización de los operarios permitirán hacer un seguimiento del esfuerzo que realizan y medir la carga física soportada, lo que posibilitará identificar elementos de mejora en las operaciones que reduzcan su esfuerzo o asociar los operarios más apropiados para cada operación.
- c. **Reducción de tiempos de aprendizaje:** la utilización de tecnologías de Interfaces Hombre Máquina (HMI) avanzadas facilitarán los procesos de aprendizaje del operario, que podrá recibir instrucciones de apoyo durante la operación mediante sistemas de realidad aumentada que le facilitarán la operación; y que podrá formarse de forma continua y mucho más eficaz mediante herramientas de realidad virtual o aumentada con las que podrá “aprender haciendo”, realizando las operaciones de producción en un entorno virtual o con el apoyo de soluciones de realidad aumentada. Herramientas de eLearning y de Learning Analytics apoyarán también el proceso de aprendizaje continuo de las personas.
- d. **Empoderamiento del operario:** el uso de tecnologías de HMI avanzadas como realidad aumentada, la robótica colaborativa o la utilización de exoesqueletos conllevará un empoderamiento de las personas, permitiéndoles hacer mejor y con menos esfuerzo su trabajo al tiempo que aportan un mayor valor al proceso productivo. La mejora de las herramientas para la formación del usuario facilitará su aprendizaje continuo, lo que le capacitará para aportar mayor valor en su trabajo.

3.7.4 Productos y servicios

La implantación de tecnologías de Industria 4.0 tendrá importantes implicaciones en los productos y servicios ofrecidos por las empresas, no sólo en cuanto a cómo se diseñan y producen, sino también en cuanto a nuevas posibilidades para ofrecer servicios de valor añadido a los productos o de cambios en el propio modelo de negocio de la compañía:

- a. **Co-creación de producto con el cliente:** un paso más en la personalización de los productos es involucrar al cliente en el diseño de su propio producto. Diferentes tecnologías están permitiendo esta involucración del cliente. Por un lado, el desarrollo de interfaces usables a través de las que el usuario tiene una capacidad cada vez mayor de personalizar su producto propician que el cliente tenga una creciente influencia en el producto final. La existencia de canales de comunicación bidireccionales entre la empresa y el cliente está propiciando un contacto más cercano de la empresa con sus clientes y una mejor capacidad de detección de sus necesidades y con mayores posibilidades de segmentar a los clientes en función de sus preferencias. Por ejemplo, plataformas de cofinanciación como Kickstarter permiten hacer un testeo rápido de ideas de productos. La consolidación del movimiento “Maker” será un paso más en esta línea, en la que es el propio cliente el que diseña el producto y lo envía a fabricar.
- b. **Predicción de la demanda:** la introducción de determinadas tecnologías está fomentando un conocimiento cada vez mayor del cliente, de sus preferencias de compra y de sus comportamientos. Por un lado, el uso de canales de comunicación más potentes permite, como ya se mencionó, tener un mayor conocimiento de las necesidades del cliente e incluso involucrarlo en el proceso de diseño del producto. Por otro lado, existe una creciente cantidad de datos que facilitan un mayor conocimiento sobre el comportamiento de los clientes: datos provenientes de la propia empresa o de la cadena de valor, o externos, como datos de redes sociales o similares. La combinación de herramientas de analítica de datos y de simulación permite, por un lado, obtener modelos del comportamiento de los usuarios y a su vez mejorar la predicción de la demanda de los productos, y por otro lado estimar la posible respuesta de los clientes ante determinados estímulos (ofertas, cambios en el formato, ...).
- c. **Nuevos servicios basados en datos:** la implantación de IoT en el entorno industrial y en la vida cotidiana va a propiciar un crecimiento exponencial del volumen de datos generados por las “Cosas” conectadas a internet. Esta gran cantidad de datos podrá ser utilizada de múltiples formas para generar valor a diferentes agentes y así será posible el desarrollo de nuevos servicios y nuevos modelos de negocio basados en la explotación de datos, en muchos casos ofrecidos como un servicio por parte de empresas especializadas.
- d. **Seguridad producto:** la introducción de IoT en los productos permitirá disponer a la empresa de una herramienta para tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento del producto tras la venta y de su estado, pudiendo así desarrollar soluciones para incrementar la seguridad y la fiabilidad del producto mediante actualizaciones, mantenimiento predictivo. Además, la inclusión de determinadas tecnologías de sensado permitirán reducir el riesgo de daño a personas o a otros dispositivos al detectar comportamientos peligrosos o usos inadecuados de los usuarios. La inclusión de tecnologías como biometría garantizarán que la identidad del usuario ha sido convenientemente verificada e incrementarán la seguridad de los productos y de sus servicios asociados.
- e. **Personalización producto:** como ya se explicó, la introducción de tecnologías 4.0 en la industria va a potenciar que el cliente se involucre de un modo creciente en el proceso de producción, con una mayor interacción en el proceso de diseño del producto y con cada vez más capacidad de personalización del producto. Por otro lado, la mayor flexibilidad del proceso productivo que se conseguirá con la introducción de tecnologías de industria 4.0 será el habilitador necesario para que

esa personalización no suponga un sobrecoste en el producto excesivo frente a un producto producido en serie, lo que hará ese producto personalizado asequible para el cliente.

- f. **Productos energéticamente eficientes:** diferentes tecnologías habilitarán el desarrollo de productos que hagan un consumo más eficiente y racional de la energía. Las mejoras de los sistemas de diseño y simulación permitirán diseñar productos más eficientes. El uso de IoT en los productos permitirá a las empresas disponer de una mayor información sobre el uso real del producto y el comportamiento del mismo ante distintas situaciones, facilitando así una información que realimenta el proceso de diseño y producción de cara a una mejora continua en los productos producidos. Los sensores asociados a los productos permitirán identificar situaciones en las que el producto se está utilizando de modo poco eficiente y, bien avisar al usuario o bien cambiar de forma automática el comportamiento del producto. Las mejoras en las herramientas de mantenimiento también tendrán un impacto positivo en la eficiencia de los productos, al detectar de forma temprana fallos en los productos, facilitando la realización de revisiones y reparaciones que garanticen el correcto funcionamiento del producto.
- g. **Nuevas funcionalidades en productos:** el uso de tecnologías habilitadoras de Industria 4.0 en el propio producto va a permitir ofrecer productos de un mayor valor añadido y con nuevas funcionalidades. Interfaces avanzadas como realidad aumentada permitirán nuevas formas de interactuar entre el usuario y el producto. La combinación de sensórica avanzada, actuadores y sistemas ciberfísicos permitirá dotar de inteligencia a los productos y ofrecer nuevas funcionalidades. Además, las plataformas de IoT van a permitir el desarrollo de ecosistemas de complementadores en torno a las mismas, que ofrezcan servicios de valor sobre ellas y complementen el producto.
- h. **Servicios avanzados al consumidor:** las empresas que incluyan IoT en sus productos tendrán la posibilidad de disponer de información del uso del producto tras la venta y así podrán ofrecer servicios de valor añadido al cliente (actualizaciones, servicios de mantenimiento predictivo,...) o incluso cambiar el modelo de negocio y comercializar el producto como un servicio. Pero no será sólo el fabricante de un producto el que pueda innovar en modelos de negocio: el desarrollo del modelo de plataformas dará lugar a ecosistemas de complementadores que ofrecerán nuevos modelos de negocio sobre la plataforma en torno a nuevos usos de un producto. El sector de automoción es paradigmático de este cambio de modelo negocio, de servitización y de plataformas abiertas de innovación: asociado a la implantación del coche conectado y del vehículo autónomo van a surgir empresas que ofrezcan nuevos servicios basados en el vehículo (servicios de car-sharing, servicios logísticos, redes de transporte privado, etc.) o servicios ofrecidos con el vehículo como plataforma (servicios de mapas, reducción de gasto de combustible, gestión de flotas, ...).
- i. **Mantenimiento remoto del producto:** incluir elementos de sensorización y actuación en sus productos y el uso de sistemas ciberfísicos va a permitir a las empresas desarrollar soluciones para ofrecer al cliente servicios de mantenimiento predictivo que detecten potenciales fallos en el producto; además de avisar al cliente, en ciertos casos el propio fabricante será capaz de llevar a cabo reparaciones o correcciones en el software del producto para solventar esos problemas. Por otro lado, el uso de tecnologías como realidad aumentada permitirá ofrecer servicios de soporte al cliente para la reparación y el mantenimiento del producto de forma remota, en la que el usuario es guiado en el proceso de mantenimiento por una guía o por un operario experto.

- j. **Reducción del tiempo servicio postventa:** al igual que ocurre con el mantenimiento remoto, disponer de información del producto en su uso diario y de capacidad para actuar sobre él de forma remota va a permitir que las empresas ofrezcan servicios de postventa de forma más ágil y con un menor coste, llegando incluso a detectar y corregir fallos en el producto antes de que este se estropee. En caso de que sea necesaria la sustitución total del producto o el envío de piezas de repuesto, la mayor flexibilidad de los sistemas de producción y la reducción de los tiempos y costes de logística va a permitir dar servicios de soporte con un menor tiempo. El desarrollo de la inteligencia artificial potenciará el uso de *bots* que darán soporte postventa al usuario de una forma más eficaz y con mayor rapidez.
- k. **Reducción del tiempo de diseño:** el uso de herramientas CAD (Computer Aided Design) reduce considerablemente el tiempo de diseño de un producto y permite además crear visualizaciones digitales que pueden servir para obtener un primer *feedback* de los clientes. El uso de impresoras 3D o de herramientas CNCs (máquinas de mecanizado de Control Numérico Computarizado) facilitan y abaratan el paso del diseño en 3D a un modelo físico que puede ser mostrado a los potenciales clientes como un Producto Mínimo Viable para verificar su aceptación e identificar puntos de mejora. Además, la mejora de los canales de comunicación con los clientes tiene una doble ventaja: por un lado aporta información muy útil para orientar el diseño, por el mayor conocimiento de las preferencias y necesidades de los clientes, y por otro lado ofrece canales más ágiles para interactuar con los clientes en las etapas de validación de diseño.
- l. **Prototipado rápido de producto:** la combinación de herramientas CAD con sistemas de simulación (simulación fluidodinámica, simulación por método de elementos finitos,...) agiliza enormemente el tiempo necesario para diseñar y validar el comportamiento esperado de un producto en el entorno digital. Al igual que en el diseño de un producto, el paso del diseño digital a un modelo físico mediante herramientas de impresión 3D o CNCs permite obtener prototipos físicos representativos del producto para ser testeados. El desarrollo de nuevos materiales para la impresión 3D permitirá la construcción de prototipos con los mismos materiales que el producto final (con independencia de que en el proceso de producción finalmente se utilice impresión 3D). Por otro lado, el incremento en la sensorización de las pruebas que se realizan a los prototipos permitirá realimentar los modelos digitales y mejorar los sistemas de simulación a partir de datos reales.
- m. **Reducción del tiempo de industrialización:** el desarrollo de equipos y tecnologías de producción versátiles y flexibles como la automatización avanzada y la robótica colaborativa, la fabricación aditiva o sistemas de logística avanzada como AGVs o UAVs dan una enorme flexibilidad a las nuevas líneas de producción, permitiendo con un mismo equipo producir productos completamente distintos. Por otro lado, la implantación de la denominada Internet de las Cosas y los Servicios traerá consigo un modelo de orientación a servicios en el que los equipos de producción ofrecerán sus capacidades productivas a un sistema que se encargará de coordinar las diferentes operaciones necesarias para la fabricación de un producto mediante el envío de órdenes de fabricación a los puestos de producción; esta orientación a servicios reducirá el coste de diseñar la línea de producción un nuevo producto. Además, las mejoras en las soluciones de apoyo a la formación y capacitación del operario utilizando

Realidad Virtual o Realidad Aumentada, por ejemplo, permitirán reducir el tiempo necesario para que los operarios estén preparados para producir un nuevo producto.

- n. **Reducción del tiempo de entrega:** diferentes elementos asociados a la Industria 4.0 van a permitir una reducción del tiempo de entrega de los productos al cliente, incluso a pesar de disponer de una mayor personalización de los productos. Por un lado, las mejoras en el proceso de diseño de producto y su integración en el proceso productivo, por otro las mejoras en la gestión de la producción y en el propio sistema productivo, y finalmente las mejoras en la logística, tanto interna como externa, van a permitir una reducción significativa de los tiempos de entrega. A mayores, una de las posibles consecuencias de la Industria 4.0 es la aproximación de los puntos de fabricación al usuario final, lo que ayudará también a reducir los tiempos de entrega.

La siguiente tabla identifica qué **tecnologías habilitadoras de Industria 4.0** son aplicables para cada uno de los **value drivers** establecidos.

		VALUE DRIVERS			
		CALIDAD	PRODUCCIÓN	PERSONAS	PRODUCTOS Y SERVICIOS
TECNOLOGÍAS EMERGENTES O HABILITADORAS	Automatización y robótica avanzada y colaborativa				
	Human Machine Interaction (Wearables, RV/RA, Exoesqueletos)				
	Sistemas cyberfísicos e IoT				
	Fabricación Aditiva				
	Tecnología de Materiales Inteligentes				
	Logística avanzada (AGVs y UAVs)				
	Modelización, simulación y virtualización de los procesos				
	Big Data, Cloud Computing y Data Analytics				
	Safety & Security				

TABLA 3: TECNOLOGÍAS HABILITADORAS DE INDUSTRIA 4.0 VS VALUE DRIVERS

4. BIBLIOGRAFÍA

ARTÍCULOS E INFORME DE REFERENCIA

- The Boston Consulting Group con la colaboración del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “Estudio para el fortalecimiento y desarrollo del sector industrial en España”, 2013.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “Agenda para el fortalecimiento del sector industrial en España”, 2014.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo, “Industria Conectada 4.0: la transformación digital de la industria española”, 2015.
- Xunta de Galicia, “Agenda para la Competitividad de Galicia – Industria 4.0”, 2015.
- Xunta de Galicia, “Estrategia de Especialización Inteligente de Galicia”, 2011.
- Deloitte, “2016 Global Manufacturing Competitiveness Index”, 2016.
- Comisión Europea, “Una industria europea más fuerte para el crecimiento y la recuperación económica” COM(2012) 582.
- Comisión Europea, “Por un renacimiento industrial europeo” COM(2014) 14.
- Comisión Europea, “El regreso de la industria a la UE en el marco de la reindustrialización” (2014/C 311/03).
- European parliament, “Policy department a: economic and scientific policy”, 2016.
- EFFRA, “Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020”, 2013.
- SPARC, “Robotics 2020: Multi-annual roadmap for robotics in Europe”, 2015.
- Gobierno francés, “Reúnir la nouvelle France industrielle”, 2015.
- Irina Dezhina, Alexey ponomarev, “Advanced Emphasis in Industrial Development”, 2014.

PÁGINAS WEB DE REFERENCIA

- EFFRA: European Factories of the Future Research Association. www.effra.eu
- IGAPE: Instituto Gallego de Promoción Económica. www.igape.es
- GAIN: Agencia Gallega de Innovación. <http://gain.xunta.gal>
- MANUFUTURE. www.manufuture.org
- SPARC Robotics – the partnership for robotics in Europe. <http://sparc-robotics.eu>
- EUROBOTICS. <https://eu-robotics.net>
- SPIRE – Sustainable Process Industry through resource and energy efficiency. <https://www.spire2030.eu/>
- 5G-PPP. <https://5g-ppp.eu/>
- AIOTI – Alliance for Internet of Things. www.aioti.org

OTRAS FUENTES CONSULTADAS

- FRANCIA
 - <http://www.france.fr/entreprendre-et-reussir-en-france/la-nouvelle-france-industrielle.html>
 - <http://www.entrepriseetdecouverte.fr/>
 - http://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/secteurs-professionnels/industrie/nfi/NFI-anglais.pdf

- ALEMANIA
 - www.gtai.com
 - <http://www.plattform-i40.de/>

- REINO UNIDO
 - Gobierno - <https://www.gov.uk>
 - See Inside Manufacturing (SIM) - <http://discuss.bis.gov.uk/seeinsidemufacturing/>
 - Manufacturing Technology Centre (MTC) - <http://www.the-mtc.org/>

- SUECIA
 - <http://www.government.se/information-material/2016/04/smart-industry---a-strategy-for-new-industrialisation-for-sweden/>
 - <https://sweden.se/business/innovation-in-sweden/>
 - <http://www.produktion2030.se>

- DINAMARCA
 - <http://en.made.dk/>

- ITALIA
 - <http://www.fabbricaintelligente.it/>

- USA
 - <http://www.manufacturing.gov/welcome.html>
 - <https://www.whitehouse.gov/issues/technology#id-8>

- CHINA
 - <http://csis.org/publication/made-china-2025>
 - <https://www.iao.fraunhofer.de/lang-en/about-us/press-and-media/1218-industry-4-0-china-moves-into-the-fast-lane.html>