

# SAIN4

## Sistemas Avanzados de eficiencia productiva para la Industria 4.0

**PROGRAMA:** PROYECTOS DE I+D EN COLABORACIÓN

**ACTUACIÓN:** IMDECA-Proyectos de I+D en colaboración

**Fecha de concesión:** 1 de julio de 2016

### Entregable E1.1 (E1.1)

## Informe sobre el Estado del Arte de la Industria 4.0

Pertenece al paquete de trabajo: PT1

Participante responsable: ITI

Mes estimado de entrega: Mes 9

---

## RESUMEN

SAIN4 es un proyecto financiado con el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

El presente documento tiene el objetivo un análisis descriptivo sobre el Estado del Arte de la Industria 4.0. Para ello, el documento contempla el origen y la repercusión del paradigma de la Industria 4.0 a todos los niveles, incluyendo también el relativo a las personas como uno de los ejes centrales de la industria del futuro.

## ABSTRACT

SAIN4 is a project funded by the Valencian Institute for Business Competitiveness (IVACE) and the European Union through the European Regional Development Fund (FEDER).

This document aims at the descriptive analysis on the State of Art of Industry 4.0. The document contemplates the impact of the industry paradigm 4.0 at all levels, specially the ones related to people as the central axes of the industry of the future.

## Tabla de Contenidos

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.</b>	<b>Objetivos del Paquete de Trabajo 1 .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.</b>	<b>Objetivo del presente documento .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Estado del Arte de la Industria 4.0 .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.</b>	<b>Introducción a la Industria 4.0 .....</b>	<b>7</b>
2.1.1.	Origen y repercusión de la iniciativa .....	8
2.1.2.	Las personas: cualificación y competencias para la Industria 4.0.....	13
2.1.3.	Conceptos para el desarrollo de un modelo de Industria 4.0 .....	22
<b>2.2.</b>	<b>Habilitadores digitales .....</b>	<b>30</b>
2.2.1.	IoT, IoS y CPS .....	31
2.2.2.	Cloud computing .....	44
2.2.3.	Big Data Analytics.....	48
2.2.4.	Realidad Virtual y Realidad Aumentada.....	53
<b>2.3.</b>	<b>Agentes e iniciativas relevantes.....</b>	<b>57</b>
2.3.1.	Asociaciones y clústeres sectoriales.....	57
2.3.2.	Plataformas tecnológicas y entidades asociadas .....	58
2.3.3.	Proyectos I+D+I .....	61
<b>2.4.</b>	<b>Modelos de negocio .....</b>	<b>75</b>
2.4.1.	General Electric: Predix “The internet industrial platform” .....	77
2.4.2.	BOSCH .....	81
2.4.3.	THYSSENKRYP .....	84
<b>3.</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>86</b>

## Índice de figuras y tablas

Figura 1. Captura web de la plataforma Industrie 4.0. alemana. Fuente: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy .....	9
Figura 2. Captura del sitio web Industria Conectada 4.0. Fuente: Minetur, 2015 .....	9
Figura 3. Posición de la Industria en el barómetro digital. Fuente: Divisadero en informe de Roland Berger, 2016 .....	12
Figura 4. Líneas de actuación, áreas estratégicas y objetivos de la iniciativa Industria Conectada 4.0. Fuente: Minetur, 2015 .....	13
Figura 5. Niveles de aproximación a las competencias digitales. Fuente: VDI y ASME, 2015 .....	15
Figura 6. Conocimientos y competencias recomendadas para los empleados de la industria del futuro. Fuente: VDI y ASME, 2015 .....	19
Figura 7. Data and Software Skills Are Top Priorities. Fuente: BCG, 2016 .....	20
Figura 8. Drivers clave de negocio en para empresas manufactureras. Fuente: Capgemini Consulting Analysis, 2012 .....	23
Figura 9. Drivers clave del negocio en la industria conectada. Fuente: McKinsey, 2015 .....	24
Figura 10. Niveles de impacto de la industria 4.0. Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2015 .....	25
Figura 11. Mapa conceptual de habilitadores digitales. Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2015 .....	25
Figura 12. Industria 4.0. La perspectiva de Aachen. Fuente: Gausemier y Klocke, 2015 .....	26
Figura 13. Componentes básicos de la Industria 4.0. Fuente: Hermann, Pentek y Otto, 2015 .....	26
Figura 14. Habilitadores digitales para la transformación digital. Fuente: Roland Berger, 2015 .....	27
Figura 15. Habilitadores tecnológicos "Industry 4.0 Framework". Fuente: Capgemini Consulting, 2014 .....	27
Figura 16. Mapa de conceptos de la Industria 4.0. Fuente: elaboración propia .....	30
Figura 17. Valoración y satisfacción de diversas características de WSN para industria. Fuente: ON World .....	37
Figura 18. Inhibidores: qué echa atrás a los usuarios para la utilización de WSN en industria. Fuente: ON World .....	38
Figura 19. Descomposición de la pirámide de automatización en una arquitectura distribuida de servicios. Fuente: Association of German Engineers (VDI), 2013 .....	39
Figura 20. Procesos del Big Data. Fuente: Labrindis, 2012 .....	49
Figura 21. Impacto esperado del Big Data Analytics en la Industria 4.0. Fuente: McKinsey, 2015 .....	52
Figura 22. Importancia actual y futura de la analítica de datos en los procesos de toma de decisiones en la empresa. Fuente: PwC, 2016 .....	52
Figura 23. Gafas y cascos inteligentes. Fuente: Oculus .....	53
Figura 24. Sistema de captura de movimiento para Skoda. Fuente: Synertial .....	54
Figura 25. Ejemplo de una orden de trabajo integrando la RA del producto a tratar y las herramientas necesarias, así como los pasos a seguir. Fuente: AIDIMME .....	55
Figura 26. Ejemplo de uso de Smart Helmet en una cadena de montaje. Fuente: Daqri .....	56
Figura 27. Ejemplo de instrucciones al operario sobre qué boquilla utilizar. Fuente: AIDIMME .....	57
Figura 28. Ámbito de Predix en la Industria. Fuente: Predix .....	78
Figura 29. Ámbito de Predix en la Industria. Fuente: Predix .....	78
Figura 30. Implantación Predix en TCS Fuente: TATA, 2016 .....	80
Figura 31. Herramientas de Bosch para dar soporte a la industria 4.0. Fuente: BOSCH .....	81
Figura 32. Solución Industria 4.0 para la resistencia de puntos por soldadura. Fuente: BOSCH .....	82
Figura 33. Interfaz entre la red de sensores del contenedor y la comunicación exterior. Fuente: Pursche, 2016 .....	83
Figura 34. Sensores de temperatura. Fuente: Pursche, 2016 .....	84
Figura 35. Vision General de MAX. Fuente: Thyssenkrupp .....	85

---

Tabla 1. Resumen de las revoluciones industriales. Fuente: elaboración propia .....	7
Tabla 2. Tabla resumen de las tecnologías identificadas en el concepto de Industria 4.0. Fuente: elaboración propia .....	29
Tabla 3. Asociaciones y clústeres sectoriales en Fabricación. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 4. Plataformas tecnológicas y entidades asociadas relacionadas con la industria manufacturera del futuro. Fuente: elaboración propia .....	61
Tabla 5. Proyectos de I+D+i internacionales relacionados con Fabricación Avanzada. Fuente: Elaboración propia .....	74

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivos del Paquete de Trabajo 1

El objetivo de este paquete de trabajo (PT1. Modelo de Referencia de la Industria 4.0) pretende el estudio detallado de la problemática de la Industria 4.0, y la definición y validación de un modelo de referencia que permita establecer una metodología para descubrir las variables explicativas del proceso productivo en las empresas.

Debido a los diferentes niveles de desarrollo tecnológico de las empresas industriales, no es una práctica realista universalizar soluciones tecnológicas orientadas a mejorar la competitividad de las mismas. Por ello se plantea un primer paquete de trabajo en el que se defina, de forma muy detallada y con una visión de 360°, las implicaciones de la integración de una empresa industrial en el paradigma de la Industria 4.0, mediante la creación de un modelo de referencia específico para los sectores de competencia de los participantes que identifique, categorice y cuantifique las variables asociadas a dicho paradigma.

Este modelo servirá, de forma general, para establecer los requisitos que debe satisfacer una empresa para aprovechar los beneficios de la captura, registro y utilización del flujo de información que se genera en el ciclo de vida completo del producto, desde su diseño hasta el final de su vida, con los consiguientes procesos asociados de la cadena de valor empresarial e inter-empresas y de ahí la necesidad de analizar con una perspectiva completa (360°) todos los procesos involucrados. Esta visión general es necesaria para poder acotar el alcance del proyecto: no es viable plantear una solución basada en TIC que pueda mejorar la eficiencia productiva de cualquier tipo de empresa, en cualquier sector y con cualquier nivel de desarrollo tecnológico.

A partir de esta perspectiva general, se concretarán las variables que inciden directamente en la eficiencia productiva de un determinado tipo de empresas, previamente categorizadas mediante la aplicación del modelo. Esta actividad redundará en la viabilidad del proyecto, ya que nuevamente resultaría extremadamente complejo definir de forma universal las variables explicativas de la eficiencia productiva en cualquier tipo de empresa. Y son precisamente los datos asociados a estas variables los que posteriormente se utilizarán para generar el sistema de optimización propuesto.

### 1.2. Objetivo del presente documento

El objetivo del entregable E1.1 es un informe descriptivo sobre el Estado del Arte de la Industria 4.0. Para ello, el documento contempla el origen y la repercusión del paradigma de la Industria 4.0 a todos los niveles, incluyendo también el relativo a las personas como uno de los ejes centrales de la industria del futuro.

Se realiza asimismo una revisión de los conceptos principales que recoge la literatura para el desarrollo de un nuevo modelo de la industria, y se hace especial hincapié en el análisis, desde el punto de vista técnico, de los principales habilitadores digitales, o tecnologías TIC que la hacen posible.

Para complementar el punto anterior, en el informe se incluye una relación de agentes e iniciativas relevantes, así como asociaciones y clústeres sectoriales que se entienden como claves en el contexto del proyecto. Con el fin de conocer las iniciativas relevantes en materia

de investigación, se han revisado en el documento los proyectos de Investigación y Desarrollo más recientes y destacados a nivel europeo en el ámbito de la fabricación avanzada.

Por último, el informe recoge los nuevos modelos de negocio que se derivan del concepto de Industria 4.0, ilustrándolo con casos de uso reales en diferentes ámbitos.

## 2. Estado del Arte de la Industria 4.0

### 2.1. Introducción a la Industria 4.0

El término Industria 4.0 describe la organización de los procesos de producción basados en tecnología y en la comunicación de dispositivos autónomos a lo largo de la cadena de valor, un modelo de fábrica inteligente, “Smart Factory”, donde los sistemas físicos son dirigidos por programación, creando una copia virtual del mundo físico y permite que se tomen decisiones basadas en la organización de dichos mecanismos. Este concepto tiene en cuenta el incremento de la digitalización en la industria donde los objetos físicos sean integrados con la información de la red, permitiendo la descentralización de la producción y su adaptación al tiempo real en un futuro.

El termino Industria 4.0 también denominado “la cuarta revolución industrial mundial”, nace de la introducción de conceptos o tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) y la implantación de servicios de internet en el entorno de fabricación. Dicho término impulsa la transformación digital de la industria a través de la introducción de tecnologías que permiten la hibridación del mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el digital (sistemas). Esta conexión permitirá que dispositivos y sistemas colaboren entre sí y con otros sistemas para crear la llamada industria inteligente.

Las tres revoluciones industriales previas provocaron grandes avances en la productividad y cambiaron la vida de las personas en todo el mundo. Se resumen en la siguiente tabla:

	Período	Tecnologías y capacidades
Primera	1784 – mediados siglo XIX	Fabricación mecánica mediante agua y energía de vapor
Segunda	Finales siglo XIX – 1970s	Producción en masa mediante electricidad basada en la división del trabajo (cadena de montaje)
Tercera	1970s – Actualmente	La electrónica y las tecnologías de la información conducen a nuevos niveles de automatización de tareas complejas
Cuarta	Actualmente -	La tecnología de sensores, interconectividad y análisis de datos permiten la personalización en masa, la integración de cadenas de valor y una mayor eficiencia

**Tabla 1. Resumen de las revoluciones industriales. Fuente: elaboración propia**

### 2.1.1. Origen y repercusión de la iniciativa

El termino Industria 4.0 nace como estrategia de la industria alemana, con el objetivo de:

- Por un lado, mejorar la competitividad de la producción industrial, como solución ante las pérdidas sufridas en productividad por los países emergentes y con bajos costes de mano de obra.
- Y, por otro lado, con el fin de desarrollar una industria que atienda a las necesidades y deseos de los clientes, fabricando productos personalizados, producidos y servidos lo más rápidamente posible.

Alemania es reconocida como uno de los países pioneros que pueden actualmente liderar el nuevo concepto de industria 4.0. Algunas de las características del término industria 4.0 han sido identificadas por la política industrial de Alemania desde el año 2010, aunque a nivel conceptual se empezó a hablar del tema en el 2006, y con el apoyo por parte del gobierno en definir líneas de acción prioritarias relacionadas con dicho concepto:

- Grupo de trabajo con representantes de la industria, universidades y ciencias que se creó por parte del ministerio de Educación e Investigación y publicó un informe que definió las líneas prioritarias de la estrategia de Industria 4.0, que van de la estandarización al aprendizaje continuo.
- Desde entonces el gobierno de Alemania ha institucionalizado su compromiso por la industria 4.0 mediante el desarrollo de una plataforma liderada por el ministerio de Economía que reúne representantes de empresas, ciencia y sindicatos.

Uno de estos ejemplos es la creación de la plataforma “Industry 4.0 Platform”<sup>1</sup>, dividida en 4 partes principales, focalizadas en 5 grupos de trabajo: *arquitectura, estandarización, investigación e innovación, seguridad de los sistemas de redes, legislación medioambiental y trabajo, educación.*

La plataforma emitió un primer informe en abril del 2015, donde se presenta la utilidad de Industria 4.0 a la economía en general y a la sociedad como uno de los aspectos clave que debe profundizarse en el futuro, y se plantea un plan de investigación hasta el 2030. Con este horizonte de tiempo se muestra que la industria 4.0 es una estrategia a largo plazo y la transformación que se busca fomentar aún se encuentra en estado muy inicial.

---

<sup>1</sup> <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Home/home.html>



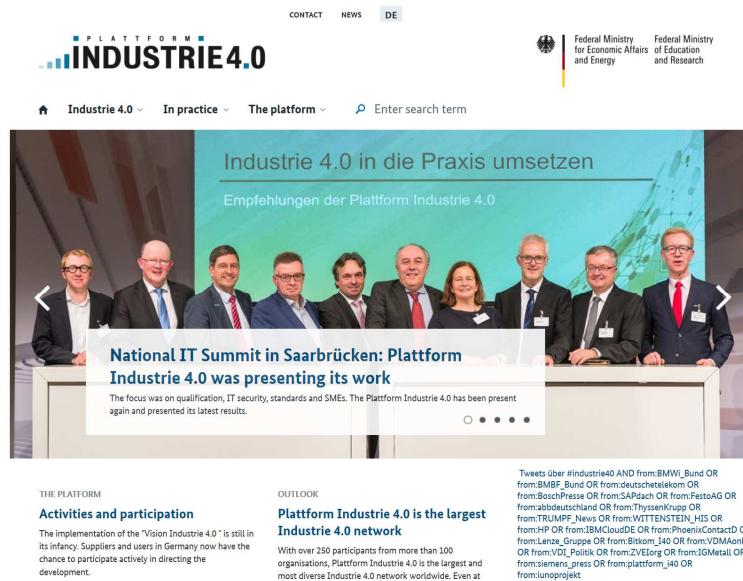


Figura 1. Captura web de la plataforma Industrie 4.0. alemana. Fuente: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

Con respecto a España, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha creado el sitio web “Industria Conectada 4.0, la transformación digital de la industria española”<sup>2</sup>, donde recoge las líneas de actuación de la iniciativa “Industria Conectada 4.0”. En concreto Industria conectada 4.0 se trata de un proyecto público-privado que nace con fin de impulsar la transformación digital de la industria española y que ha contado con el apoyo de Indra, Telefónica y Banco Santander. La iniciativa tiene un triple objetivo: incrementar el valor añadido industrial y el empleo cualificado en el sector; favorecer el modelo español para la industria del futuro y desarrollar la oferta local de soluciones digitales; desarrollar palancas competitivas diferenciales para favorecer la industria española e impulsar sus exportaciones.

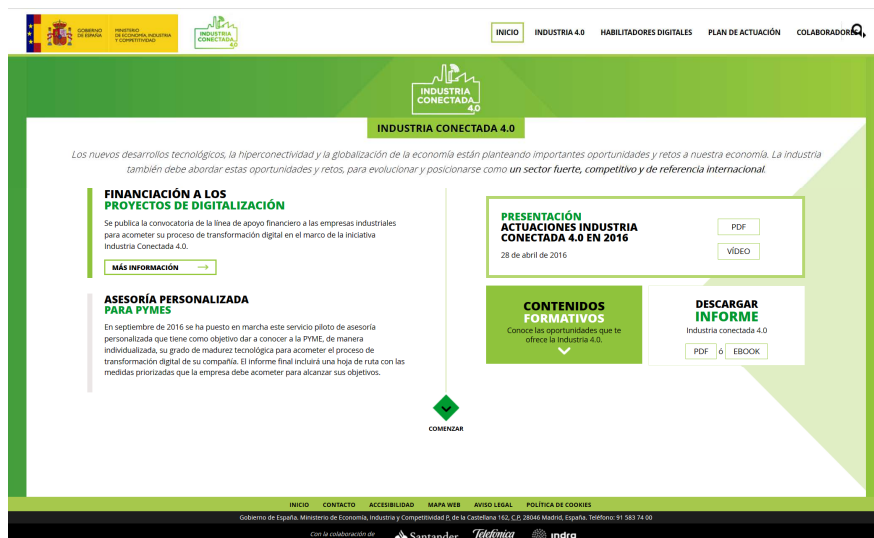


Figura 2. Captura del sitio web Industria Conectada 4.0. Fuente: Minetur, 2015

<sup>2</sup> <http://www.industriaconectada40.gob.es/>

A grandes rasgos, los beneficios de la iniciativa relacionada con la Industria 4.0 se podrían agrupar en cuatro áreas según Boston Consulting Group (2015):

- **Productividad:** los beneficios se estiman en € 90-150 millones en los próximos 5-10 años por motivos de mejora de productividad de entre un 15-25% sin incluir los costes de material, y 5-8% incluyendo los costos de materiales. Se espera que los mayores beneficios en el sector industrial componentes y de automoción.
- **Crecimiento de los ingresos:** se estima en € 30 millones o el 1% del PIB de Alemania al año sobre la base de un aumento previsto de la demanda de los fabricantes de equipos mejorados y nuevas aplicaciones de datos, además de la demanda o consumo de una mayor variedad y creciente de productos personalizados.
- **Empleo:** se prevé un aumento del empleo, aunque se prevé la necesidad de diferentes habilidades y de que algunos trabajadores poco cualificados pueden ser desplazados por las máquinas, mientras que otros, tales como ingenieros mecánicos, desarrolladores de software y TI expertos estarán en mayor demanda.
- **Inversión:** se prevé la necesidad de inversión en adaptación de las instalaciones y en tecnología durante los próximos diez años.

Estos beneficios a grandes rasgos originarán cambios tanto a nivel de proceso, como de producto y de modelo de negocio:

- **Proceso.** Incorporar tecnología para hacerlos más eficientes y flexibles.
  - Reducción del TTM (Time To Market).
  - Información en tiempo real para una gestión eficiente tanto proactiva como reactiva planificada.
  - Eliminación de papel.
  - Reducción de errores.
  - Reducción de tiempos de programación de las máquinas.
  - Mejora de la eficiencia (optimización de recursos energéticos, materias primas, en definitiva, reducción de costes).
  - Mayor flexibilidad (la impresión 3D reduce los tiempos de diseño de productos y abre las puertas a la personalización de los productos.)
  - Reducción de los plazos (abre la puerta a reducir los plazos basados en la eliminación de los procesos manuales actuales). La robótica permite en teoría flexibilizar los procesos.
- **Producto** (productos que incorporan sensores y permiten funcionalidades que hasta ahora de no existían).
  - Posibilidad de nuevas funcionalidades (textiles, coches, etc.)
- **Modelo de negocio**
  - Nuevos modelos de negocio gracias a las nuevas posibilidades que ofrece.
  - Diseño de tu propio producto para que te lo fabriquen en el momento.
  - La incorporación de sensores, nuevos sistemas de comunicaciones, el IoT, permite plantear negocios hasta ahora imposibles.
  - Se podría llegar a compartir recursos industriales que estuvieran sin carga de trabajo. (por ejemplo: ofertar horas de máquina)

Estos ejes no son nuevos, sobre ellos se ha trabajado a lo largo del tiempo, la novedad es que la industria 4.0 va a permitir un salto cualitativo muy importante, abriendo oportunidades hasta ahora insospechables.

El impacto de la Industria 4.0 evidentemente será diferente entre países y entre tipología de industrias. Por ejemplo, industrias con un alto nivel de variantes de productos tales como las empresas de automoción, alimentarias se beneficiarán de un mayor grado de flexibilidad, mientras industrias con un enfoque de alta calidad, tales como los semiconductores y farmacéutica se podrían beneficiar de la reducción de las tasas de error.

Uno de los negocios clave que se prevé de forma considerable en aumento en importancia incluye los proveedores de tecnología, proveedores de infraestructura (computación en la nube, almacenamiento de datos grande y procesamiento, telecomunicaciones, etc.) e industriales (por ejemplo, los usuarios de Siemens, VW o BASF).

El impacto puede también ser diferente en función del tamaño de la empresa, donde por ejemplo las pequeñas empresas puedan proporcionar y desarrollar servicios derivados a las más grandes y de esta forma integrarse aún más en las cadenas de valor.

Con la Industria 4.0 también podrían beneficiarse regiones remotas o subdesarrolladas con el uso de las tecnologías de digitalización o con tecnologías como las tecnologías como el 3D, el concepto de la producción descentralizada, etc.

La transformación digital de la industria implica la aplicación de un conjunto de tecnologías en toda la cadena de valor de la misma. Teniendo en cuenta la visión de la “Industry 4.0 Platform” alemana y los grupos de trabajo creados, los retos a grandes que se plantean son:

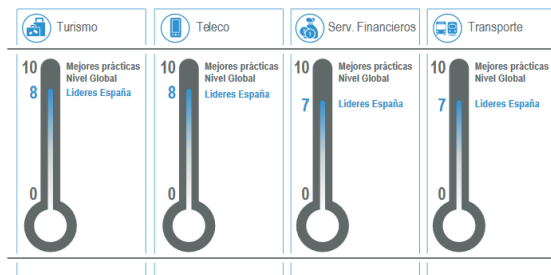
- **Uniformidad normativa.** Consenso en el proceso de normalización y determinación de estándares y modelo de referencia. Una de las tareas principales de la plataforma es incorporar las normas y estándares existentes en RAMI 4.0 (Arquitectura del modelo de referencia) y reducir posibles solapamientos y lagunas existentes, disminuyendo el número de normas. De cara a minimizar posibles problemas de comunicación entre máquinas, sistemas de almacenamiento, productos, empleados, proveedores, empresas asociadas y clientes.
- **Necesidad de financiación por parte de organismos nacionales** que apoyen las líneas de investigación e innovación relacionadas con la industria 4.0. Se puede encontrar una incapacidad por parte de las empresas para adaptarse a las nuevas tendencias, por falta de capacidad financiera para afrontar la transformación requerida.
- **Seguridad de los sistemas en red.** Necesidad de resolver las cuestiones pendientes relativas a la comunicación segura e identidades seguras de posibles socios de la cadena de valor. Se tendrá también en cuenta la detección de ataques cibernéticos en los procesos de producción y sus implicaciones. Ambos enfoques deben ayudar a facilitar la necesaria confianza entre los socios de la cadena de valor.
- **Análisis del marco legal.** Será necesario evaluar las oportunidades y los riesgos presentados por Industria 4.0 en términos legales, de cara a desarrollar e implementar nuevas normas y modelos de negocio, siendo necesario que cubra toda la comunicación conectada mecánicamente.
- **Análisis del trabajo, educación y formación.** La transición hacia una industria de red sólo tendrá éxito si los actores relevantes están involucrados en el proceso de cambio desde el primer momento. Se han definido tres campos estrechamente relacionados entre sí por sus esfuerzos:

- En los espacios de información y de producción en red, interfaces hombre-máquina y la cooperación deben ser diseñadas para servir a los intereses de las personas involucradas y la capacidad innovadora de las empresas.
- Los marcos organizativos para la coalescencia de las redes de valor deben ser diseñados para facilitar el trabajo y el aprendizaje en los procesos.
- Programas de formación y capacitación en los campos híbridos deben ser diseñados para acomodar el desarrollo de habilidades operacionales, el aprendizaje *process-oriented* y las nuevas formas de aprendizaje.
- **Exceso de información.** El exceso de información puede afectar de diferentes formas:
  - **A nivel de los clientes.** Esto puede convertirlos en más exigentes, llegando a un nivel de exigencia que hace imposible a las empresas operar.
  - **Saturación de los datos.** Un exceso de datos puede provocar una saturación en las empresas, por no ser capaces de darles un tratamiento adecuado para convertir los datos en información.
- **Herramientas adecuadas.** Un reto importante es proporcionar las herramientas adecuadas para que las empresas puedan aprovechar todas las oportunidades.

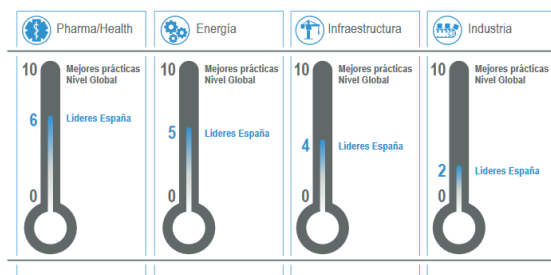
En lo relativo a la situación actual de las empresas industriales de los sectores sector maderameuble y metalmeccánico en España respecto del uso de las TIC, con respecto a otros países de la Unión Europea, no es muy avanzada.

Aunque no existen estudios generales específicos de estos sectores, en el informe elaborado por Roland Berger con el patrocinio de Siemens (2016) se indica que sólo un 10% de las empresas industriales afirman tener una estrategia digital formalizada. En el barómetro de digitalización detallado en este estudio y realizado en colaboración con Divisadero, considerando que las mejores prácticas a nivel global son el valor máximo (10), las empresas industriales líderes en España alcanzan un valor de 2, que contrasta fuertemente con el valor de 8 alcanzado por las empresas líderes del sector Turismo.

Barómetro de digitalización – Sectores avanzados



Barómetro de digitalización – Sectores "Road ahead"



**Figura 3. Posición de la Industria en el barómetro digital. Fuente: Divisadero en informe de Roland Berger, 2016**

Las PYME del sector deben pensar en todas las oportunidades que el mundo digital les ofrece para integrar a su cadena de suministro y clientes de forma integrada a través de las nuevas tecnologías. Además de la transformación digital de los procesos productivos, es fundamental hoy en día aprovechar las redes sociales ya que ahí existen grandes fuentes de datos que pueden ayudar a mejorar los productos, procesos, ventas y crear nuevos modelos de negocio.

Las recomendaciones más concretas para la puesta en marcha de un modelo similar al propugnado por la Industria 4.0 se pueden resumir en la figura siguiente, extraída del informe *Industria Conectada 4.0. La transformación digital de la industria española* (Minetur, 2015).



**Figura 4. Líneas de actuación, áreas estratégicas y objetivos de la iniciativa Industria Conectada 4.0. Fuente: Minetur, 2015**

### 2.1.2. Las personas: cualificación y competencia para la Industria 4.0

La globalización de la economía y la rápida integración de las tecnologías de la información y la comunicación en el lugar de trabajo han alterado significativamente los requisitos de contenido de trabajo y conocimientos de la mano de obra. La tecnología está impulsando esta nueva economía, pero el capital humano es su combustible (Moe y Boldget, 2000). En el siglo XIX, los bienes de equipo fueron vistos como el único factor decisivo para impulsar el crecimiento económico y al mismo tiempo los conocimientos y habilidades sólo jugaron un papel de apoyo. En esta era de la cuarta revolución industrial, la prosperidad económica depende de cerebros en lugar de la fuerza muscular.

Como se hace referencia en otro apartado del documento (ver 2.2), la convergencia de una serie de tecnologías (sensórica, IoT, Big data, impresión 3D, etc.) denominadas en forma genérica “habilitadores digitales”, permiten responder a los nuevos y siempre cambiantes requerimientos del mercado y de los clientes, así como asegurar la sostenibilidad de los negocios, actuando sobre los drivers de la competitividad industrial.

Para poder aprovechar todas las ventajas de las tecnologías digitales, Europa necesita un sector digital altamente innovador y una mejora de la capacidad de innovación digital de todas las industrias. También requiere un sector público innovador que muestra la manera de abordar la transformación digital para mejorar la eficiencia y garantizar un servicio de alta calidad para todos los ciudadanos. Pero para la puesta en uso de todos estos avances en el mundo de la tecnología y la digitalización, no va a ser suficiente contar con sistemas inteligentes que cada vez serán más sofisticados, sino que como siempre va a ser necesaria la intervención por encima de todos ellos de las personas.

Más del 30% de los trabajadores de la Unión Europea (Comisión Europea, 2015) cuenta con un insuficiente nivel de habilidades digitales. La necesidad de nuevos conocimientos multidisciplinares y digitales es ya evidente y la brecha entre la demanda y la disponibilidad de trabajadores cualificados digital en Europa es cada vez mayor.

Las innovaciones digitales y tecnológicas en el entorno de la Industria 4.0 tienen también un gran potencial de creación de puestos de trabajo en la industria con el crecimiento de nuevos negocios y ayudando a preservar puestos de trabajo industriales repatriados de los procesos *off-shore*.

Mirando sólo a profesionales de las TIC, más de un millón de puestos de trabajo se han creado en los últimos tres años. A pesar de esto, se espera que la demanda en rápido crecimiento dará lugar a más de 800.000 puestos sin cubrir en 2020 (Comisión Europea, 2016). Al mismo tiempo, los avances en la automatización, robótica y sistemas inteligentes están transformando cada vez más la naturaleza del trabajo, no sólo para las tareas repetitivas, sino también para tareas sofisticadas en las funciones administrativas, legales o de supervisión.

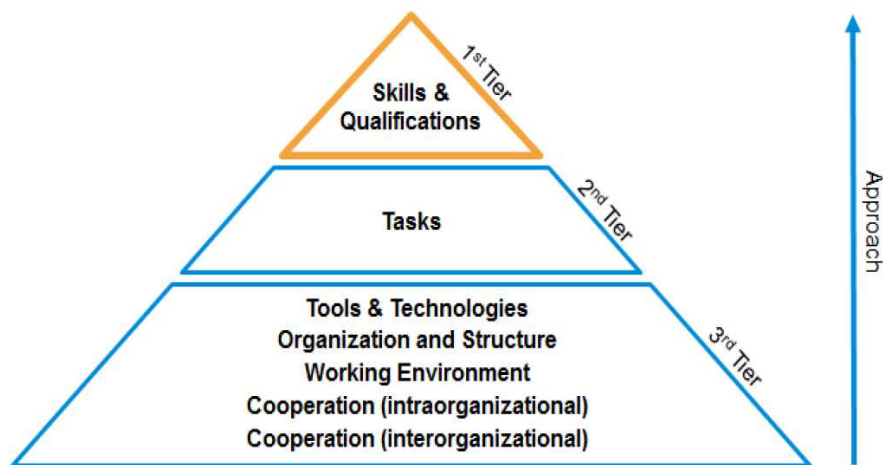
El trabajo en la cuarta revolución industrial implicará también nuevas habilidades y capacidades, y se requerirá una mejora de las cualificaciones de la fuerza de trabajo a todos los niveles.

Para el éxito de todos estos retos exigidos a los trabajadores, va a ser necesaria la actuación conjunta y decidida de los órganos de la administración, las organizaciones empresariales, los colectivos sociales y por supuesto el esfuerzo particular de los trabajadores.

### **Cambios en la estructura organizativa y entorno de trabajo**

En la publicación de la VDI, *Association of German Engineers*, y ASME, *American Society of Mechanical Engineers* (2015), se identifican tres niveles de aproximación a la fábrica del futuro, de forma que la cualificación y competencias necesarias surgen de las tareas que se deben realizar, que a su vez emanan de cuatro ámbitos de actuación:

- Herramientas y Tecnología
- Organización y estructura
- Entorno de trabajo
- Cooperación: interna y externa a la organización



**Figura 5. Niveles de aproximación a las competencias digitales. Fuente: VDI y ASME, 2015**

Respecto de las herramientas y la tecnología, la evolución tecnológica en equipos, la digitalización y la extensión de las comunicaciones en los entornos ciberfísicos generará los siguientes impactos:

- La cualificación para tareas manuales irá disminuyendo.
- El trabajador dispondrá a su alcance toda la información necesaria y a tiempo para tomar decisiones.
- Los sistemas de asistencia inteligentes permitirán tomar decisiones de forma más ágil y en corto espacio de tiempo.
- El coworking en el espacio de trabajo entre robots inteligentes y personas, requerirá menos esfuerzos y atenciones a la ergonomía del trabajo.
- La aplicación y supervisión humana será más relevante que nunca.

Por otra parte, el cambio significativo en las tecnologías utilizadas debe y provocará de forma conjunta una revolución en la organización y estructura. La gestión facilitada por los elementos TIC y regida por la integración vertical y horizontal mediante sistemas ciberfísicos, así como el Internet de las cosas (IoT), hará que la fábrica del futuro sea más flexible, cambiante, descentralizada, y no como determinista como las organizaciones de hoy (Henke, 2014).

Los trabajadores, capaces de trabajar con el flujo de información y datos, no necesariamente estarán unidos a una determinada zona de producción. Las nuevas capacidades de los trabajadores experimentadas a través de sus dispositivos inteligentes mejorarán las posibilidades de rotación en el empleo y el enriquecimiento del trabajo. Se espera que todos los puestos de trabajo de mano de obra especializada mejoren al contar con mayor responsabilidad y más poder de toma de decisiones. Los trabajadores de la planta de producción se organizarán en gran medida en diferentes equipos de corto y largo plazo para centrarse en la solución de los problemas que se producen.

Las empresas u organizaciones proporcionarán un ecosistema en el que la resolución de problemas se realiza en colaboración con todas las partes que participan en el taller y sin mucha influencia de una jerarquía superior (Bauernhansl et al., 2014).

Una vez que la mano de obra calificada recibe más poder de decisión e influencia, la organización y la estructura de las empresas será más plana. Y no sólo tendrá un efecto sobre la mano de obra especializada, sino también de los ingenieros y gerentes de los niveles jerárquicos más bajos, ya que se cederán más responsabilidades o los trabajadores de línea:

- Los trabajadores evolucionarán hacia un mayor rol supervisor.
- Se originará un mayor empoderamiento de los trabajadores de planta.
- La resolución de problemas no se producirá de forma aislada en el puesto de trabajo, sino que dispondrá de mayores medios de apoyo y sobre todo se hará de forma colaborativa con otros trabajadores y con menos influencia de la jerarquía, el trabajador será más autónomo.
- Se producirá un alisamiento de la estructura.

En el entorno de trabajo y la organización va a resultar necesario potenciar e incorporar nuevas habilidades que podemos calificar como transversales y necesarias para interactuar con los habilitadores digitales en la industria. Volviendo al esquema propuesto por la BDI y ASME (2015), se aprecia que muchas tareas, y por ello habilidades, serán reflejo de los cambios en la organización y estructura provocadas por la adopción de las TIC y los cambios esperados en esta cuarta revolución industrial. Dentro del entorno laboral podemos distinguir tres ámbitos en los que se van a producir estos cambios y por tanto necesidades de habilidades y competencias del personal involucrado.

- a) Aspectos organizativos
- b) Entorno propio de trabajo
- c) Cooperación

#### a) Aspectos organizativos

Se producirá un *alisamiento en las organizaciones* con menos niveles jerárquicos, y se originará una cesión de poder en la toma de decisiones de los ingenieros y gerentes hacia niveles más bajos. Las cuestiones técnicas muy complejas se objetivarán por medio de la estandarización y el uso de sistemas inteligentes.

Esta nueva estructura provocará un mayor *empowerment* de los trabajadores y mayor autonomía, variando los roles en el trabajo hacia tareas de supervisión y capacidad de resolver problemas, y que no se producirá de forma aislada en el entorno de trabajo. El



empleado dispondrá de mayores medios y desempeñará su tarea de forma colaborativa sin mucha influencia, como se ha dicho antes, de la jerarquía empresarial.

Parte de los aspectos de planificación se trasladarán a los trabajadores de planta de producción, y la labor de los ingenieros en las industrias se orientará a tareas de mejora de procesos y gestión de residuos.

Toda la información será ubicua y estará al alcance de todos los trabajadores, disponible también en todo tipo de dispositivos móviles, lo que permite la extensión del trabajo fuera de la oficina o lugar de trabajo.

Pese a alcanzar elevadas cotas de automatización, la toma de decisiones a alto nivel seguirá siendo responsabilidad de las personas, y no de las máquinas o sistemas de asistencia inteligentes, aunque su aporte sea crucial.

#### *b) Entorno propio de trabajo*

Los entornos de trabajo serán más limpios y seguros, con presencia plena de mujeres, y entornos creativos y abiertos donde la información para el desarrollo de las tareas estará disponible a demanda del trabajador.

La monotonía, tareas repetitivas y con falta de ergonomía serán reducidas al mínimo o suprimidas por completo. El trabajador estará libre para asumir tareas de más cualificación y especialización. El contenido de los trabajos será cada vez menos manual y más de supervisión y control de equipos y dispositivos, o sea menos físico y más intelectual.

La casuística de situaciones, supuestos, problemas y soluciones serán almacenadas y accesibles en minutos para una mayor gestión del conocimiento. Además de la comunicación hombre-hombre será fundamental, gracias a la inteligencia artificial, la comunicación hombre-máquina y con todos los dispositivos IoT, así pues, las personas deberán trabajar con soltura todo tipo de dispositivos y sistemas de asistencia a la operación de fabricación. Se podrá interactuar con los dispositivos no solo de forma táctil, sino también por voz y gestos. Las nuevas tareas requerirán tratar con una gran cantidad de información, ya que los procesos de las fábricas del futuro no serán ordenados por flujo de materiales si no de información.

#### *c) Cooperación*

La creación de redes y la interconexión son componentes centrales de la Industria 4.0. Los trabajadores colaborarán y se comunicarán sin fronteras, ya que la utilización de dispositivos inteligentes los conectará en tiempo real con sus compañeros y herramientas de trabajo, según sea necesario.

Por ejemplo, un problema detectado en un puesto de producción en cualquier lugar del mundo podría ser comunicado en cuestión de minutos y estar inmediatamente disponible para otros puntos de la red de producción que podrían compartir el mismo problema, de forma que se permite el análisis y la aplicación de soluciones conjuntas, que serán puestas a disposición de todos los miembros de la empresa. De esta manera se reduce el tiempo entre la identificación y la solución de un error a nivel global y las curvas de aprendizaje se acortan sensiblemente.

La comunicación entre empresas será un elemento en continuo desarrollo, como ya puede verse hoy en día en el área de mantenimiento digital y remoto, donde los proveedores de servicios pueden acceder a sistemas de robótica en una planta de fabricación desde fuera de la fábrica para realizar tareas de actualización de equipos o de mantenimiento con una capacidad de respuesta inmediata.

No obstante, para que este entorno cooperativo se desarrolle, la seguridad informática tendrá que avanzar y estar libre de errores para permitir la amplia difusión de este tipo de cooperación. Sin embargo, debido al gran impacto sobre la eficiencia global dentro de una fábrica, la cooperación entre organizaciones aumentará de manera considerable. Además, la cantidad de agentes externos involucrados en procesos colaborativos aumentará. Por ejemplo, las colaboraciones con institutos de investigación y universidades, que no son proveedores clásicos, se incrementará debido al carácter interdisciplinario de la producción digital o Industria 4.0.

El trabajo en red y colaboración entre las personas, tanto dentro de la propia organización como hacia el exterior con las demás organizaciones involucradas en la cadena de valor, dentro del entorno de la Industria Conectada 4.0 es un factor clave. La colaboración y comunicación sin restricciones en tiempo real coexistirá con la offline de hoy, y diferentes sesiones de trabajo, talleres, seminarios, sesiones de entrenamiento, pueden ser llevados a cabo en línea. El trabajo en equipo se revela como un factor fundamental no solo a nivel jerárquico interno, sino que se debe extender a las partes interesadas de toda la cadena de valor.

### ***Conocimientos y competencias recomendadas para el trabajador de la fábrica del futuro***

Siguiendo con la misma publicación (VDI y ASME, 2015) y basados en las tareas y nuevo entorno organizativo que se deriva de la fábrica del futuro, se identifican en el informe las habilidades y competencias recomendadas e importantes para la mano de obra cualificada en el nuevo paradigma de la Industria 4.0. Estas habilidades y competencias no están al mismo nivel de importancia. Por ello, en la tabla se clasifican, por orden de prioridad, entre Debe (*Must*), Debería (*Should*), Podría (*Could*) y, a su vez, entre cualificaciones técnicas y habilidades personales.

Table 1. Qualifications and skills of workers in a factory of the future \*

		Must...	Should...	Could...
		<i>...be included in the skillset of the skilled labor of the future.</i>		
Technical Q&S	IT knowledge and abilities		Knowledge Management	Computer programming/coding abilities
	Data and information processing and analytics		Interdisciplinary / generic knowledge about technologies and organizations	Specialized knowledge about technologies
	Statistical knowledge		Specialized knowledge of manufacturing activities and processes	Awareness for ergonomics
	Organizational and processual understanding		Awareness for IT security and data protection	Understanding of legal affairs
	Ability to interact with modern interfaces (human-machine / human-robot)			
Personal Q&S	Self- and time management		Trust in new technologies	
	Adaptability and ability to change		Mindset for continuous improvement and lifelong learning	
	Team working abilities			
	Social skills			
	Communication skills			

\* The order of listing within the three categories does not indicate a prioritization among the factors of the respective category. The table shows the most important qualifications and skills as identified throughout the project. The list is not intended to be exhaustive.

**Figura 6. Conocimientos y competencias recomendadas para los empleados de la industria del futuro. Fuente: VDI y ASME, 2015**

Basado en los resultados plasmados en la tabla, se observa que en el aspecto técnico son muy importantes competencias relacionadas con el análisis de información y procesamiento de datos, conocimientos de estadística, dominio de los procesos clave de la empresa y habilidad para trabajar e interactuar con interfaces modernas (hombre-máquina, hombre-robot). También, debido a la omnipresencia de información y datos y la integración de los diferentes procesos de negocio, los trabajadores necesitan ganar habilidades de gestión del conocimiento y una comprensión interdisciplinaria de su organización, sus procesos y tecnologías utilizadas. Además, conceptos como la seguridad y la protección de datos tendrán que estar muy asumidos por los empleados del futuro. También serán útiles, aunque no requeridos, conocimientos técnicos relacionados con la programación o el derecho.

Además, en la tabla anterior se recomiendan una serie de habilidades personales que ya no serán exclusivas de los puestos más cualificados o de la alta dirección. El trabajo en equipo, gestión del tiempo, habilidades comunicativas, buena disposición respecto de la tecnología y una actitud para la mejora continua y el aprendizaje serán requisitos deseables habida cuenta que la dinámica de cambios en la producción industrial será más intensa.

Como complemento a los resultados plasmados por la VDI y ASME (2015), el informe de Boston Consulting Group (2016) titulado *Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0* señala en sus resultados la búsqueda de talento y la falta de competencias digitales de los empleados como uno de los retos principales de la Industria 4.0. En este sentido, la transición

hacia el nuevo modelo industrial demanda principalmente una fuerza de trabajo con competencias en materia de gestión de datos, seguridad de datos, desarrollo de software, programación, ciencia de datos y analítica, interfaces hombre-máquina, etc., tal y como refleja la siguiente figura:

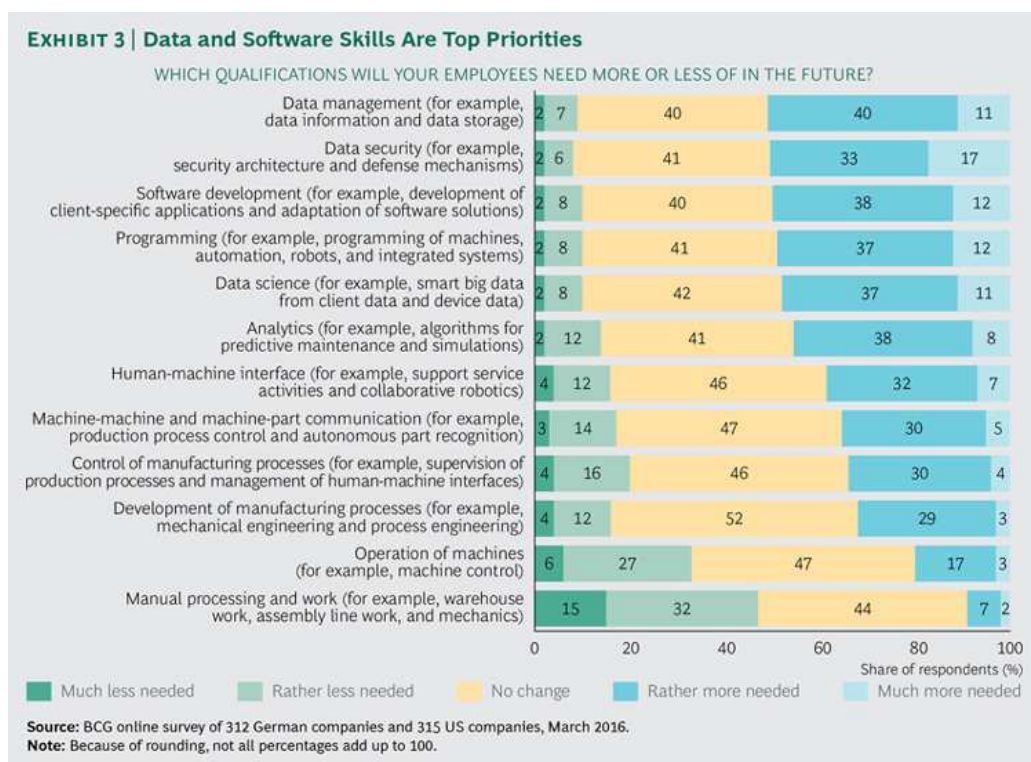


Figura 7. Data and Software Skills Are Top Priorities. Fuente: BCG, 2016

Por último, es interesante tener una perspectiva respecto de las competencias digitales a nivel de la empresa española y conocer las necesidades de formación y perfiles profesionales presentes y futuros. En este sentido, a continuación, se resumen los resultados del informe *Estudio sobre Competencias Digitales en la Empresa Española*, publicado por ESIC en 2015:

- *Hábitos digitales en la empresa*
  - Las empresas no están aprovechando el potencial de las nuevas herramientas de gestión para ser más productivos y eficientes.
  - Los medios digitales que necesitan mayor desarrollo y más implicación estratégica como las *apps* móviles, tienda online o blog corporativo son aún soportes a explotar, bien por desconocimiento de la importancia estratégica o del cómo implementarlo con éxito
  - Más de la mitad de las empresas en España, declaran tener muy implementado el trabajo en “la nube”
- *Perfiles digitales profesionales*
  - Se identificaron 9 perfiles digitales: Analista Web, Especialistas Posicionamiento Web, Responsable e-Commerce, Responsable de Contenido Digital, Web Master y Desarrollo

Web, Desarrollador de Apps, Digital Marketing Manager, Social Media Manager, Experto en Comunicación Digital, Business Intelligence Manager, Managers Customer, Experience Manager, el resultado de la encuesta refleja que:

- El 100% de las empresas conocen esas funciones.
- Sin embargo, el 73% de las compañías no tienen un puesto específico para esas principales funciones.
- De media, solo el 63% de las empresas tienen implementada esas funciones fundamentales.
- Las funciones digitales más implementadas son las relacionadas con la web y su rendimiento.
- Solo en un 25% de las empresas hay puestos y formación específica para estas funciones digitales.

- *Competencias digitales*

- Se identificaron 39 competencias en 9 áreas con los siguientes resultados:
  - Lo que más destaca es que las competencias digitales a las que los directivos dan actualmente más relevancia –y por lo tanto están más implantadas- son marketing digital y gestión digital.
  - A otro nivel *e-commerce* y comunicación digital.
  - A nivel general los aspectos estratégicos son los más relevantes a juicio de los directivos entrevistados, destacando por encima de otros captar y fidelizar clientes mediante una estrategia digital.
  - La mayoría de las 10 competencias digitales donde el nivel de cumplimiento (lo real) es menor que la importancia que le dan los directivos (lo ideal), son competencias muy estratégicas. De hecho, algunas de ellas están en el top 10 ideales.
  - Las competencias relacionadas con web, redes sociales y comunicación digital son las más implantadas respecto a la relevancia que le dan los directivos.
  - En prácticamente todos los cargos hay un importante *gap* entre la relevancia y el cumplimiento de las disciplinas.
  - Marketing Digital, *Customer Experience*, *Big Data* e Innovación son las disciplinas donde existe un mayor *gap* para casi todos los cargos.
  - En el resto de disciplinas quizá no sea tanto por una buena implantación sino porque no lo dan relevancia (*e-commerce*, publicidad digital etc.,).
  - Las competencias más relevantes e implementadas para la dirección son Marketing Digital, Comercio Electrónico y Gestión Digital (generar demanda, vender, y eficiencia en gestión).
  - A otro nivel, dan importancia a la Comunicación Digital (reputación) y a la Experiencia del Cliente.
  - Y destaca la poca relevancia y, por lo tanto, la poca implementación que aún dan a la Innovación y al Conocimiento del Cliente (Big Data).
  - Los responsables de RRHH dan la mayor relevancia la disciplina de Gestión Digital.
  - A otro nivel, dan importancia al Marketing Digital, al *e-commerce* y a la Comunicación Digital.
  - Y destaca, de nuevo, la poca relevancia, y por lo tanto, la poca implementación que aún dan a la Innovación y al Conocimiento del Cliente (*Big data*).

- *Necesidades formación*

- En el 72% de las empresas, los directivos declaran que en su organización no se recibe formación digital de forma periódica ni se sienten completamente al día.
- La eficacia es lo que más se valora a la hora de elegir la modalidad presencial.
- La flexibilidad y la accesibilidad son el mayor motivador para elegir la modalidad online.
- El mix entre la eficacia, la flexibilidad y la eficacia son las principales razones para preferir la formación *blended*.
- El 78% de las empresas prevén hacer una inversión en formación digital media/fuerte en los próximos dos años.
- En general, el profesional como individuo se considera con una capacitación digital mayor que la de su propia empresa frente a su sector y que la de su empresa en relación a todo el mercado.
- En general la necesidad de formación sobre competencias digitales es muy alta.
- Hay una clara relación entre recibir formación, seguir invirtiendo en formar el talento y en invertir en proyectos digitales.

### 2.1.3. Conceptos para el desarrollo de un modelo de Industria 4.0

Algunas de las publicaciones e informes revisados en el presente apartado, exponen los conceptos de la industria 4.0 organizados desde diferentes enfoques o visiones. A continuación, se resumen los principales visiones y conceptos detectados.

#### *Visión de los nuevos requerimientos del mercado*

La transformación digital de la economía está provocando grandes cambios en la industria, tanto en la demanda de tecnologías, con clientes más exigentes y sofisticados, como en su oferta, con el desarrollo de nuevos habilitadores tecnológicos que cambian las reglas del juego. La digitalización a nivel de cliente/usuario (tanto cliente intermedio como cliente final) ha dado lugar a que éste se vuelva más sofisticado a la hora de demandar productos y servicios.

Según el trabajo desarrollado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2015), dentro de la iniciativa Industria conectada 4.0, los nuevos requerimientos del mercado en la economía digital se pueden resumir en:

**1) Personalización masiva:** el consumidor, tanto final como intermedio, demanda cada vez más productos singulares y adaptados a sus preferencias, pero a bajo precio. La personalización masiva implica la producción a bajo coste de productos y servicios de alta calidad y en grandes volúmenes, pero personalizando el producto o servicio a las necesidades y gustos del cliente.

**2) Acceso omnicanal a los productos y servicios:** con la aparición de canales digitales, los canales se han multiplicado. El cliente ahora requiere de una mayor coherencia entre todos los canales. El reto de la omnicanalidad es eliminar las diferencias entre canales, haciendo que las relaciones con el cliente sean homogéneas independientemente del medio utilizado (ya sean físicos o digitales).

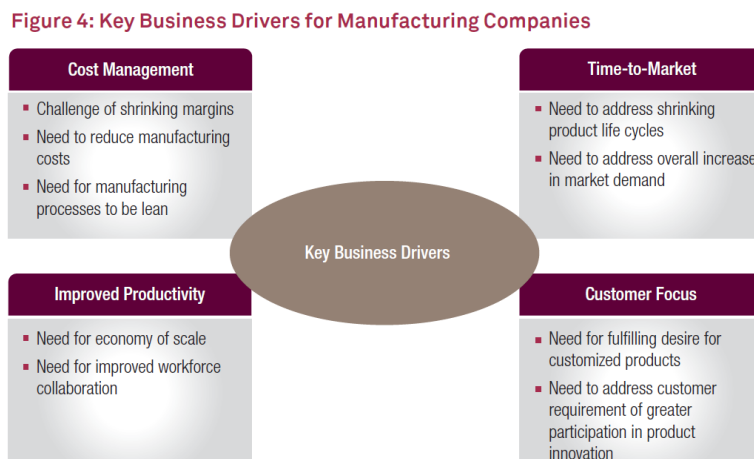
**3) Conocimiento predictivo de los hábitos de uso y consumo:** la empresa, cada vez más, deberá ser capaz de adelantarse a las demandas del cliente, ofreciéndole, entre todos los productos y servicios disponibles, aquellos más alineados con sus necesidades, sus gustos y sus preferencias. El conocimiento predictivo así considerado es un medio para la personalización del servicio al cliente.

**4) Democratización del acceso a la información:** los clientes tienen acceso, en todo momento, tiempo y lugar, a toda la información disponible en un momento dado. Dicha democratización es hoy una realidad en los países desarrollados, donde la gran mayoría de la población tiene acceso a internet y, por medio de éste, a noticias, precios de productos y servicios, opiniones, ideas, publicaciones, informes, etc. de todo tipo y de todo el mundo.

#### **Visión de los nuevos drivers de competitividad**

Otros artículos identifican los nuevos drivers de competitividad que deben de conjugar las empresas en la nueva economía digital, que sin duda deben de surgir de los nuevos requerimientos del mercado, expuestos en el apartado anterior.

Al respecto, la consultora Capgemini (2012) propone cuatro drivers de negocio que las empresas de fabricación deben de gestionar, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Source: Capgemini Consulting analysis

**Figura 8. Drivers clave de negocio en para empresas manufactureras. Fuente: Capgemini Consulting Analysis, 2012**

En primer lugar, gestión de costes, donde hay que superar el reto de la caída generalizada de los márgenes, la necesidad de reducir los costes de fabricación, y la necesidad de ajustar los procesos de fabricación al concepto “Lean”. En segundo lugar, una mejora de la productividad, vía la necesidad de alcanzar economías de escala, y mejorar la colaboración de la fuerza de trabajo. En tercer lugar, focalización en el cliente, satisfaciendo su demanda de productos customizados, así como hacer frente a los requerimientos de productos innovadores. Y por último el *time to market*, gestionando ciclos de vida de los productos más cortos, e incrementos en la demanda global.

Por su parte, la consultora McKinsey (2015) propone ocho drivers de aporte de valor que debe de gestionar la empresa en su transformación en industria conectada, tal y como se puede comprobar en la siguiente figura:

The McKinsey Digital Compass maps Industry 4.0 levers to the 8 main value drivers

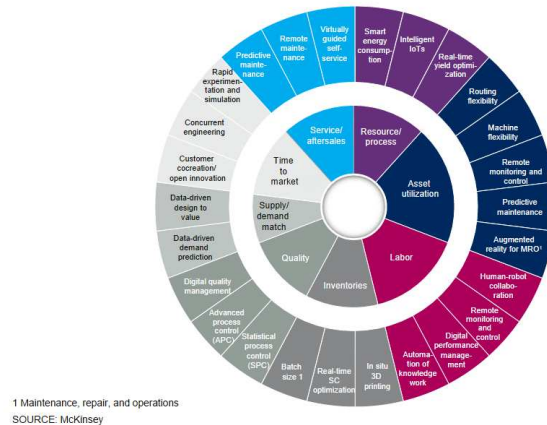


Figura 9. Drivers clave del negocio en la industria conectada. Fuente: McKinsey, 2015

Incremento de la productividad de procesos.

- Mejora de la utilización de activos.
- Incremento de la productividad de los trabajadores
- Reducción de costes de inventarios
- Mejora de la calidad
- Sincronización de oferta y demanda
- Reducción del time to market
- Reducción de costes del servicio post-venta

### ***Visión de las áreas impacto de la Industria 4.0***

El informe del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Minetur, 2015) identifica tres áreas de impacto de la industria 4.0:

- **Producto:** con nuevos productos innovadores, con nuevas funcionalidades.
- **Proceso:** nuevos procesos más eficientes, ágiles, enfocados a una personalización masiva.
- **Modelo de negocio:** aparición de nuevos modelos de negocio.





Figura 10. Niveles de impacto de la industria 4.0. Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2015

**Visión de las tecnologías habilitadoras**

Todos los estudios coinciden en identificar la tecnología como el elemento habilitador para la transformación de digital de una empresa. Los autores Arancegui y Laskurain (2016) hablan de las TIC como uno de los cuatro pilares básicos de la Industria 4.0. Entre las tecnologías identificadas se encuentran: Internet de las cosas (IoT), procesamiento en la nube, Big Data, Visión Artificial, Realidad aumentada, Simulación y Virtualización Productiva, Ciberseguridad, Fabricación Aditiva, Robótica Colaborativa y Sensórica.

Por su parte, en la publicación del Ministerio de Industria y Comercio (Minetur, 2015) sobre “Industria Conectada” se define un catálogo de habilitadores digitales, que se clasifican según si aportan hibridación entre el mundo físico y digital (impresión 3D, robótica avanzada, sensores y sistemas embebidos), comunicaciones y tratamiento de datos (ciberseguridad, computación y cloud, conectividad y movilidad), y aplicaciones de gestión intraempresa / extraempresa (soluciones de negocio, soluciones de inteligencia, plataformas colaborativas).



Figura 11. Mapa conceptual de habilitadores digitales. Fuente: Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2015

Otros autores como Gausemier y Klocke (2015), siguiendo el esquema propuesto en el proyecto Ibenzhap<sup>3</sup>, identifican también la tecnología como uno de los pilares básicos y la organizan en cuatro áreas, según su utilidad para la automatización, cooperación empresarial, IT-globalización, y lo que se denomina como “single source of truth” (una sola fuente de datos fiables).

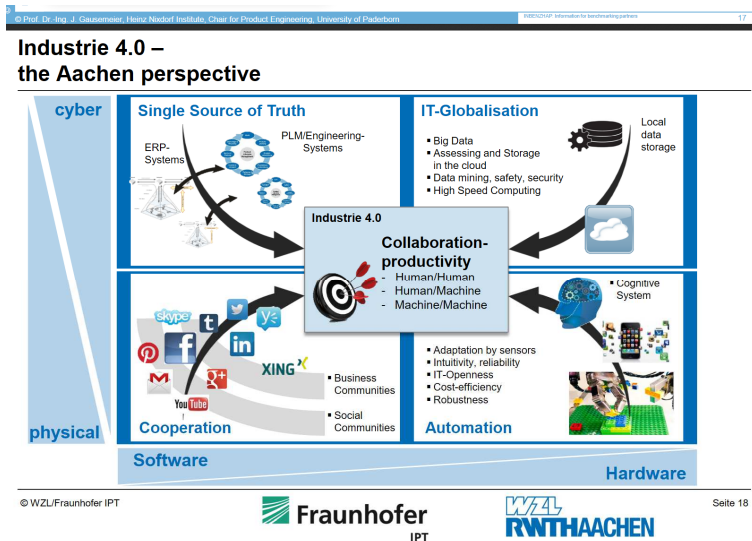


Figura 12. Industria 4.0. La perspectiva de Aachen. Fuente: Gausemier y Klocke, 2015

En otro estudio basado en la revisión de la literatura publicada (Hermann, Pentek y Otto, 2015), las tecnologías quedan englobadas bajo conceptos más genéricos, bajo el término de componentes clave de la industria 4.0: Sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas (IoT), Fábrica inteligente, Internet de los servicios, Producto inteligente, M2M, Big data y Cloud.

Table 1: Industrie 4.0 components (as identified in the 51 publications under analysis)

Search Term (Group)	Number of Publications in Which Search Term (Group) Occured
Cyber-Physical Systems, Cyber-Physikalische Systeme, CPS	46
Internet of Things, Internet der Dinge	36
Smart Factory, intelligente Fabrik	24
Internet of Services, Internet der Dienste	19
Smart Product, intelligentes Produkt	10
M2M, Machine-to-Machine	8
Big Data	7
Cloud	5

Figura 13. Componentes básicos de la Industria 4.0. Fuente: Hermann, Pentek y Otto, 2015

También respecto de los habilitadores digitales para la transformación digital la Federación Nacional de la Industria Alemana (BDI) y Roland Berger (2015) identifican los siguientes, que agrupan en Datos Digitales, Automatización, Acceso al cliente digital y Conectividad: Robótica,

<sup>3</sup> <https://www.inbenzhap.de/>

Fabricación aditiva, Redes sociales, Apps e Internet móvil, Banda ancha, Internet de las cosas, Big Data y Wewables.

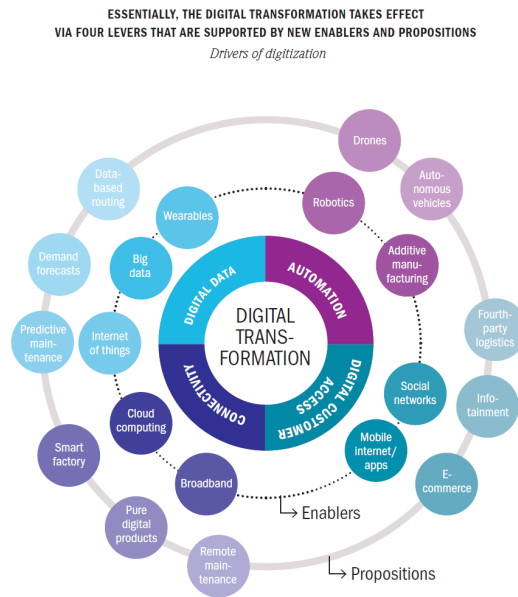


Figura 14. Habilitadores digitales para la transformación digital. Fuente: Roland Berger, 2015

La consultora tecnológica Capgemini (2014) también utiliza un concepto similar al del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (Minetur, 2015) al hablar de habilitadores tecnológicos entre los cuales identifica los siguientes: Movilidad, Cloud, M2M, Analítica avanzada, Plataformas colaborativas, Impresión 3D y Robótica avanzada.

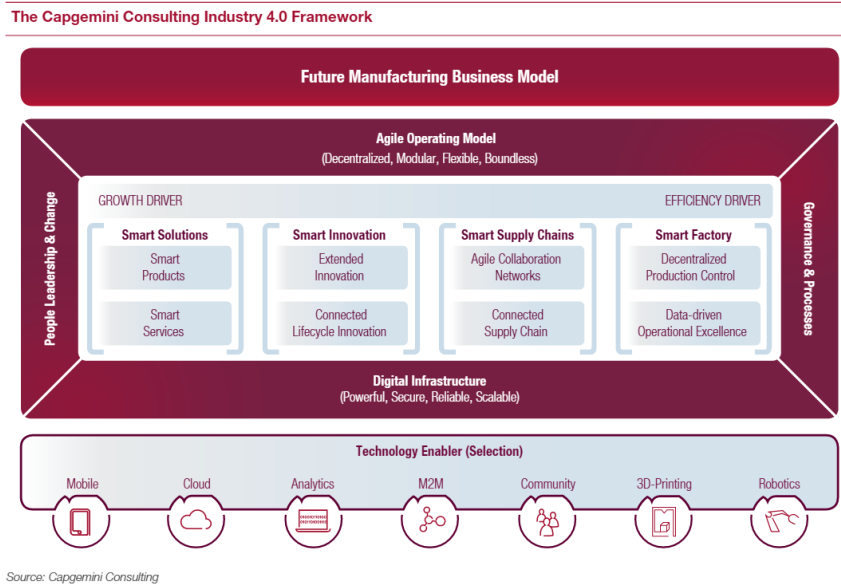


Figura 15. Habilitadores tecnológicos “Industry 4.0 Framework”. Fuente: Capgemini Consulting, 2014

Al igual que Capgemini (2014) los estudios de Impuls (2015) y Deloitte (2016), engloban la tecnología bajo conceptos más globales o áreas como Smart Factory, Smart Operation, Smart Products, o similares.

A continuación se muestra una tabla resumen de las tecnologías identificadas, las publicaciones donde han sido mencionadas, así como su relación con la clasificación de las mismas realizada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Minetur, 2015).

Tecnología	Publicaciones	Tipo de tecnología (Minetur, 2015)
Sensórica	Arancegui y Laskurain, 2016; Minetur, 2015; Gausemeir y Klocke, 2015.	Hibridación mundo físico - digital
Sistemas embebidos	Minetur, 2015.	Hibridación mundo físico - digital
Robótica (colaborativa, avanzada, etc.)	Arancegui y Laskurain, 2016; Minetur, 2015; Capgemini, 2014; Roland Berger, 2015.	Hibridación mundo físico - digital
Fabricación aditiva	Arancegui y Laskurain, 2016; Minetur, 2015; Capgemini 2014; Roland Berger, 2015.	Hibridación mundo físico - digital
Visión artificial	Arancegui y Laskurain, 2016.	Hibridación mundo físico – digital <sup>4</sup>
Realidad aumentada	Arancegui y Laskurain, 2016.	Hibridación mundo físico – digital <sup>5</sup>
Simulación y virtualización productiva	Arancegui y Laskurain, 2016.	Hibridación mundo físico – digital <sup>6</sup>
Ciberseguridad	Arancegui y Laskurain, 2016; Minetur, 2015; Gausemeir y Klocke, 2015.	Comunicación y tratamiento de datos
Computación avanzada en la nube (cloud computing)	Arancegui y Laskurain, 2016; Minetur, 2015; Gausemeir y Klocke, 2015; Capgemini, 2014; Roland Berger, 2015; Hermann, Pentek y Otto, 2015.	Comunicación y tratamiento de datos
Conectividad y movilidad	Minetur, 2015; Capgemini, 2014; Roland Berger, 2015	Comunicación y tratamiento de datos
M2M	Capgemini, 2014; Hermann, Pentek y Otto, 2015.	Comunicación y tratamiento de datos <sup>7</sup>
Big Data	Arancegui y Laskurain, 2016; Gausemeir, n.d; Roland Berger, 2015; Hermann, Pentek y Otto, 2015.	Aplicación de gestión interempresa / extraempresa
Soluciones de negocio	Minetur, 2015; Gausemeir y Klocke, 2015.	Aplicación de gestión

<sup>4</sup> Tecnología identificada por Arancegui y Laskurain (2016) y clasificación dentro de las categorías propuestas por Minetur (2015) realizada por AIDIMME.

<sup>5</sup> Tecnología identificada por Arancegui y Laskurain (2016) y clasificación dentro de las categorías propuestas por Minetur (2015) realizada por AIDIMME.

<sup>6</sup> Tecnología identificada por Arancegui y Laskurain (2016) y clasificación dentro de las categorías propuestas por Minetur (2015) realizada por AIDIMME.

<sup>7</sup> Tecnología identificada por Arancegui y Laskurain (2016) y clasificación dentro de las categorías propuestas por Minetur (2015) realizada por AIDIMME.

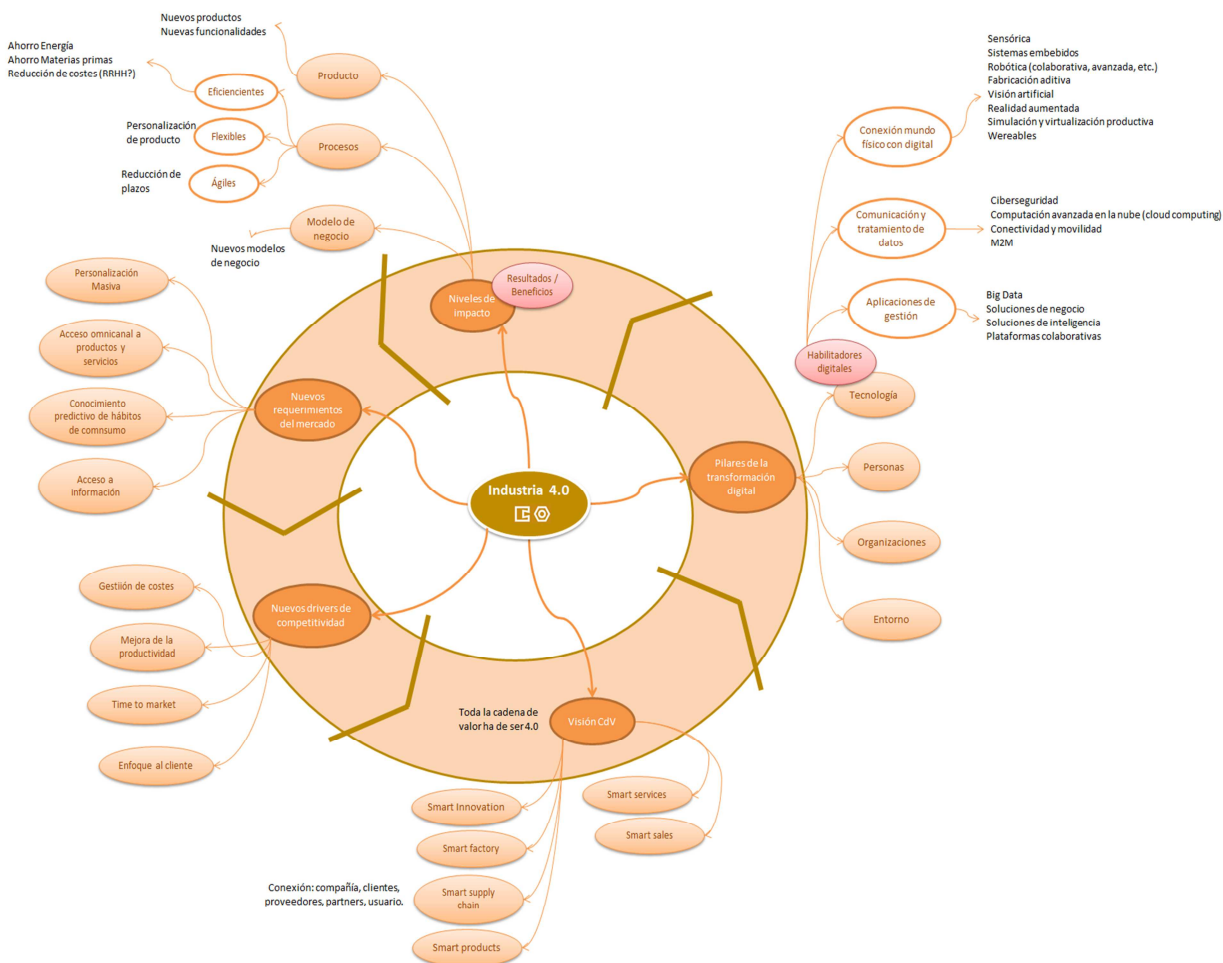
		interempresa / extraempresa
Soluciones de inteligencia	Minetur, 2015, Gausemeir y Klocke, 2015.	Aplicación de gestión interempresa / extraempresa
Plataformas colaborativas	Minetur, 2015; Capgemini, 2014.	Aplicación de gestión interempresa / extraempresa

Tabla 2. Tabla resumen de las tecnologías identificadas en el concepto de Industria 4.0. Fuente: elaboración propia

**Análisis de enfoques y conceptos**

En el presente apartado se han expuesto diferentes conceptos y visiones de lo que implica la transformación de una empresa en Industria Conectada 4.0. Aunque no existe un modelo o framework aceptado de forma generalizada para definir y acotar este nuevo paradigma, sí que existen diferentes conceptos, clasificaciones, y visiones que se repiten en las diferentes publicaciones al respecto.

Con toda la información revisada anteriormente se ha elaborado un mapa de conceptos de Industria Conectada 4.0, que se expone en la siguiente figura:



**Figura 16. Mapa de conceptos de la Industria 4.0. Fuente: elaboración propia**

Este mapa de conceptos se organiza en 5 bloques, que presentan relaciones entre ellos. En primer lugar, se ha identificado un primer bloque de conceptos relacionados con los nuevos requisitos y demandas del cliente de la economía digital. Básicamente, se pueden resumir en demanda de productos personalizados a bajo coste, con alto contenido innovador, y con una respuesta por parte del fabricante muy rápida; demanda de coherencia en todos los canales de venta; y acceso a todo tipo de información en tiempo real.

A raíz de los nuevos requerimientos del mercado, se modifican los *drivers* de competitividad de las empresas. En la industria conectada se han identificado como generadores de competitividad una adecuada gestión de costes, la mejora de la productividad, la reducción del *time to market* y el enfoque al cliente.

Estos drivers de competitividad implican actuaciones no solo dentro de la empresa, sino a nivel de toda la cadena de suministro, transformando toda la cadena de valor al concepto de industria conectada. En este bloque, se incluyen los conceptos de *Smart innovation*, *Smart Factory*, *Smart supply chain*, *Smart product*, *Smart services*, y *Smart sales*.

Para lograr la transformación a lo largo de la cadena de valor, se han identificado una serie de pilares o componentes clave que habilitan dicha transformación y sobre los que hay que trabajar. Dentro de estos pilares se han identificado el entorno, la organización, las personas y la tecnología (siendo este pilar el que más atención ha tenido en la bibliografía consultada).

Por último, el resultado de la transformación en Industria Conectada 4.0 puede materializarse en forma de nuevos productos, nuevos procesos, o nuevos modelos de negocio que satisfagan las nuevas necesidades del mercado detectadas en el bloque de conceptos inicial.

La definición de este mapa de conceptos de la Industria 4.0, con la agrupación y ordenación de conceptos propuesta, proporciona un marco inicial sobre el que comparar los modelos de evaluación de la madurez de una empresa que se revisan en apartados siguientes.

A continuación, y ahondando en uno de los pilares básicos de la Industria 4.0, se realiza una revisión y estado actual de las tecnologías clave o habilitadoras según la visión de ITI y AIDIMME en el marco del proyecto.

## 2.2. Habilitadores digitales

El concepto de Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial que consiste en la introducción de las tecnologías digitales en la industria. Esta transformación sólo es posible a través de los habilitadores digitales que permiten que la empresa se transforme en industria inteligente. Por lo tanto, los habilitadores digitales de la Industria 4.0 son las herramientas tecnológicas que tienen la capacidad de impulsar la transformación digital de la industria.

Desde nuestro punto de vista, tras revisar la amplia variedad de habilitadores digitales registrados en la bibliografía, se considera que sectorialmente son relevantes los indicados seguidamente:

### Hibridación del mundo físico y digital:

- Sensórica en productos
- Sensórica en procesos
- Sistemas embebidos en productos
- Sistemas embebidos en procesos
- Robótica (colaborativa, avanzada, etc.) y automatización
- Fabricación aditiva
- Visión artificial
- Realidad aumentada, realidad virtual
- Simulación y virtualización productiva

#### **Conexión de la empresa con el consumidor**

- Redes sociales / Blogs
- Catálogo electrónico
- Página web / App propia

#### **Comunicación y tratamiento de datos**

- Ciberseguridad
- Computación avanzada en la nube (cloud computing)
- Conectividad y movilidad
- M2M
- Big Data

#### **Gestión intraempresa / interempresa**

- Soluciones de negocio
- Soluciones de inteligencia
- Plataformas colaborativas

En los siguientes apartados se realiza una revisión que refleja los principales habilitadores digitales o tecnologías TIC en el marco del proyecto y que se constituyen como unas de las más relevantes para impulsar el cambio de paradigma que supone la digitalización de la industria.

##### **2.2.1. IoT, IoS y CPS**

El sector industrial se enfrenta a un mundo cada vez más digital, a una sociedad más involucrada con las nuevas tecnologías que valora las soluciones con mayor conectividad y valor añadido, y a una serie de requisitos emergentes donde las soluciones clásicas de arquitecturas y automatización de planta se encuentran limitadas (Blanchet, 2016; Vermesan y Friess, 2016):

- La necesidad de una producción de alto rendimiento para responder a la demanda de un mercado cada vez más variable que busca una mayor satisfacción del cliente. Esto implica una combinación de flexibilidad, productividad, precisión y cero defectos, manteniendo a la vez la eficiencia en el consumo de energía y recursos, y una baja tasa de emisiones (incluyendo ruido y vibración).
- Soporte a nuevos modelos de producción, más allá de la producción en masa. Las factorías del futuro no estarán sujetas al tradicional *make-to-stock* (MTS), sino que deberá enfrentarse a modelos como *make-to-order* (MTO), *configure-to-order* (CTO) y *engineer-to-order* (ETO). Estos modelos productivos son clave para acceder a la

producción en masa personalizada y la generación de pequeños lotes, pero requiere un nuevo formato de fábricas reconfigurables, adaptativas y con capacidad de evolucionar.

- Suministro y producción de proximidad, que permite el desarrollo de productos modulares basados en elementos comunes en fábricas principales, y opciones configurables en pequeñas fábricas locales. Esto permite adaptarse mejor a los gustos y demandas locales, incrementando la eficiencia de producción y logística.
- Mejora de calidad del trabajo, de condiciones de trabajo duras a espacios de trabajo atractivos y más seguros. Los trabajadores se desplazan al corazón de la factoría del futuro, siendo los responsables de tomar las decisiones de forma eficiente en lugar de lidiar con la creciente complejidad operacional de las futuras factorías. Este trabajo estará vinculado a mayores niveles de colaboración entre trabajadores y máquinas, y entre trabajadores de distintas plantas.
- De productos a usos y servicios. La servitización de productos permite la aparición de nuevos modelos de negocio en los que se obtenga beneficio de la producción y mantenimiento de una máquina, no la propia máquina, o de la generación de servicios de valor añadido sobre un producto conectado, como los vehículos inteligentes.
- Acceder a un “ciclo de vida extendido” o “ciclo de vida global” del producto, permitiendo la monitorización fuera de la factoría, desde la producción de piezas y generación de materia prima, hasta los sistemas de logística, mantenimiento del propio producto, gestión de garantía y *feedback* de clientes. Este nuevo ciclo de vida extendido permitirá también que los clientes sean partícipes del proceso productivo y de su personalización.

La digitalización de la industria se presenta como un eje fundamental para cumplir con estos requisitos en las factorías del futuro, y el concepto de Industria 4.0 gira a su alrededor irremediamente. La digitalización de la industria parte de una adopción intensiva de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y su fusión con las tecnologías industriales de fabricación y control de operaciones (TO). El avance de las TIC durante los últimos años es un gran motor de innovación en esta evolución, especialmente las tecnologías relacionadas con:

- Los sistemas embebidos de altas capacidades, como los que podemos encontrar en multitud de productos tecnológicos hoy en día, desde electrónica de consumo, vehículos, aviones o edificios, cuya funcionalidad queda definida estrechamente por dichos sistemas.
- Las redes de nueva generación y redes globales como internet, así como la disponibilidad ubicua de datos y servicios a lo largo de todo el mundo.

Estos dos grupos de tecnologías se unen e interactúan entre ellas para dar soporte a la digitalización de la industria. Una nueva generación de sistemas embebidos permite la sensorización de procesos e interacción con el mundo físico, y gracias al Internet de las Cosas (IoT) ha conseguido acelerar su integración e interconexión a diferentes sistemas independientes, dotándoles de inteligencia y capacidad de decisión, pasando a conocerse como sistemas ciber-físicos (CPS). Gracias a IoT, los CPS pueden ofrecer sus datos y servicios e integrarse transparentemente con plataformas cloud y de análisis de datos, e incluso a través de Internet con otras plantas y proveedores. En los últimos años IoT ha evolucionado desde un



simple concepto construido sobre protocolos de comunicaciones y dispositivos, hasta un dominio multidisciplinar donde dispositivos, tecnologías de Internet, y personas (a través de datos y semántica) convergen para crear un ecosistema completo para la innovación industrial, reusabilidad e interoperabilidad, que incluye soluciones para la seguridad, la privacidad y la confianza. Esto permite, además, ofrecer nuevas aplicaciones en los procesos de fabricación, y nuevas fuentes de ingresos con los nuevos modelos de negocio que nos proporciona el Internet de los Servicios (IoS). Hace tiempo que se barajan y discuten estas tecnologías, pero el impulso final que ha desencadenado su explosión actual se debe a la confluencia de nuevas tecnologías de comunicaciones inalámbricas, mejores sensores, el aumento en capacidad de procesado y disminución de tamaño, la reducción de precios de dispositivos, la mezcla de numerosas *start-ups* y grandes compañías que han desarrollado el software de gestión y aplicación necesario, y una vida cada vez más digital, con más tecnología y mayor capacidad para asumirla.

IoT, CPS e IoS pueden aplicarse de distintas formas en la Industria 4.0, incluyendo más o menos niveles de digitalización según los objetivos que se persigan. En general, se presentan tres niveles de digitalización organizados de la siguiente forma (Vermesan y Friess, 2016):

- **Producto digital:** los productos desarrollados con características IoT integradas se convierten en productos inteligentes (Smart Products) o productos conectados. Esta conectividad permite ofrecer un nuevo tipo de producto con valor añadido, lo que afecta a mercados como el vehículo inteligente, los wearables, los dispositivos para Smart homes y Smart cities, o productos con tele-mantenimiento.
- **Procesos digitales:** la utilización de CPS e IoT en los procesos de planta aportan una mayor conectividad y una mejor calidad de los datos, permitiendo una gestión de procesos más precisa y eficiente, y la aplicación de técnicas de simulación y análisis de datos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.
- **Modelos de negocio digitales:** la utilización de IoT para generar servicios sobre productos (IoS) permite difuminar la línea que separa los productos y los servicios, generando nuevos modelos de negocios basados en la “servitización” de los productos y la generación de servicios de valor añadido sobre ellos. Se espera que para 2020, estos nuevos modelos de negocio supongan un incremento de beneficios del 5,3%, y un aumento de empleo del 30%.

Una factoría interesada en incluir la digitalización propuesta por Industria 4.0 en su planta puede optar por uno o varios de estos niveles, para lo que necesitará hacer uso de una combinación de IoT, IoS y/o CPS. En este apartado daremos un breve repaso a estas tres tecnologías, consideradas como tecnologías habilitadoras de Industria 4.0, puesto que permiten la generación de una gran cantidad de aplicaciones innovadoras, pero que aún presentan riesgos y retos pendientes para su completa adopción por la industria.

### Internet de las Cosas

El concepto de agregar sensórica a elementos como máquinas, robots, motores o vehículos, y convertirlos en elementos conectados, no es nuevo en el mundo industrial. La industria moderna depende de multitud de sensores y redes de comunicaciones que han permitido un elevado nivel de automatización, desde refinerías de petróleo hasta líneas de manufactura. La posterior introducción de sistemas M2M (*machine-to-machine*) ha permitido la conexión directa entre máquinas para realizar operaciones de forma independiente a la interacción

humana, en un paso hacia sistemas más autónomos. Históricamente, estas tecnologías de operaciones (TO) han funcionado en redes independientes, con protocolos robustos que proporcionaban una alta fiabilidad y seguridad que no se conseguía con la tecnología de consumo.

Sin embargo, los nuevos requisitos emergentes para la factoría del futuro requieren romper con el carácter estricto y cerrado de las arquitecturas industriales, y aquí es donde IoT se presenta como una solución de conectividad universal y ubicua. IoT es un concepto y un paradigma con diversos puntos de vista y actividades multidisciplinares. IoT introduce la presencia ubicua de los objetos en el entorno digital (Smart Objects), mediante conexiones cableadas e inalámbricas y esquemas de direccionamiento único que permiten la interacción con ellos, así como cooperar con otros objetos para crear nuevas aplicaciones y servicios. Los dispositivos inteligentes se apoyan en las plataformas IoT para disponer de conectividad y generar servicios y aplicaciones. Estas plataformas son las responsables de ofrecer todo lo necesario para el correcto funcionamiento del sistema completo, lo que implica clásicamente tres bloques de servicios: (1) control de dispositivos finales, gestión de operaciones y de las comunicaciones, monitorización y gestión de dispositivos, seguridad y actualización de firmware; (2) adquisición de datos, tratamiento, persistencia y gestión; y (3) componentes de apoyo al desarrollo de aplicaciones IoT, incluyendo procesado en base a eventos (CEP), analítica, conexión y adaptadores entre distintos sistemas y plataformas, visualización o programación de aplicaciones. Las aplicaciones IoT se están desplazando gradualmente desde soluciones verticales con un único objetivo, a aplicaciones multipropósito y colaborativas que interactúan entre la industria, las organizaciones, los consumidores y los productos, lo que representa un pilar esencial para la nueva economía digital. Muchas de estas aplicaciones aún no se han identificado, pero IoT ofrece las herramientas para que las empresas de servicios y los propios usuarios se involucren y ofrezcan esta innovación.

La llegada de IoT al mundo de consumo ha supuesto un nuevo paradigma de gran conectividad con mínimas barreras, donde el bajo coste es una de las características más relevantes. Sin embargo, la industria presenta una situación completamente distinta donde la seguridad, la fiabilidad y la latencia siguen estando en el top de la lista (Hatler, 2012), y donde detener los sistemas por fallos o tareas de mantenimiento no es una opción. Esto no es de extrañar puesto que estas características afectan directamente a la calidad y eficiencia de los procesos y productos, lo que repercute directamente en el beneficio final de la empresa. Además, un fallo puede desencadenar consecuencias severas que afecten a la seguridad de los operarios o los bienes de la empresa. Este alto nivel de requisitos técnicos y de negocio actúa como filtro de entrada para estas nuevas tecnologías: aquellas tecnologías IoT capaces de superar este filtro y ofrecer garantías de funcionamiento para entornos críticos de negocio pasan a denominarse Industrial-IoT (IIoT).

IIoT ofrece a las factorías una nueva dimensión de aplicaciones y servicios que giran en torno a la producción, mejorar la eficiencia y calidad de sus procesos productivos, ofreciendo mayor agilidad y flexibilidad en sus procesos. IIoT permite que otras instalaciones y empresas colaboradoras puedan acceder en tiempo real a información de producción y logística, creando redes de colaboración que permitan mejorar el rendimiento y reduzcan las paradas de servicio, que mejoren la gestión de stocks y materias primas, la relación con los sistemas de reparto y con el cliente final.

La conexión de los sistemas industriales a plataformas IT e IoT ofrece grandes oportunidades de negocio, lo que desemboca en una miscelánea de tecnologías y protocolos para generar

conectividad e intercambiar datos, algunos de ellos propietarios y otros como estándares abiertos. Aunque todos compiten por ser el único protocolo para todas las situaciones, la realidad es que éste nunca será el caso y tendrán que aprender a convivir, siendo cada uno de ellos más apropiado para determinados escenarios. Comprender estas tecnologías es clave para ofrecer soluciones adaptadas a los requisitos de cada aplicación, lo que incluye tanto desde los propios dispositivos IoT, hasta la arquitectura de comunicación, las tecnologías de acceso o los protocolos implicados. Las arquitecturas orientadas a eventos, como las Publish/Subscribe, son muy interesantes a nivel de proceso, puesto que permiten que todos los elementos estén conectados a un “bus lógico”, y que los suscriptores puedan recibir datos en directo de aquellos elementos que les interese para sus procesos. En estas arquitecturas pueden utilizarse protocolos de gestión centralizada como MQTT o AMQP, o con funcionamiento descentralizado como DDS, que ofrece altos niveles de calidad de servicio a cambio de una mayor complejidad en los dispositivos. Por otro lado, las arquitecturas cliente/servidor orientadas a servicios se adaptan perfectamente a tareas de supervisión y gestión, permitiendo generar consultas específicas de la información que la aplicación necesita en cada momento. Sobre estas arquitecturas se sitúan protocolos de aplicación como HTTP o CoAP, o algunos nacidos en el propio seno industrial como OPC-UA. OPC UA es la evolución del clásico OPC, para la comunicación industrial universal, pero orientado a servicios, con conectividad transparente a través de Internet, y mayores capacidades de escalabilidad y compatibilidad de plataformas.

Las tecnologías de acceso para los Smart Objects pueden estar basadas en medios cableados o inalámbricos, siendo éste último uno de los campos de investigación con mayor potencial dentro de IIoT, con tecnologías como las *Wireless Sensor Networks (WSN)*, las tecnologías 5G, o las redes LWPA – *Low Power Wide Area* (principalmente LoRa, SigFox y nWave). El medio de acceso inalámbrico permite la utilización de grandes cantidades de sensores ubicados en cualquier punto, no sólo allí donde existan infraestructuras de comunicaciones y de suministro de energía, de una forma sencilla y económica. Las redes inalámbricas eliminan el cableado, un elemento muy problemático que incrementa costes, requiere de tareas de mantenimiento, puede provocar problemas con el paso de maquinaria y aumenta el peso en vehículos y otros sistemas móviles. Los Smart Objects pueden instalarse en puntos de acceso difícil y sin conectividad, en elementos móviles como vehículos, robots o Smart tools, o para tareas puntuales como diagnósticos y auditorías. El aumento de conocimiento de estas tecnologías, la madurez de las soluciones basadas en topologías malladas, y la migración a estándares de industria como WirelessHART e ISA100.11a, posicionan a las WSN como una tecnología disruptiva en la automatización industrial, de forma que cerca del 39% (Hatler, 2012) de los nuevos nodos que se instalan para nuevas aplicaciones funcionan exclusivamente con tecnologías WSN.

A nivel de fiabilidad, las redes inalámbricas pueden ofrecer hasta tres niveles de redundancia adicionales a las soluciones cableadas clásicas:

- Redundancia espacial, inherente a la naturaleza del propio medio inalámbrico, puesto que la transmisión entre dos nodos no sigue únicamente un camino lineal entre ambos, sino que existen reflexiones por infinidad de caminos distintos. Si la línea de visión se ve interrumpida, la comunicación inalámbrica continúa funcionando gracias a las reflexiones recibidas. Sin embargo, un cable interrumpido anula completamente la comunicación entre dos nodos que no dispongan de canales de comunicación adicionales (como el que brinda una topología en anillo).

- Redundancia de caminos, gracias al uso de topologías malladas. En estas topologías, todo nodo dispone de al menos otros dos nodos con los que comunicar, y un protocolo de encaminamiento para solucionar una nueva ruta para encaminar sus mensajes hasta el sistema destino. Las redes malladas ofrecen mucha más fiabilidad que los tradicionales sistemas punto a punto, puesto que pueden gestionar dinámicamente su red para enfrentarse a interferencias, rutas bloqueadas, caída de nodos o nodos en movimiento. Tanto es así que el 75% de las tecnologías WSN utilizadas usan un protocolo mallado en alguna parte de su red, y el 20% son completamente mallados (Hatler, 2012).
- Redundancia de canal, gracias a la tecnología de *channel hopping*, que hace uso de múltiples canales en el espectro radioeléctrico. Esta tecnología permite que parejas de nodos se sincronicen y salten de frecuencia en frecuencia para cada transmisión, permitiendo superar problemas temporales en determinados canales debido a interferencias radioeléctricas, muy habituales en entornos industriales. Por ejemplo, en IEEE802.15.4e para 2,4GHz existen 15 canales no solapantes para realizar estos saltos, lo que ofrece un sistema mucho más fiable que las soluciones sin saltos (*single-channel*).

Existen diversos estándares de WSN mallado que incluyen estas tecnologías y que se conocen como estándares TSCH (*time-slotted channel hopping*), como IEC62591 (WirelessHART) o IETF 6TiSCH (Palatella et al., 2014). En estos estándares, TSCH supone un bloque fundamental para la fiabilidad de los datos en entornos industriales, y la gestión de la red mallada es fundamental para el funcionamiento continuado y sin problemas de la red. En este punto, el elemento clave que diferencia a la red WSN de una red industrial clásica es el conjunto de algoritmos y protocolos que gestionan de forma inteligente y dinámica la operativa de la red, monitorizando continuamente los enlaces y variando dinámicamente la topología lógica de la red para asegurar y mantener su funcionamiento.

La latencia y garantía de entrega son otros dos factores clave que deben asegurar las arquitecturas IIoT en la industria. En este aspecto, los protocolos de acceso al medio ranurado como TDMA o TSCH son los que más garantías ofrecen, puesto que permiten que los nodos tengan un espacio garantizado para el envío de sus paquetes, con una frecuencia pre-determinada y configurada por el sistema. Según los algoritmos utilizados, es posible realizar esta asignación de forma dinámica, de modo que los nodos que requieran de más oportunidades para enviar datos tengan una provisión automática de más ranuras. Las arquitecturas malladas añaden un nivel de complejidad mayor, pero también una mejor oportunidad ya que permiten planificar ranuras para un mismo nodo en caminos sucesivos de la red, lo que permite reducir significativamente la latencia de las comunicaciones. Esta coordinación permite mejorar significativamente las redes de alta densidad de nodos con transmisiones frecuentes, redes donde las soluciones no apoyadas en TSCH acaban colapsando por la descoordinación de tráfico. Además, TSCH mantiene una coordinación temporal de todos los nodos de la red, constantemente sincronizados, lo que permite generar datos con coherencia temporal en toda la red. Esto es un punto clave en industria, y permite tomar decisiones más precisas con la información recibida de distintos puntos y múltiples sensores.

La seguridad es otro atributo crítico en IIoT. La conectividad a Internet supone un punto de acceso a un universo de peligros y amenazas, a lo que hay que añadir que los enlaces inalámbricos son intrínsecamente inseguros, puesto que el medio de transmisión no está

limitado físicamente y cualquiera podría conseguir acceso a él. Este tipo de redes deben asegurar la confidencialidad e integridad de los mensajes, así como la autenticidad de la identidad de los interlocutores, por lo que deberían ofrecer al menos un sistema de encriptación robusto (p.ej. AES 128b) con claves complejas y sistemas robustos de gestión de claves, generadores criptográficos para determinar ataques de replay, comprobación de integridad de mensaje (MIC) en cada mensaje, listas de control de acceso (ACL), uso de certificados, y uso de elementos seguros y autenticados en toda la cadena de comunicación. Aunque pueda parecer que la seguridad es un pilar básico en estas soluciones, la realidad es que pocos dispositivos comerciales ofrecen soluciones completamente seguras y preparadas para una operativa con conexión a Internet (Pister y Simon, 2014). Destacan algunas variantes de protocolos de seguridad IP para tecnologías IoT que pueden cumplir con sus requisitos de escalabilidad e interoperabilidad, como Datagram TLS (DTLS), HIP Diet Exchange (DEX) y minimal IKEv2.

IoT es todavía un paradigma muy joven e inmaduro en el ámbito industrial, la dinámica que rodea a las aplicaciones IoT emergentes son muy complejas y algunos problemas como el establecimiento y conectividad de red, la integración de sistemas, los servicios de valor añadido y otras funciones de gestión, aún tienen que ser resueltos para conseguir conectar dispositivos inteligentes en aplicaciones IoT complejas (AIOTI, 2015). Aún existe un *gap* importante entre el nivel de satisfacción del usuario y su valoración sobre la importancia de características clave como la fiabilidad, el coste y la vida de las baterías (ver fig. 12). En las encuestas realizadas sobre qué elementos son los mayores inhibidores a la hora de decantarse por una solución WSN, se puede comprobar como cada vez la fiabilidad es un problema menor, puesto que los protocolos de comunicación son cada vez más robustos, pero la seguridad, la complejidad y la falta de estándares siguen suponiendo un problema (ver fig. 13).

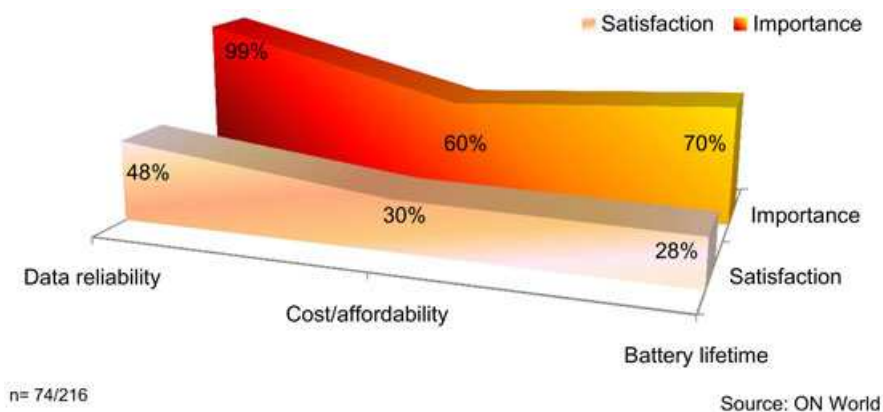
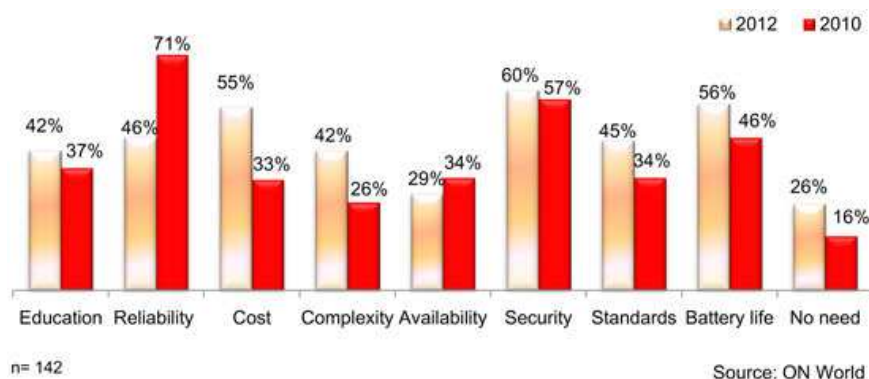


Figura 17. Valoración y satisfacción de diversas características de WSN para industria. Fuente: ON World



**Figura 18. Inhibidores: qué echa atrás a los usuarios para la utilización de WSN en industria. Fuente: ON World**

Hay que tener en cuenta que las soluciones IIoT no se implantarán, en general, por expertos en tecnologías de comunicaciones. Las soluciones IIoT deben ser capaces de formar redes de forma autónoma y automatizada, de forma que el instalador pueda dejar la planta con una red estable funcionando. Durante su operativa, el sistema debe ser capaz de auto-repararse, evaluar conexiones débiles o canales con altas interferencias para re-planificarse, auto-diagnosticarse cuando se interrumpa el servicio o haya problemas con un nodo, etc, de forma que se eviten las visitas de los técnicos a la instalación y los tiempos de parada en planta. Además, la fase de despliegue suele ser una tarea compleja que requiere planificaciones previas, estudios de cobertura, pruebas de conectividad, y que se complica cuando los nodos se instalan y desinstalan de forma continua, como en tareas de inspección o auditorías. La comunidad científica está volcada en este tipo de soluciones, denominadas *Plug&Play&Forget*, donde ya podemos encontrar algunas tecnologías muy prometedoras (Patente P2015.300.39, 2016), pero sigue siendo un campo de trabajo abierto.

Durante los próximos 5 años, los avances en IIoT estarán enfocados en reducir costes de equipamiento, mejorar las comunicaciones y las soluciones malladas, fomentar la estandarización y la interoperabilidad de los datos, reducir la complejidad de instalación y mantenimiento, aumentar la seguridad, y encontrar mejores soluciones de energy harvesting. Lo que sí es cierto es que las tecnologías IIoT continuarán jugando un rol principal en la automatización industrial.

### Sistemas ciber-físicos

Los sistemas ciber-físicos (CPS) son sistemas basados en tecnologías de la información y las comunicaciones para interactuar y sensorizar el mundo físico, realizar tareas complejas de cálculo y almacenamiento, y mantener una comunicación intensiva con una red externa para ofrecer servicios de acceso a datos y procesado (acatech, 2011 y 2012; “Strategic R&D opportunities”..., 2013). Los CPS se unen para formar redes de sistemas colaborativos que funcionan de forma coordinada para llevar a cabo tareas físicas, en contraste con el funcionamiento individual de los autómatas y sistemas embebidos clásicos, con habilidades avanzadas para tomar decisiones precisas de auto control, auto optimización, calibración y toma de decisiones ante imprevistos. Los CPS tienen aplicación en multitud de campos como la aeronáutica y gestión de tráfico aéreo, el transporte (vehículos autónomos y sistemas de gestión de tráfico), salud (sistemas de teleasistencia), producción energética, Smart cities y gestión de infraestructuras, o gestión de edificios.

Cuando el concepto de CPS se aplica a sistemas de fabricación y producción, se suele referir como CPPS (*ciber-physical production systems*). Los CPPS persiguen la unión de las tecnologías convencionales de producción (TO) con las TIC, de forma que las humanos, máquinas y productos puedan comunicarse entre sí en el Internet de las Cosas, y los elementos físicos de la planta pueden ser virtualizados. Esta virtualización significa que los procesos físicos se monitorizan y digitalizan, enlazándose con modelos virtuales de la planta y modelos de simulación. Esta copia virtual de los elementos físicos, conocidos como “sombras”, permiten por ejemplo que, en caso de fallo, un operario pueda recibir información del contexto del error y de todos los pasos para resolverlo y recuperar la operativa, teniendo en cuenta aspectos de safety, de forma que la complejidad de la resolución técnica del problema reside en el sistema (Gorecky, Schmitt y Loskyll, 2014). Los CPPS representan un avance de la *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), siendo una fusión temporal y espacial de la información y de los sistemas de planificación con los sistemas reales de producción en un domino vertical y horizontal de planta. Esta descomposición de las estrictas arquitecturas jerárquicas que se han utilizado clásicamente en industria (como el estándar ISA-95/IEC62264) es un paso necesario para evolucionar hacia sistemas productivos altamente flexibles y reconfigurables (Ackermann et al., 2014).

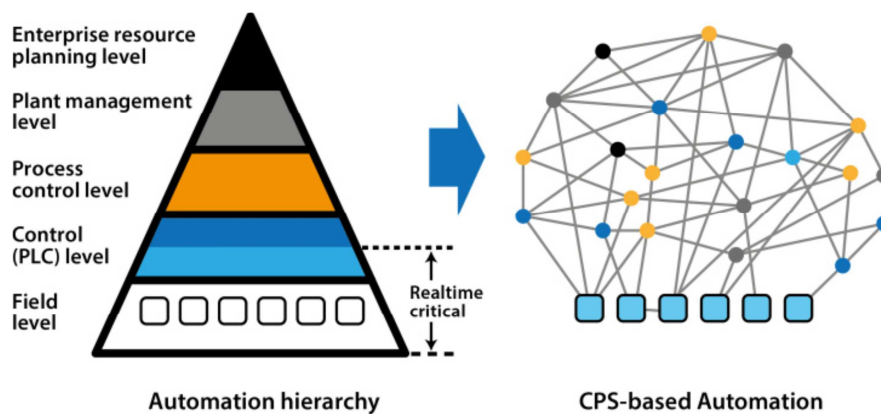


Figura 19. Descomposición de la pirámide de automatización en una arquitectura distribuida de servicios. Fuente: Association of German Engineers (VDI), 2013

Gracias a IoT, las capacidades de los CPS se amplían significativamente: conseguimos un incremento masivo de los datos disponibles y por tanto nuevas posibilidades de explotación; se difuminan sus límites, permitiendo una colaboración más transparente entre sistemas, entre plantas y empresas; o incluso ofrecer nuevos modelos de negocio basados en internet. Su flexibilidad y capacidad de adaptación dinámica al contexto abre un enorme abanico de posibilidades para nuevos sistemas de fabricación que hasta ahora no eran posibles, como (Monostori, 2014):

- Intelligent Manufacturing systems (IMS), que son capaces de, dentro de unos límites, resolver problemas que podrían pasar desapercibidos o que nunca habían sucedido, incluso con información incompleta o imprecisa, gracias a sistemas de análisis de datos.
- Biological Manufacturing systems (BMS), inspirados en comportamientos biológicos que persiguen el funcionamiento autónomo, aprendizaje y adaptación, evolución y auto-organización.

- Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS), donde los componentes son máquinas y controladores reconfigurables.
- Holonic Manufacturing Systems (HMS), un paradigma de fabricación ágil con procesos dinámicos y descentralizados de fabricación, que permite la producción masiva personalizada, o la producción de bajos volúmenes con mucha variabilidad de características. Los CPPS permiten generar líneas de producción masiva personalizada donde los propios productos en producción pueden solicitar a las máquinas qué procesos tienen que ejecutar sobre ellos, permitiendo un control descentralizado. Esto permite incrementar la flexibilidad y productividad de la línea, generando componentes personalizados de forma rápida, económica y en las cantidades que sean necesarias. Uno de los objetivos perseguidos en los sistemas CPPS es que, mediante una inteligencia adicional para funcionamiento autónomo y auto-control, permita un funcionamiento totalmente *Plug & Produce*.

Las características que se persiguen sobre los CPPS son muchas y variadas: robustez, autonomía, auto organización, auto mantenimiento y reparación, transparencia, predictibilidad, eficiencia, interoperabilidad y trazabilidad global, por nombrar algunas. A pesar de que ha habido avances muy importantes en control cooperativo, sistemas multiagente, sistemas adaptativos complejos, redes de sensores o análisis de datos; el cumplimiento parcial de algunas de estas características sigue representando retos importantes para la comunidad investigadora. Los avances en CPPS para los próximos años se centrarán principalmente en (Monostori, 2014):

- Sistemas autónomos y adaptables al contexto. Aún deben desarrollarse tecnologías para proporcionar una mayor conciencia del entorno y el contexto, para el reconocimiento, análisis e interpretación de los planes e intenciones de las entidades, sistemas y usuarios participantes, para la creación de modelos de aplicaciones y dominios, y para obtener un mayor conocimiento de la propia situación del sistema. La capacidad de transformación de una planta industrial, con sus constantes ampliaciones y reestructuraciones, suponen un reto importante de gestión y adaptabilidad.
- Sistemas de producción cooperativa. Se requieren nuevos algoritmos más eficientes para la búsqueda de consenso, aprendizaje cooperativo y detección distribuida.
- Identificación y predicción de sistemas dinámicos. Es necesario ampliar la capacidad de los métodos actuales, así como la generación de nuevos métodos que puedan aplicarse bajo condiciones de conocimiento sesgado del sistema dinámico.
- Planificación robusta. Debe perfeccionarse la gestión de variaciones y cambios en la producción durante el funcionamiento de una producción planificada. Además,
- Fusión de mundo físico y virtual. Para conseguir un sistema inteligente de producción que sea robusto ante un escenario real variante e incierto, es necesario generar arquitecturas de referencia y modelos de integración de los sistemas de producción reales y virtuales, así como mejorar los algoritmos para su sincronización, adaptación al contexto y uso eficiente de los recursos.
- Prerrequisitos técnicos. El acceso físico a infraestructuras productivas y las tecnologías de comunicación en planta deben mejorarse. Los CPS deben cumplir con altos requisitos de fiabilidad, robustez y seguridad.



- Interacción humano-máquina. Debe perfeccionarse la interacción humano-máquina tanto desde el campo de la investigación, el training y la implementación real. Habría que explorar diversos factores como la interacción humana en la factoría del futuro, la lógica de los flujos de trabajo, la adecuación al contexto, la usabilidad y la ergonomía de los equipos. Sacar el factor humano del bucle de control mejorará su calidad de trabajo, reduciendo además el error humano en los servicios automatizados. Los CPS pueden tener un mayor conocimiento de la situación y su contexto y ayudar al personal a tomar mejores decisiones.
- Hay que hacer un esfuerzo para la adaptación de la situación legal de la seguridad y protección de la privacidad entorno a los CPS.

### Internet de los Servicios

Hemos hablado de IoT y de la revolución que ello supone en el concepto de Industria 4.0, pero no hemos de olvidar que IoT es “simplemente” parte de la “fontanería”. Los CPS son dispositivos conectados mediante IoT, que les confiere la nomenclatura de Smart objects, pero esto no es más que una inteligencia nominal. La gran innovación llega con el uso que se hace de estas tecnologías, y en esta parte nos encontramos con el Internet de los Servicios (IoS). IoS permite que la planta tenga una fabricación más flexible e inteligente, y permite generar productos inteligentes o servicios sobre estos mismos productos a través de Internet, aportando un nuevo modelo de negocio a los fabricantes.

Hay dos tendencias en industria que están potenciando el uso de IoS: (1) el rol cada vez más importante de los servicios en la fabricación, y (2) la creciente importancia de las cadenas de valor globales o extendidas. Se estima que en 2025 los fabricantes tendrán más beneficios de los servicios que de los productos (5G PPP, 2015). Esto es una consecuencia de lo que se conoce como la “servitización de los productos”, un término que indica que ya no sólo se busca el beneficio del producto vendido, sino también de un valor añadido ofrecido junto a un producto conectado. Por ejemplo, Tesla vende vehículos con hardware y software actualizable. Sus vehículos están equipados con multitud de sensores y las actualizaciones de software les aportan una inteligencia extra. Estas actualizaciones generan un ingreso extra y continuado para Tesla, y permite generar un ecosistema de servicios a su alrededor, relacionados con mantenimiento, servicio en carretera o seguros. Otis es un fabricante de ascensores sensorizados, que envían datos a su cloud. Esta información se analiza y Otis vende un servicio de mantenimiento predictivo, generando un nuevo canal de ingresos a largo plazo (James, 2015).

El Internet de los Servicios está formado por participantes, una infraestructura para los servicios, modelos de negocio y los propios servicios. Los servicios se ofrecen y combinan para formar nuevos servicios de valor añadido, que se pueden ofrecer a empresas o usuarios mediante distintos canales (Buxmann, Hess, y Ruggaber, 2009). Aunque, en una primera aproximación, el concepto de IoS se está empezando a utilizar en factorías de forma aislada sobre sus productos, su potencial va mucho más allá y en un futuro será aplicable a toda la red de la cadena de valor del producto, incluyendo de esta forma servicios B2B. Sobre este mismo término también se hace referencia a la gestión inteligente de servicios y aplicaciones dentro de una propia planta, paquetizando tareas y capacidades en forma de servicios para permitir una mejor gestión de los recursos (Hermann, Pentek, Otto, 2015). Por ejemplo, el proyecto “SMART FACE” del programa alemán “Autonomics for Industrie 4.0”, presenta un sistema de producción distribuido más inteligente y flexible apoyado en IoS. Se utilizan estaciones de

ensamblado modulares, que pueden modificarse o ampliarse, y vehículos autónomos para el transporte entre estaciones. Ambos elementos ofrecen sus servicios a través de loS, y dadas las especificaciones de personalización de un producto para un cliente concreto, el sistema decide de forma autónoma que recursos y pasos necesita. De esta forma, se compone dinámicamente una cadena de fabricación distribuida, y el producto navega a través de la producción asignada.

### **Problemas y Retos para la adopción por la industria**

La implantación de soluciones para Industria 4.0 basadas en despliegues de IoT, CPS e loS se encuentran en un estado inmaduro debido a distintas razones (Vermesan y Friess, 2016):

- Retos técnicos y tecnológicos: aún existen multitud de retos técnicos que se han resumido brevemente en los apartados anteriores, pero preocupa especialmente el hecho de que las soluciones de seguridad y privacidad aún son escasas, así como el escaso uso de tecnologías de análisis de datos para aprovechar estas infraestructuras. Se espera que los futuros pilotos puedan demostrar mejoras tangibles en estas áreas tecnológicas, como un prerequisite para integrarlas finalmente en sistemas productivos reales.
- Falta de experiencias y pilotos a gran escala. A pesar de los beneficios de IoT en industria, sólo pueden encontrarse algunos casos de despliegues reales.
- Reticencia de la industria. La industria tiende a ser conservativa a la hora de adoptar tecnología digital. Esta reticencia se acentúa porque los últimos intentos de despliegue de tecnologías digitales (arquitecturas orientadas a servicios, agentes inteligentes, protocolos de interoperabilidad) han fallado al demostrar mejoras tangibles en calidad, tiempo y coste al mismo tiempo.
- Ausencia de una hoja de ruta clara para la migración. Ni las factorías ni sus procesos productivos pueden realizar un cambio de esta escala durante una noche. Los fabricantes están a la espera de una hoja de ruta clara a partir de otros despliegues existentes a tecnologías de internet del futuro e industria 4.0.
- Regulación, estandarización e interoperabilidad: las nuevas tecnologías llegan al mercado antes que sus regulaciones, por lo que es necesario hacer un esfuerzo para la adaptación de la situación legal de aspectos como la seguridad y protección de la privacidad entorno a estos sistemas. Se están investigando y desarrollando mecanismos políticos como guías para la industria, buenas prácticas, códigos de conducta, estándares internacionales e iniciativas auto-reguladoras. Conseguir la mezcla correcta de políticas en el mercado, a tiempo y aun así de una forma duradera y facilitadora, es un reto en la actualidad. Por otro lado, la falta de estándares frente a la gran cantidad de soluciones propietarias es un elemento que desincentiva la adopción de estas tecnologías. La interoperabilidad entre soluciones y plataformas, la conexión transparente con los distintos niveles de la planta y con diferentes organizaciones, son temas complejos que deben tratarse para el éxito de estas soluciones.

Para resolver estos retos, tanto la comunidad investigadora como la industria se encuentran involucradas en intensas tareas de I+D y actividades de estandarización.

IERC- *IoT European Research Cluster* es el clúster europeo para tareas de investigación en IoT, y dispone de diversos grupos enfocados en su aplicación a la Industria 4.0. Por otra parte podemos encontrar a EFFRA - *European Factories of the Future Research Association*, que dirige la “Alliance for IoT Innovation” (AIOTI), donde se ha establecido un grupo de trabajo (WG11) dedicado a fabricación inteligente. Diversos proyectos de I+D financiados por la Comisión Europea en el ecosistema de FP7 y H2020 trabajan también en esta línea, como FP7 FITMAN ([www.fitman-fi.eu](http://www.fitman-fi.eu)), FP7 ProaSense (<http://proasense.eu>), H2020 MANTIS (<http://mantis-project.eu>), H2020 BeInCPPS ([www.beincpps.eu](http://www.beincpps.eu)) y la iniciativa H2020 FAR-EDGE. La agenda para la industria digital de la Unión Europea enfatiza además el uso de plataformas IoT para la fabricación virtual como FIWARE o FITMAN, que se están utilizando en muchos de los proyectos FoF11, lo que permitirá generar nuevas ideas y contribuciones para el IERC. El proyecto IoT-A ([www.iot-a.eu](http://www.iot-a.eu)) propone un modelo de referencia para IoT, que ataca los problemas de interoperabilidad que existen en la miscelánea de tecnologías y protocolos existentes, creados para una finalidad completa pero con poca o ninguna interoperabilidad nativa. El proyecto Arrowhead ([www.arrowhead.eu](http://www.arrowhead.eu)) propone también una arquitectura de alto nivel para la interoperabilidad entre sistemas con distintas tecnologías, y se enfoca principalmente en la virtualización de máquinas físicas en servicios, presentando los principios para diseñar sistemas basados en arquitecturas orientadas a objetos, guías de implementación y un framework software para soportar estas implementaciones. Existen también otras iniciativas no financiadas por la Comisión Europea que han demostrado resultados interesantes como Industry 4.0 RAMI (*Reference Architecture Model Industrie 4.0*) (VDI, 2015), Virtual Fort Knox, Industrial Data Space y la arquitectura de referencia para Internet Industrial de USA (IIRA). El objetivo de H2020 BEInCPPS será la de integrar diversas de estas plataformas y conectarlas mediante la arquitectura de referencia RAMI con otras iniciativas como Virtual Fort Knox e Industrial Data Space.

Por otro lado, *Smart Anything Everywhere* es el clúster europeo para el campo de los CPS, su fusión con IoT y la integración de sistemas inteligentes (SSI). Dispone de diversos proyectos como EuroCPS ([www.eurocps.org](http://www.eurocps.org)) y CPSELabs ([www.cpse-labs.eu](http://www.cpse-labs.eu)) para potenciar el desarrollo y la experimentación con productos y plataformas CPS, arquitecturas y desarrollo de software. Diversos proyectos de I+D financiados por la Comisión Europea en el ecosistema de H2020 bajo el topic ICT1 “Smart Cyber-Physical Systems” están orientados también al avance en sistemas CPPS, como UnCoVerCPS (<http://cps-vo.org>), que permite un control y verificación integrado en runtime en los CPPS, o CPSELABS ([www.cpse-labs.eu](http://www.cpse-labs.eu)) para acelerar el desarrollo de sistemas y arquitecturas CPPS.

Sin embargo, la línea de trabajo de este ecosistema europeo de plataformas IoT/CPS/IoS aún no ha conseguido una digitalización efectiva de todos los aspectos y recursos de las industrias de manufactura y logística involucradas en procesos de negocio colaborativos, principalmente debido a la heterogeneidad de la parte TIC (demasiadas tecnologías y demasiadas arquitecturas de referencia, que imposibilitan su integración en una plataforma digital común) y a la heterogeneidad de dominios que tratar en la industria (no sólo sistemas de producción, sino también en ámbitos organizacionales, recursos humanos, educación, negocio, y en última instancia sistemas TIC). Para que estas tecnologías demuestren todo su potencial en tareas colaborativas en toda la línea de suministro, producción y logística, debemos tratar procesos de digitalización de industria complejos, multidominio y multidisciplinarios, que requieren de pilotos a gran escala y mucha colaboración, no sólo el desarrollo de tecnologías unidireccionales con iniciativas que se orientan a incrementar su TRL.

## 2.2.2. Cloud computing

### *¿Qué es? ¿Cuándo surge? ¿Y qué permite?*

El término *Cloud Computing* (Armbrust et al., 2010) popularizado en la primera década del siglo XXI da nombre a una revolución en la forma de usar y acceder a recursos computacionales (ej. servidores, almacenaje, aplicaciones y servicios). Si bien la idea detrás del *Cloud Computing*, ofrecer capacidad computacional como utilidad/servicio, ya surgió en los años 60 del siglo XX (Arkhill, 1966), sólo los adelantos tecnológicos que hubo a finales del mismo permitieron que ésta pudiera comenzar a explotarse comercialmente a principios del siguiente.

De este modo durante la primera década del siglo XXI el paradigma de *Cloud Computing* se fue asentando tanto en el ámbito científico como en el mercado. Y se llega a la definición ampliamente aceptada de *Cloud Computing* por parte del NIST (Mell y Grance, 2011) que indica las características básicas del uso y acceso a recursos computacionales bajo dicho paradigma:

*“...the on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction.”*

A partir de dicha definición se desprende que el paradigma *Cloud Computing* se caracteriza por la existencia de un conjunto compartido de recursos computacionales, desde servidores hasta servicios, que se pueden acceder a través de la red bajo demanda. Además, estos recursos pueden ser contratados y liberados por los usuarios rápidamente con un esfuerzo mínimo de gestión y con reducida interacción con el proveedor de los mismos. De hecho, la tendencia actual busca una automatización cuasi completa de dicha gestión e interacción.

Inherentemente a lo anterior el paradigma *Cloud Computing* conlleva la promesa de proporcionar acceso ubicuo (desde cualquier lugar) a dichos recursos, estando estos altamente disponibles (en cualquier momento), que además son capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes del usuario.

A raíz de lo anterior, este paradigma ha permitido la implantación de un modelo de negocio basado en el pago por uso de los recursos. Donde los usuarios sólo pagan por aquellos recursos que necesitan en cada momento, los proveedores de recursos intentan maximizar el rendimiento de los mismos y todo ello bajo unas condiciones de calidad de servicio previamente acordadas entre ambas partes. En esta línea los recursos son usados o liberados para garantizar la calidad de servicio acordada conforme la demanda del usuario va variando.

Bajo este paraguas existen múltiples modalidades de servicio siendo las más conocidas y aceptadas: *Infrastructure as a Service* (IaaS), *Platform as a Service* (PaaS) y *Software as a Service* (SaaS).

En el modelo IaaS el proveedor ofrece redes, máquinas virtuales, servidores o almacenes de datos que el usuario contrata bajo unas configuraciones semicerradas. En este modelo el usuario tiene control sobre el sistema operativo y las aplicaciones instaladas sobre la infraestructura contratada. En el siguiente modelo, PaaS, el proveedor ofrece plataformas de ejecución de aplicaciones, que suelen proporcionar facilidades para la gestión del ciclo de vida de las mismas en un entorno *Cloud*, incluyendo la gestión de múltiples réplicas y los problemas

derivados. El usuario bajo este modelo desarrolla aplicaciones que pueden ser ejecutadas por la plataforma contratada, despreocupándose de la infraestructura y la gestión del ciclo de vida de su aplicación. Bajo el modelo SaaS el usuario sólo hace uso de aplicaciones desplegadas en un entorno *Cloud*.

Hoy en día los modelos más extendidos, consolidados y maduros desde un punto de vista comercial son IaaS y SaaS. En cuanto al PaaS, ya empiezan a existir soluciones interesantes, pero en la mayoría de los casos todavía están lejos de explotar todo el potencial que se les supone.

Otro aspecto a tener en cuenta en *Cloud Computing* es el modelo de despliegue. Dicho modelo hace referencia a que usuarios pueden hacer uso de la infraestructura *Cloud*. Los tres modelos más comunes son *Cloud Privado*, *Cloud Público* y *Cloud Híbrido*.

En un *Cloud Privado* sólo los usuarios de una organización pueden hacer uso del mismo, siendo éste gestionado por la propia organización o un tercero. En el *Cloud Público* la infraestructura proporcionada es accesible por cualquiera, está en las instalaciones y es gestionada por un proveedor *Cloud*.

El modelo Híbrido consiste en una combinación de *Cloud Privado* y *Público*, existiendo la tecnología necesaria para permitir portabilidad de datos y aplicaciones entre ambos. Habitualmente, se da en casos en los que una organización ya dispone de un *Cloud Privado*, bien por razones históricas (ej. un centro de datos ya existente) o bien para hospedar datos sensibles o la parte crítica de su negocio, pero no quiere hacer una mayor inversión en infraestructura. En tales circunstancias hace uso de un *Cloud Público* para aspectos menos críticos, o cuando la capacidad de su *Cloud Privado* no puede satisfacer la calidad de servicio deseada ante la demanda en un determinado instante.

Tal como se puede apreciar el paradigma *Cloud Computing* permite múltiples posibilidades teniendo todas ellas como común denominador desde un punto de vista de los usuarios el pago por uso de los recursos. Esto tiene como gran ventaja para los usuarios el poder ahorrarse inversiones en infraestructura que habitualmente no es usada (evitar sobrecapacidad para soportar picos de demanda) y el mantenimiento de la misma, especialmente cuando esta parte no es un elemento clave de su modelo de negocio.

### ***Cloud Computing como tecnología habilitadora para la Industria 4.0***

La Industria 4.0, la cuarta revolución industrial, se caracteriza por la digitalización completa de la industria, en todos sus niveles. Esto implica que se genera, transmite, almacena y gestiona mucha información. Para ello el IoT (ver punto 2.3.1) deviene una tecnología clave para la toma y transmisión de datos tal como ya se ha comentado.

En ese escenario el *Cloud Computing* aparece como una tecnología habilitadora primordial (PwC, 2009) y complementaria al IoT, por las posibilidades que ofrece tanto para el almacenamiento como para el procesamiento de ingentes cantidades de información. Especialmente desde un punto de vista de las PYMEs, habitualmente lastradas por su limitada capacidad para hacer inversiones en infraestructuras que no son clave para su negocio.

De este modo, la infraestructura que proporciona el *Cloud Computing* se convierte en el entorno ideal tanto para almacenar información como para la ejecución de aplicaciones de procesamiento de datos como Big Data Analytics (Armbrust, et al., 2010; Agrawal, Das y El Abbadi 2011) (ver punto 2.3.3). En este caso, la capacidad de escalar recursos computacionales

que tiene el *Cloud* permite aplicar distintas técnicas de análisis de datos para extraer y detectar patrones de los mismos (para distintos usos como por ejemplo mantenimiento predictivo, ahorro energético, etc.), acorde con los requisitos temporales de los distintos procesos industriales, bien a nivel operativo, táctico o estratégico. El potencial de dicha combinación ha dado lugar tanto la publicación de una hoja de ruta (CSCC, 2014) para su adopción publicada por el *Cloud Standards Customer Council*, como a su promoción por parte de grandes empresas (Ferkoun, 2014; Intel, 2015; Google Cloud Platform, s.f.).

Esta capacidad de escalado de recursos computacionales es obviamente útil para cualquier proceso industrial o de apoyo al proceso productivo que haga un uso intensivo de computación. De ese modo, el *Cloud Computing* es muy útil para la ejecución de algoritmos para la optimización de procesos de fabricación (Huntress, 2015; C2NET, 2015); simulación (Saran, 2009; SimScale, 2016); visión artificial (López, 2014; Google Cloud Platform, s.f.); Business Intelligence (Mircea, Ghilic-Micu y Stoica, 2011), etc.

Además, el *Cloud* también es el entorno natural para la ejecución de servicios que permiten la gestión colaborativa y/o coordinada de cadenas de suministro (Han, et al., 2010; Schulte, et al., 2015). En dicho entorno las empresas pueden compartir información y tomar decisiones que permitan optimizar la red de empresas, al tiempo que se garantiza una distribución justa de costes y esfuerzos. O ser usada para la realización de transacciones comerciales B2B (Siebeck, et al., 2009; Mladenow, et al., 2012).

En definitiva, el paradigma *Cloud Computing* ofrece a las empresas la posibilidad de adoptar el paradigma de la Industria 4.0 en toda su extensión sin necesidad de realizar grandes inversiones en infraestructura informática para almacenamiento y procesamiento de datos.

De hecho, a la luz del potencial que ofrece el *Cloud Computing* para la Industria 4.0 han surgido diversas soluciones *Cloud* específicamente orientadas a fabricación como Virtual Fort Knox (SaaS) (Holtewert, et al., 2013), Plex (SaaS) (Plex, s.f.) o Predix (PaaS) (Predix, s.f.) que ofrecen bien servicios *Cloud* para producción o plataformas que permiten el desarrollo de aplicaciones con facilidades para la gestión de conexiones seguras o ejecución de análisis de datos. Por otro lado, actores relevantes en *Cloud Computing* trabajan conjuntamente con empresas expertas en procesos productivos para ofrecer soluciones interesantes para la industria como Azure (Microsoft, 2014). Y en esta línea la Unión Europea está financiando múltiples proyectos e iniciativas orientadas a explorar y promocionar el uso del *Cloud Computing* por parte de la industria como FP7 CAPP-4-SMEs (<http://www.capp-4-smes.eu>), FP7 FITMAN (<http://www.fitman-fi.eu>), FP7 CloudSME (<http://cloudsme.eu>), H2020 C2NET (<http://c2net-project.eu>) y H2020 CREMA (<http://www.crema-project.eu>).

Por último, cabe indicar la aparición hace pocos años del paradigma de *Cloud Manufacturing* (Xu, 2012) basado en la idea que hay detrás de *Cloud Computing*. En este caso los recursos computacionales del *Cloud Computing* son sustituidos por recursos de fabricación. Este paradigma que hace uso también del *Cloud Computing* se basa en la virtualización de los recursos de fabricación para que estos puedan ser gestionados y ofrecidos como servicio. A pesar del gran potencial del mismo, todavía está lejos de su posible adopción por parte de las empresas pues está en sus etapas iniciales, y requiere un cambio disruptivo en la cultura de la industria.

### ***Problemas y Retos para la adopción del Cloud Computing por la industria***

A pesar de las bondades que tiene el *Cloud Computing* todavía hay una serie de problemas y retos que impiden un mayor uso del mismo por parte de las empresas, que impide a su vez adoptar el paradigma de Industria 4.0 en todo su potencial.

El primer gran escollo a la hora de usar el *Cloud Computing* es la reticencia que muestran a que se almacenen datos críticos o sensibles en instalaciones externas a las mismas. La sensación de pérdida de control sobre dichos datos hace que muchas empresas no estén dispuestas a guardar los mismos externamente (asumiendo que no todas las empresas pueden permitirse disponer de su *Cloud Privado*). En tal caso los proveedores de soluciones *Cloud Computing* deben hacer un esfuerzo para que las empresas tengan más confianza en sus servicios y en el mantenimiento de la privacidad de los datos guardados en los mismos.

Estrechamente ligado al punto anterior está garantizar la seguridad de dichos datos ante posibles ataques externos pasa por ser otro de los motivos por los que las empresas no migran todavía al *Cloud*. En este punto si bien cabe destacar que los proveedores *Cloud* son más susceptibles de sufrir ataques, por lo general garantizan un nivel de seguridad mayor al que una empresa industrial medianamente informatizada puede garantizar. Esto se debe a que los proveedores *Cloud* tienen departamentos enteros para asegurar un buen nivel de seguridad pues se trata de un aspecto clave de su negocio. Por tanto, es necesario que las empresas se convenzan, y que los proveedores *Cloud* las convenzan de que el *Cloud* es un entorno seguro.

Otro reto al que deben dar una adecuada respuesta los proveedores *Cloud* es relativo al lugar en el cual residen los datos de la empresa y qué legislación aplica. Los centros de datos de los proveedores *Cloud* están repartidos en distintos lugares del mundo para poder garantizar la alta disponibilidad de los recursos. Por un lado, esto puede colisionar con legislaciones nacionales o regionales que establecen que los datos deben almacenarse en un determinado territorio, como por ejemplo el nuevo Reglamento Europeo de Protección de Datos – 2016/679 (UE, 2016). Por otro lado, en ocasiones no queda claro qué legislación aplica a los mismos, léase datos de usuarios de un país (que esperan que se aplique su legislación nacional para la protección de datos), pero que realmente son almacenados físicamente en otro país, y por tanto están sujetos a la ley del país donde se guardan. Por tanto, una clara y adecuada gestión de este aspecto es básico para las empresas.

La garantía en la calidad del servicio es otro aspecto que debe ser mejorado por parte de los proveedores *Cloud*. Mejora que debe realizarse en varios frentes. Por un lado, los niveles de calidad de servicio (ej. tolerancia a fallos, rendimiento, seguridad, acceso y recuperación de datos,) que ofrecen los proveedores pueden no ser suficientes para determinadas necesidades de la industria (especialmente en el ámbito operativo). Por otro lado, la complejidad subyacente al entorno *Cloud* hace que los contratos de garantía de calidad de servicio sean complejos de entender por legos en la materia cuando se intenta entrar en el detalle de los mismos. De hecho, como práctica habitual los proveedores *Cloud* ofrecen contratos tipo simplificados que suelen tender a proteger al proveedor *Cloud* frente al usuario. Por último, todavía hace falta trabajar en la estandarización de los aspectos considerados en los contratos de garantía de calidad de servicio que permitan a los usuarios comparar las características de distintos proveedores *Cloud*. Por tanto, los proveedores *Cloud* todavía deben hacer un esfuerzo en mejorar los niveles de calidad de servicio que pueden ofrecer, facilitar la comprensión de los contratos y estandarizar los mismos.

La disponibilidad y accesibilidad es otro de los desafíos a considerar al usar *Cloud Computing*. En este punto no sólo influye la tolerancia a fallos y rendimiento garantizados por contrato por el proveedor *Cloud* si no también la calidad de la conexión al *Cloud* (vía red interna o Internet). Así pues, si la conexión no funciona no se podrá acceder ni a los servicios ofrecidos ni los datos

almacenados en el *Cloud*. Esto puede ser un gran problema para procesos críticos u organizaciones que deben poder acceder a los datos cuando los necesiten. Por tanto, contratar una calidad de servicio suficiente con el proveedor *Cloud*, delimitar claramente que puede ir al *Cloud* y que no, y/o establecer mecanismos alternativos locales para servicios críticos que se han migrado al *Cloud* deviene una práctica de gran interés para la industria cuando se adopte el *Cloud Computing*.

Finalmente, el uso del *Cloud Computing* por parte de la industria para adoptar el paradigma de Industria 4.0 se ve afectado por la falta de un proceso claro para dicha transición. Esto afecta principalmente a las PYME que suelen estar muy focalizadas en el día a día, y en su actividad principal de negocio y no pueden dedicar suficientes recursos a planificar dicha migración para sacar el máximo provecho a la misma, ni llevarla a cabo. Además, no hay que olvidar que para adoptar el paradigma de la Industria 4.0 antes que gestionar y procesar datos (*Cloud Computing*), hay que generarlos y transmitirlos (IoT). En este caso la creación de una metodología, guías, recomendaciones y buenas prácticas junto con la adecuada formación de las personas involucradas y el soporte de expertos juegan un papel clave para llevar a cabo dicha transición.

El *Cloud Computing* es una tecnología ya lo suficientemente madura para que sea adoptada por la industria en determinados procesos y niveles donde la seguridad, disponibilidad y accesibilidad no son aspectos extremadamente críticos. Todo ello contando con el adecuado asesoramiento para garantizar una transición fluida. Si bien tal como se ha descrito todavía hay algunos problemas y retos a los que el *Cloud Computing* debe dar satisfacción para que se dé una adopción masiva del mismo por parte de la industria con garantías a todos los niveles.

### 2.2.3. Big Data Analytics

#### ***Origen del concepto Big Data Analytics***

La disciplina de *Data Analytics* ha estado presente prácticamente desde los inicios de las bases de datos. Sin embargo, la introducción del llamando *Big Data* ha cambiado la forma de ver y trabajar en dicho dominio. Por lo tanto, para entender dicha evolución es preciso definir en primer lugar que se entiende por *Big Data*. A pesar de la popularidad del término, todavía no existe un consenso claro sobre su origen y definición. Diebold (2012) analiza la evolución del concepto desde una perspectiva histórica y atribuye su origen en el marco de las TIC a Laney (2001), quien fue el primero de establecer una definición basada en tres dimensiones, es decir, Volumen, Velocidad y Variedad (3 uves): cuando la información de una organización sobrepasa una de estas tres dimensiones de tal forma que no puede ser gestionada mediante procesos habituales, dicha información se engloba como *Big Data*. Tal y como indican Gandomi y Murtaza (2015), estas tres dimensiones han sido la constante para definir el *Big Data*. Pero realmente también apunta que han sido las iniciativas de marketing de grandes compañías tecnológicas realizadas a partir el año 2011, las que han impulsado la popularidad del *Big Data*. Por esta razón, una de las definiciones más aceptadas del término es la que propone la consultora tecnológica Gartner (s.f.) en su glosario de términos TIC:

*“Big data is high-volume, high-velocity and/or high-variety information assets that demand cost-effective, innovative forms of information processing that enable enhanced insight, decision making, and process automation.”*

A partir de esta visión consensuada, otras propuestas han incluido dimensiones o “uves” adicionales a considerar como son la Veracidad, introducida por IBM, o la Variabilidad,



introducida por SAS, incluso alcanzando una definición de hasta siete dimensiones (Livingston, 2013). Sin embargo, tal y como algunas organizaciones y autores apuntan (Nessi, 2012; McKinsey, 2015), la dimensión que resulta más relevante desde el punto de vista de las organizaciones es el Valor. Es decir, ser capaz de gestionar una ingente cantidad de datos es irrelevante si no pueden ser utilizados para aportar valor a los procesos de negocio organizativos. Es con respecto a esta última dimensión donde el *Big Data Analytics* emerge, ya que se convierte en el catalizador principal para obtener dicho valor.

Se entiende como *Big Data Analytics* a la aplicación de técnicas analíticas para operar sobre el *Big Data*. Esta definición conjuga dos visiones: por una parte, una visión analítica soportada mediante una amplia base científica en técnicas estadísticas avanzadas, *Data Mining* e inteligencia artificial como las que presentan autores como Cohen et al., (2009). Por otra parte, una visión tecnológica que incide en la gestión de la información de forma escalable mediante bases de datos No-SQL (Moniruzzaman y Hossain, 2013) y tecnologías *cloud*. Otra forma de definir *Big Data Analytics*, es mediante un proceso de transformación de la información resumido a través de cinco fases tal y como muestra la siguiente figura (Labrinidis y Jagadish, 2012). Esta definición es compatible con la visión anterior puesto que la fase *Data management* hace referencia a las tecnologías necesarias para el almacenamiento, mientras que la fase de *Analytics* engloba las técnicas necesarias para la generación del nuevo conocimiento.

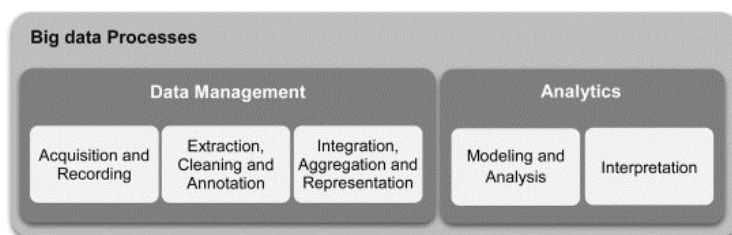


Figura 20. Procesos del Big Data. Fuente: Labrinidis y Jagadish, 2012

Los principales beneficios que aporta el uso *Big Data Analytics* son fundamentalmente la velocidad y eficiencia a la hora de procesar información. Si bien estos beneficios no son *per-se* novedosos, puesto que en el pasado se han utilizado soluciones de *Data Warehousing* o *Business Intelligence* con dicho fin. Sin embargo, esas soluciones tradicionalmente sólo estaban al alcance de grandes compañías puesto que requerían una alta inversión en infraestructura tecnológica. La llegada de las tecnologías *Big Data* ha democratizado el acceso a las soluciones de *analytics* puesto que es posible crear una infraestructura con hardware de bajo coste o incluso hacer uso de servidores *Cloud* (como Amazon Web Services) bajo demanda. Además, permiten un escalado horizontal conforme se necesitan mayores recursos, a diferencia de las soluciones de escalado vertical que ofrecían compañías como IBM u Oracle. Dichos avances tecnológicos permiten hoy en día a cualquier PYME el acceso al análisis de datos masivos en tiempo y costes razonables. De forma más específica en una encuesta llevada a cabo por TDWI Research (Russom, 2011) a nivel empresarial, se destacaron las siguientes ventajas del uso de *Big Data Analytics*:

- Mejorar la relación con los clientes, ya sea obteniendo información relevante a través de redes sociales o a través de su comportamiento.
- Mejor comprensión del negocio tanto a nivel de planificación futuro como de los cambios a afrontar.

- Mejorar aplicaciones analíticas como la detección de fraudes, la detección de riesgos o la toma de decisiones en tiempo real.

Si bien la aplicación de *Big Data Analytics* se encuentra en un estado todavía incipiente, se vislumbra como una disciplina con un amplio recorrido. Además, tal y como diversos autores apuntan, en los próximos años se convertirá en una herramienta esencial en cualquier proceso complejo que genere disparidad de datos a analizar. Es en este último punto donde adquiere un especial interés en el ámbito de la Industria 4.0.

### ***Big data Analytics y la Industria 4.0***

Un punto en común en diversos trabajos sobre la implantación de la Industria 4.0 es que para llevar a cabo dicha visión es necesaria la introducción del *Big Data Analytics* (Auschitzky, et al., 2014; Yin y Kaynak, 2015; PwC, 2016). Antes de la llegada de este nuevo paradigma, los datos generados en una cadena producción industrial también estaban siendo almacenados adecuadamente, por ejemplo, mediante sistemas SCADA (Daneels y Salter, 1999). Sin embargo, dicha información permanecía en los sistemas de producción y era borrada al cabo de un tiempo debido a la falta de espacio de almacenamiento o de recursos para procesarla. Actualmente no es sólo posible solventar dicho problema utilizando tecnologías *Big Data* escalables, como por ejemplo bases de datos *NO-SQL*, soportadas por un modelo de despliegue *Cloud*, sino que también es posible analizar el flujo continuo de datos en tiempo real y no solo un subconjunto de medidas individuales.

Analizado las características de los procesos que se dan lugar en la Industria 4.0 Chen, et al., (2014) presentan las siguientes características que justifican la necesidad de la incorporación del *Big Data Analytics*:

- **Alto volumen de información dispersa:** en un proceso industrial existen un amplio número de máquinas, con varios sensores asociados, que aportan información relevante en espacios de tiempo del orden de milisegundos. Si a este hecho añadimos la necesidad de proporcionar una perspectiva histórica de la información, el volumen de información se dispara con relativa facilidad.
- **Heterogeneidad:** otra consecuencia de la amplia variedad de sensores y dispositivos, es que el proceso de adquisición suele ser específico para cada tecnología involucrada. Habitualmente los datos se obtienen en formatos dispares que deben ser consolidados como paso previo a su análisis.
- **Especial relevancia del origen temporal y espacial de la información:** dos dimensiones habituales en cualquier proceso de captura de datos industrial, son el origen espacial del dato, por ejemplo, que cadena de producción o máquina lo originó, y su marca temporal (*timestamp*), el momento preciso en el cual se produjo dicho dato. Estas dos dimensiones son esenciales para la extracción de conclusiones.
- **Relevancia de los datos anómalos:** habitualmente los datos anómalos resultan esenciales en este entorno, ya que permiten detectar comportamientos que deben evitarse. Sin embargo, es habitual que se produzcan valores erróneos o “ruido” a causa del proceso de transmisión o procesamiento, por lo tanto, es complicado detectar los datos anómalos que realmente aportan valor.

La introducción del *Big Data Analytics* también ha evolucionado procesos industriales para hacerlos más precisos y eficientes en el marco de la Industria 4.0. A continuación describimos dos ejemplos paradigmáticos:

**Predictive Maintenance:** El concepto *Predictive Maintenance* o mantenimiento predictivo, hace referencia a la planificación y ejecución de procedimientos de mantenimiento para evitar la ocurrencia de un fallo o avería en una máquina. Su utilidad se fundamenta en el hecho que la realización de un mantenimiento puntual es menos costosa que una posible avería, la cual además puede tener consecuencias imprevisibles en la cadena de producción. Aunque el término mantenimiento predictivo no es novedoso, los avances producidos con respecto a la disponibilidad de los datos, la aplicación tecnológica del *machine learning* y las tecnologías *cloud* permiten una nueva aproximación: definir el mantenimiento predictivo en base a la integración de fuentes de datos diversas y la aplicación de algoritmos de alta complejidad, tales como redes neuronales. De acuerdo a los resultados, presentados por Breunig et al. (2016), la aplicación de estos nuevos algoritmos analíticos ha permitido una reducción en los costes de mantenimiento de entorno al 10-15 %

**Overall Equipment Effectiveness (OEE):** Este término definido por Nakajima (1988), evalúa la eficiencia de uso que posee un componente perteneciente a una cadena de producción industrial. Esta métrica, con un uso ampliamente extendido, es muy utilizada como KPI para medir el grado de éxito del proceso diseñado. Mediante el uso de *Big Data Analytics*, es posible plantear análisis basados en esta métrica que anteriormente no eran factibles al no poder procesar la información necesaria eficientemente. Por ejemplo, es posible obtener en tiempo real su evolución, así como poder realizar comparaciones entre distintas líneas de producción y turnos de trabajo. De esta forma el proceso de monitorización cambia radicalmente, ya que es viable realizar correcciones tan pronto como se detectan anomalías y observar inmediatamente la respuesta ante los cambios producidos. Diversos trabajos han puesto de manifiesto el valor del *Big Data Analytics* con respecto al OEE, como la fábrica inteligente diseñada por B&R (2015), o el reciente estudio de mercado presentado por Bosch (2015) que muestra claras mejoras en el OEE utilizando software basado en *analytics*.

### ***Impacto del Big Data Analytics para la Industria 4.0***

En la actualidad abundan trabajos, caso de usos e informes que ponen de manifiesto el impacto positivo del *Big Data Analytics* en entornos industriales. De acuerdo con una encuesta realizada a tres mil ejecutivos de diversas empresas (LaValle, 2011), el uso de *Analytics* es una ratio cinco veces mayor en las empresas más innovadoras y la mitad de los encuestados consideraron como una prioridad la mejora de los procesos de análisis de información. Sin embargo, alrededor del 60% también indicaron que actualmente su organización producía más datos de los que podía gestionar adecuadamente. Otros trabajos también analizan el impacto futuro que tendrá la introducción del *Big Data Analytics* desde el punto de vista laboral. Se prevé que la aplicación de *Big Data Analytics* en procesos industriales reducirá la demanda de trabajadores en el área del control de calidad. Sin embargo, aumentará la demanda de analistas de datos industriales. En concreto, un informe presentado por Boston Consulting Group (2015) analizando el caso alemán pronostica una pérdida de 20.000 trabajos, pero una demanda de 70.000 trabajos con el perfil analítico planteado.

Otro indicador del impacto esperado es el informe de McKinsey (2015): *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. En este documento se observa que tanto *Advance Analytics* como *Big Data* se posicionan en el top 3 de las tecnologías más relevantes, siendo especialmente relevante en el área de los procesos industriales (ver fig. 16).

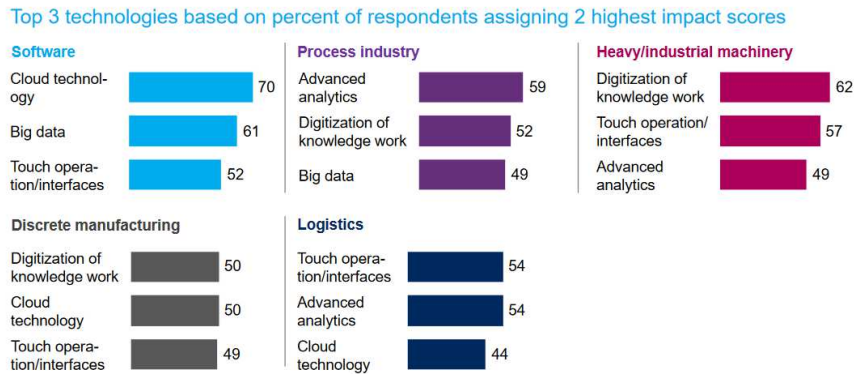


Figura 21. Impacto esperado del Big Data Analytics en la Industria 4.0. Fuente: McKinsey, 2015

Una encuesta más reciente llevada a cabo por PricewaterhouseCoopers (PwC, 2016) remarca de nuevo la importancia del *Big Data Analytics* situándolo, en sus propias palabras, como una capacidad esencial y transversal para la implantación de la Industria 4.0. Esta afirmación es respaldada por los encuestados, ya que el 83% le otorgan una importancia alta en el proceso de toma de decisiones a cinco años vista. Esta visión es una constante en distintas industrias, tal y como muestran los datos de la figura 17 extraídos de dicho estudio.

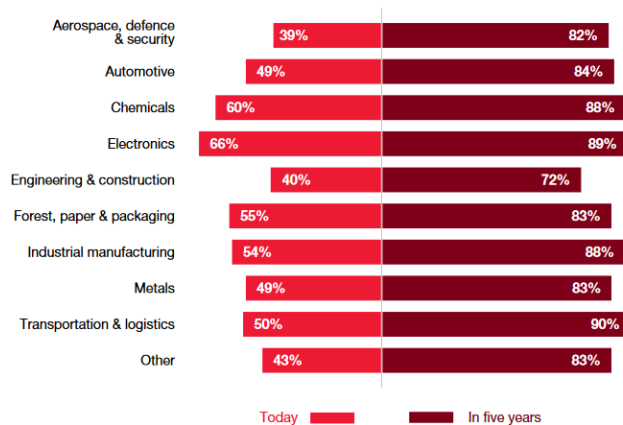


Figura 22. Importancia actual y futura de la analítica de datos en los procesos de toma de decisiones en la empresa. Fuente: PwC, 2016

Además de los numerosos informes y encuestas enfatizando el papel de *Big Data Analytics*, otro claro indicador para medir el impacto son los casos de uso en donde su aplicación ha resultado exitosamente. En el ámbito de la “fabricación inteligente”, Infineon Technologies (Infineon, 2016) ha conseguido decrecer la tasa de chips defectuosos fabricados mediante la correlación de los datos recopilados en la fase de testeo con los datos obtenidos en las etapas iniciales de fabricación. De esta forma han detectado patrones para descartar en etapas tempranas chips que resultarían defectuosos.

Otro caso de uso exitoso es el desarrollado por la cadena británica de supermercados Tesco e IBM (Brady, 2014). Los sistemas de refrigeración industrial son los principales consumidores de energía en un supermercado (entorno al 60%) por lo tanto, es crítico que funcionen a una temperatura óptima. El estudio tuvo en cuenta millones de muestras de temperatura provenientes de los aparatos de refrigeración de distintos supermercados. A través de la aplicación de técnicas de *Big Data Analytics*, principalmente de carácter estadístico, se optimizaron los valores de refrigeración y, en consecuencia, se redujo el consumo energético global de la cadena en un 2.5%.

#### 2.2.4. Realidad Virtual y Realidad Aumentada

##### **Realidad Virtual (RV)**

La configuración de producto a través de la realidad virtual por parte del cliente final puede permitir tener integrada la cadena de valor desde la personalización del cliente hasta la entrega del producto personalizado. Se personaliza el producto en la nube a través de técnicas de RV, se realiza el pedido, se transforma en producción, sin errores (ya que las configuraciones son todas posibles y llevan asociadas todas las restricciones), permitiendo además al cliente final visualizar el producto deseado antes de realizar su pedido.

La RV transforma la información digital en elementos físicos (un producto personalizado, por ejemplo) incidiendo de forma disruptiva en el diseño y prototipado, así como reduciendo tiempos y costes en la obtención de diseños finales.

Los sistemas de realidad virtual ayudan a simular el aspecto del producto final y permiten incluso probarlo con simulaciones virtuales sin estar todavía fabricado.

Las gafas o los cascos inteligentes permiten interactuar con las máquinas manteniendo libres las manos para realizar las operaciones necesarias, como por ejemplo el producto de Oculus.



Figura 23. Gafas y cascos inteligentes. Fuente: Oculus

Por otra parte, las tecnologías de medición de los movimientos a través de trajes especiales, por ejemplo Xsens (<https://www.xsens.com>), proporcionan acceso en tiempo real a la información de movimiento. Estos trajes son menos precisos que en base a marcadores de captura de movimiento óptico, pero son muy estables y eliminan la necesidad de cámaras, reduciendo barreras como pueden ser las condiciones de iluminación. Los esfuerzos están dedicados actualmente en la adaptación de estos sistemas existentes. Un ejemplo claro es el

traje creado por Synertial en cooperación con Skoda (<http://synertial.com/case-studies-skoda>), donde se desarrollaron algoritmos de compensación de perturbación magnética.



Figura 24. Sistema de captura de movimiento para Skoda. Fuente: Synertial

Tecnologías como Kinect de Microsoft (<https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect>) ofrecen la gran ventaja de abandonar soluciones de engorrosos trajes y marcadores usados sobre el cuerpo. Con esta tecnología se pueden implementar sistemas de monitorización de operarios en tiempo real, analizando su rendimiento y ergonomía con idea de aumentar su productividad. Si bien se han de solventar una serie de problemas asociados como puedan ser las interferencias magnéticas. Es necesario desarrollar algoritmos de evaluación de movimiento para poder evaluar los tiempos de cada trabajador y proporcionar información precisa para que el jefe de planta, o responsable de las cargas de trabajo entre los operarios, pueda organizar y coordinar los recursos y las tareas.

### **Realidad Aumentada (RA)**

La realidad aumentada es el término que se usa para definir una visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta a tiempo real. Consiste en un conjunto de dispositivos que añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, añadir una parte sintética virtual a lo real (Wikipedia, 2016).

Esta es la principal diferencia con la realidad virtual, puesto que no sustituye la realidad física, sino que sobreimprime los datos informáticos al mundo real. En el siguiente ejemplo se puede ver una ficha de producto con órdenes de fabricación de dicho producto, que mediante la lectura de un código asociado y la RA, el producto final, en este caso una silla, se muestra en 3D al operario para que tenga una visión global del producto.



**Figura 25.** Ejemplo de una orden de trabajo integrando la RA del producto a tratar y las herramientas necesarias, así como los pasos a seguir. **Fuente:** AIDIMME

Esto se puede trasladar a cualquier proceso, material, etc. Entonces podemos definir la realidad aumentada como el entorno real mezclado con lo virtual, y puede ser usada en varios dispositivos desde ordenadores, tablets, hasta dispositivos móviles, o incluso con tecnologías vestibles integradas en la ropa industrial o gafas especiales.

Podemos definir los componentes básicos de la RA como los siguientes:

- Dispositivos de visualización: instrumento donde se verá reflejado la suma de lo real y lo virtual que conforman la realidad aumentada.
- Cámara Web: a través de donde capta la información del mundo real y la transmite al dispositivo.
- Software/App: programa que toma los datos reales y los transforma en realidad aumentada.
- Marcadores: son símbolos que el software interpreta y de acuerdo a un marcador específico realiza una respuesta específica (mostrar imágenes, vídeos, animaciones, procesos, etc.).

La RA no es una tecnología que requiera ser un experto, de hecho, cualquier usuario puede interactuar con ella creando así una nueva vía de trabajar o comunicar. El uso de las capacidades de cada dispositivo en particular (por ejemplo, multitáctil de tabletas, inmersión con gafas, etc.), es un reto que tienen que superar los operarios en las plantas de fabricación o de mantenimiento. Es necesario, además, analizar continuamente los espacios (en tiempo real, así como históricamente), reaccionando cuando y según proceda (de forma síncrona), u ofrecer información al usuario, bajo petición (de forma asíncrona).

Los servicios de middleware *human-centric* son un elemento fundamental para la fabricación centrada en el ser humano. La actual revolución industrial digital se beneficiará enormemente de las tecnologías de RA ya que permiten la conectividad de la virtualización de fábrica con la fuerza de trabajo. La RA es una de las tecnologías facilitadoras más adecuada para desplegar en línea en la fuerza laboral de una fábrica, ya que simplemente mejora sus condiciones de

trabajo con información necesaria y puntual sin obstruir su visión y habilidades operacionales. Además, se puede reducir la capacitación especializada o la presencia de personal experto.

Los Sistemas de Realidad Aumentada (*Augmented Reality Systems, SRA*) están siendo una gran revolución ya que facilitan la movilidad en funciones de mantenimiento y montaje, como se muestra en las siguientes imágenes:



Figura 26. Ejemplo de uso de Smart Helmet en una cadena de montaje. Fuente: Daqri

Con la ayuda de la tecnología (por ejemplo, añadiendo la visión por computador y reconocimiento de objetos) la información sobre el mundo real alrededor del usuario se convierte en interactiva y digital. La información artificial sobre el medio ambiente y los objetos puede ser almacenada y recuperada como una capa de información en la parte superior de la visión del mundo real.

Una herramienta con tecnología RA permite identificar imágenes sobre papel para generar instrucciones virtuales asociadas a esa imagen. Se pueden visualizar a través de gafas o dispositivos móviles para visualizar todo el material necesario en el momento preciso para dar las instrucciones oportunas o acciones a realizar o informar sobre algún producto/material necesario para el proceso de fabricación.

En el siguiente ejemplo práctico, se muestra en el *display* del operario al que se le indica que debe coger la boquilla número 13 para la aplicación de barniz a pistola. El sistema conoce la ubicación del operario en todo momento mediante la tecnología de IoT (está en la cabina de barnizado), sabe que tiene la pistola (módulo de RA), y le indica la boquilla a elegir para el proceso de barnizado que ha de desarrollar. Esto es aplicable y trasladable a cualquier proceso productivo.





Figura 27. Ejemplo de instrucciones al operario sobre qué boquilla utilizar. Fuente: AIDIMME

Las aplicaciones avanzadas de RA permiten el máximo control de los equipos y máquinas, ya que identificando el equipo se puede mostrar toda la información necesaria en pantalla en tiempo real (por ejemplo, operaciones), permitiendo además la entrada de datos, identificando riesgos, visualizando fichas técnicas, etc.

Una gran ventaja que ofrece la RA es permitir la posibilidad de transmitir la información a, y desde, cualquier punto del planeta con conexión a internet facilitando las labores de mantenimiento y la supervisión de instalaciones, evitando así el desplazamiento de técnicos.

## 2.3. Agentes e iniciativas relevantes

### 2.3.1. Asociaciones y clústeres sectoriales

En la siguiente tabla se muestran las principales asociaciones y clústeres de los sectores del proyecto SAIN4 (madera, mueble y metálico).

Acrónimo	Nombre	Provincia Sede	URL
<b>FEVAMA</b>	Federación Empresarial de la Madera y Mueble de la Comunitat Valenciana	Valencia	<a href="http://www.fevama.es/">http://www.fevama.es/</a>
<b>ANIEME</b>	Asociación Nacional de Industriales y Exportadores de Muebles de España	Valencia	<a href="http://www.anieme.com/">http://www.anieme.com/</a>
<b>FEDERHABITAT</b>	Federación Española de Empresas	Madrid	<a href="http://federmueble.es/">http://federmueble.es/</a>

	del Hábitat		
<b>CONFEMADERA</b>	Confederación Española de Empresarios de la Madera	Madrid	<a href="http://www.confemadera.es/">http://www.confemadera.es/</a>
<b>AIDIMME</b>	Instituto Tecnológico metalmeccánico, mueble, madera, embalaje y afines	Valencia	<a href="http://www.aidimme.es">http://www.aidimme.es</a>
<b>INNOMETALIA</b>	Agrupación de Empresas Innovadoras del sector Metal	Alicante	<a href="http://www.innometalia.es/">http://www.innometalia.es/</a>
<b>CONFEMETAL</b>	Confederación Española de Organizaciones Empresariales del Metal	Madrid	<a href="http://confemetal.es/">http://confemetal.es/</a>
<b>FEMEVAL</b>	Federación Empresarial Metalúrgica Valenciana	Valencia	<a href="http://www.femeval.es">http://www.femeval.es</a>
<b>FEMPA</b>	Federación de Empresarios del Metal de la Provincia de Alicante	Alicante	<a href="http://www.fempa.es/">http://www.fempa.es/</a>
<b>iMAUT</b>	innovación Movilidad - Automoción - Medios de Transporte	Valencia	<a href="http://www.imaut.com/">http://www.imaut.com/</a>
<b>AVIA</b>	Clúster de Automoción de la Comunitat Valenciana	Valencia	<a href="http://www.avia.com.es/">http://www.avia.com.es/</a>
<b>ANFAC</b>	Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones	Madrid	<a href="http://www.anfac.com/">http://www.anfac.com/</a>
<b>IEA</b>	Instituto de Estudios de Automoción	Madrid	<a href="http://www.ideauto.es/">http://www.ideauto.es/</a>
<b>Fundación CIDAUT</b>	Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía	Valladolid	<a href="http://www.cidaut.es/">http://www.cidaut.es/</a>

Tabla 3. Asociaciones y clústeres sectoriales en Fabricación. Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Plataformas tecnológicas y entidades asociadas

Las Plataformas Tecnológicas son estructuras público-privadas de trabajo en equipo lideradas por la industria, en las que todos los agentes de Ciencia-Tecnología-Innovación interesados en un campo tecnológico trabajan conjunta y coordinadamente para identificar y priorizar las necesidades tecnológicas, de investigación y de innovación a medio o largo plazo. Su principal objetivo es conseguir los avances científicos y tecnológicos que aseguren la competitividad, la sostenibilidad y el crecimiento del tejido empresarial, alineando las estrategias de los diferentes agentes y concentrando los esfuerzos de I+D+i (Mineco, n.d.).

La colaboración en plataformas tecnológicas supone muchas ventajas para las entidades participantes que redundan en una mejora de su competitividad:



- Constituyen un foro de vigilancia tecnológica que proporciona información de primera mano acerca del estado de la tecnología en cada una de las áreas de actividad de un sector.
- Permiten el traslado de los intereses de los participantes de una manera eficaz a las Administraciones Públicas, facilitando la integración de sus preferencias en programas de trabajo de I+D+i y en documentos de ámbito nacional y europeo.

- Facilitan el establecimiento de alianzas con otras organizaciones con iguales intereses, fortaleciéndose las oportunidades de negocio en cooperación.
- Representan un canal excelente para la internacionalización y, en definitiva, para darse a conocer y dar visibilidad a la oferta tecnológica de cada entidad al resto de actores relevantes en un ámbito tecnológico.
- Permiten reflejar el grado de interés de una región o país en un determinado ámbito.

A continuación, se destacan aquellas plataformas tecnológicas y entidades asociadas relacionadas con la industria manufacturera del futuro.

Acrónimo	Título. URL.	Objetivos
<b>Manufuture</b> 	Plataforma tecnológica europea de Tecnologías para la Fabricación del Futuro  <a href="http://www.manufuture.org/manufacturing/">http://www.manufuture.org/manufacturing/</a>	Lanzada en 2004 con la misión es definir e implementar estrategias de I+D+i capaces de acelerar la transformación de la industria en Europa hacia productos, procesos y servicios de alto valor añadido, asegurando un empleo altamente cualificado y ganando mayor cuota de resultados de la fabricación mundial en la futura economía basada en el conocimiento. Sus objetivos de alto nivel son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competitividad de la industria de fabricación.</li> <li>• Liderazgo en tecnologías de fabricación.</li> <li>• Productos y fabricación sostenible medioambientalmente.</li> <li>• Liderazgo en productos y procesos, además de en valores culturales, éticos y sociales.</li> </ul>
<b>EFFRA</b> 	<i>European Factories of the Future Research Association</i>  <a href="http://www.effra.eu/">http://www.effra.eu/</a>	Asociación sin ánimo de lucro, dirigida por la industria, que pretende promover el desarrollo de tecnologías de producción nuevas e innovadoras.  Fue establecida para definir, promocionar y apoyar la implementación del partenariado público-privado contractual PPP FoF ( <i>Factories of the Future Public-Private Partnership</i> ); <a href="http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html">http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html</a> ) y se ha convertido en el principal interlocutor entre la Unión Europea y el sector privado en lo referente a la investigación sobre la futura evolución de las fábricas europeas.
<b>A.SPIRE aisbl</b> 	<a href="http://www.spire2030.eu/">http://www.spire2030.eu/</a>	Asociación internacional sin ánimo de lucro formada para representar al sector privado en la industria de procesos a través del partenariado público-privado PPP SPIRE ( <i>Resource and Energy Efficiency</i> ); <a href="http://ec.europa.eu/research/press/2013/pdf/ppp/spire_factsheet.pdf">http://ec.europa.eu/research/press/2013/pdf/ppp/spire_factsheet.pdf</a> ).  Fue lanzada en 2012 como parte del nuevo programa marco Horizonte 2020 gracias al esfuerzo de los siguientes subsectores industriales: químico, acero, ingeniería, minerales, metales no férreos, cemento, cerámica y agua.

		Esta asociación representa a más de 90 socios privados y de investigación de la industria de procesos de más de 12 países a lo largo de Europa. Su objetivo fundamental es promocionar el desarrollo de tecnologías y soluciones innovadoras para alcanzar sostenibilidad a largo plazo en Europa y en su industria de procesos en términos de competitividad, sostenibilidad medioambiental y empleo.
<b>MANU-KET</b>  	Plataforma Tecnológica Española de Fabricación Avanzada  <a href="http://www.manufacturing-ket.com/manu-ket/">http://www.manufacturing-ket.com/manu-ket/</a>	Tiene como objetivo dar respuesta a las necesidades tecnológicas que planteen los productos y servicios del futuro, en los cuales la incorporación de materiales avanzados, micro-electrónica, fotónica o nanotecnologías (todas ellas, Tecnologías Facilitadoras Clave “KETs”) requieran nuevos desarrollos de procesos, equipamientos y sistemas de fabricación con niveles superiores de productividad, seguridad, funcionalidad o precisión y coloquen a las empresas españolas en posiciones competitivas punteras o de liderazgo a nivel internacional.
<b>PLATECMA</b>  	Plataforma Tecnológica Sectores Manufactureros Tradicionales  <a href="http://www.platecma.com/home/home.php">http://www.platecma.com/home/home.php</a>	Tiene como objetivo general mejorar la competitividad y la sostenibilidad de la actividad industrial manufacturera tradicional a través del fomento e impulso de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación. Busca transformar los sectores tradicionales manufactureros españoles en actividades productivas competitivas, sostenibles y crecientemente basadas en el conocimiento.  Sus líneas estratégicas son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Productos/servicios de alto valor añadido</li> <li>- Nuevos modelos de negocio</li> <li>- Nuevos materiales</li> <li>- Cliente especializado, personalización.</li> </ul>
<b>Industria 2020</b>  	Plataforma Colaborativa de la Industria Conectada 4.0  <a href="http://industria2020.com/">http://industria2020.com/</a>	Espacio colaborativo donde compartir información y oportunidades, para definir y desarrollar proyectos en Industria 4.0 productivos, innovadores y exitosos.  Su objetivo principal es dotar a las empresas y entidades españolas de los conocimientos, capacidades, medios y oportunidades que les permitan estructurar y coordinar proyectos de innovación en el campo de la Industria 4.0 de nivel excelente. Este objetivo principal se concreta en dos tipos de acciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar a clústeres y empresas sobre Industria 4.0</li> <li>• Promover el desarrollo de proyectos en Industria 4.0</li> </ul>
<b>Move to Future (M2F)</b>	Plataforma Tecnológica Española de Automoción y de	Su objetivo es servir de instrumento de desarrollo y seguimiento de iniciativas entre los diferentes actores implicados en la cadena de innovación de dicho sector en España, para crear una cultura de innovación y una línea de trabajo común con el fin de aumentar la competitividad de

	<p>Movilidad</p> <p><a href="http://www.move2future.es">http://www.move2future.es</a></p>	<p>las empresas ante los nuevos retos que surgen, mediante la investigación, desarrollo e innovación en productos y procesos. Se estructura en el marco de 5 grupos de trabajo, cuatro técnicos y uno transversal sobre medidas de apoyo al Sector:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• GT1 – Electrificación del vehículo, energía y recursos.</li> <li>• GT2 – Seguridad.</li> <li>• GT3 – Materiales, sistemas de diseño y producción.</li> <li>• GT4 – Movilidad en áreas urbanas e interurbanas.</li> <li>• GT5 - Fomento de la I+D+i.</li> </ul>
<p><b>Food For Life-Spain</b></p> 	<p>Plataforma Tecnológica Food for Life-Spain</p> <p><a href="http://foodforlife-spain.es/">http://foodforlife-spain.es/</a></p>	<p>Tiene como misión contribuir al desarrollo de la I+D+i para la promoción de la calidad, seguridad alimentaria, mejora de los procesos productivos y obtención de productos de alto valor para la salud.</p> <p>Actúa como punto de encuentro de todos los que buscan el interés común de fomentar el desarrollo tecnológico y la innovación del sector de alimentación y bebidas. Desde su creación en 2009, la Plataforma ha participado activamente en la promoción de numerosos proyectos de innovación alimentario.</p> <p>Está compuesta de los siguientes grupos de trabajo: formación y transferencia de tecnología; alimentación y salud; calidad, producción y sostenibilidad; alimentos y consumidor; seguridad alimentaria; gestión de la cadena; sector horeca; sector hortofrutícola; envases y embalajes; sector cárnico; y sector lácteo.</p> <p>Su homóloga europea es la ETP 'Food for Life' (<a href="http://etp.fooddrinkeurope.eu/">http://etp.fooddrinkeurope.eu/</a>).</p>

**Tabla 4. Plataformas tecnológicas y entidades asociadas relacionadas con la industria manufacturera del futuro.**  
Fuente: elaboración propia

### 2.3.3. Proyectos I+D+i

Con el fin de conocer las iniciativas relevantes en materia de investigación, se han revisado los proyectos de Investigación y Desarrollo más recientes y destacados a nivel europeo en el ámbito de la fabricación avanzada.

Se ha elaborado una tabla con los datos básicos de cada proyecto más una relación de las entidades que forman el consorcio, acompañada de unas palabras clave que describen la investigación llevada a cabo. La fuente utilizada para extraer dicha información es CORDIS ([http://cordis.europa.eu/home\\_es.html](http://cordis.europa.eu/home_es.html)) y el Observatorio Tecnológico del sector TIC (<https://observatorio.iti.upv.es>)

Esta información ha sido incluida con dos claros objetivos: por una parte, ofrecer una visión en conjunto de los actores europeos más activos en I+D para facilitar su análisis en una posible búsqueda de alianzas y, por otra, ofrecer de una manera sintética aquellos aspectos

tecnológicamente más relevantes que permitan conocer las líneas de investigación llevadas a cabo actualmente de una manera rápida y directa.

En este último punto, destacar algunas de las materias relacionadas con la industria 4.0 sobre las que se está investigando en este campo, todo ello con una clara orientación hacia una fabricación sostenible (económica, social y medioambientalmente):

- *Sistemas de procesamiento de información en tiempo real / Sistemas de ayuda a la decisión*
- *Formación y capacitación de empleados para la industria del futuro*
- *Monitorización de instalaciones y maquinaria*
- *Redes de sensores y dispositivos móviles*
- *Sistemas robóticos inteligentes y cooperativos*
- *Eficiencia energética y ahorro de energía*
- *Interoperabilidad / flexibilidad*
- *Optimización de procesos de fabricación*
- *Plataformas cloud para el desarrollo de ecosistemas de aplicaciones*
- *Etc.*

Algunos proyectos relevantes y recientes en el ámbito de la Fabricación avanzada son:

- **AMELI 4.0: Micro-electromechanical system for condition monitoring in Industry 4.0** (diciembre 2015 – diciembre 2018, German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) as part of its “IKT 2020 – Research for Innovation” program, [http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=7692&tk\\_id=166](http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=7692&tk_id=166)). Proyecto financiado por el Ministerio Federal Alemán de Ciencia e Investigación (BMBF) cuyo objetivo es desarrollar el sistema de sensores del futuro para la fabricación conectada o Industria 4.0. El sistema está destinado a supervisar la maquinaria y detectar inmediatamente desviaciones de su estado de funcionamiento normal a través de la medición del ruido con sensores MEMS, que presentan grandes ventajas, pero que no han sido explotados todavía en un ambiente industrial.
- **FACT4WORKERS: Worker-Centric Workplaces in Smart Factories** (diciembre 2014 - noviembre 2018, H2020-FoF-2014 <http://facts4workers.eu>) Proyecto H2020 que desarrolla diferentes soluciones que permiten la integración de elementos de conocimiento incremental sobre la planta de producción. Estas soluciones potenciarán la capacidad de los trabajadores en las plantas de fábricas inteligentes con infraestructuras TIC. Entre los objetivos del proyecto se encuentra: aumentar la resolución de problemas y mejorar las habilidades en innovación de los trabajadores; aumentar la satisfacción del trabajador y mejorar las condiciones de trabajo (seguridad, organización del trabajo, saber hacer); mejorar la media de productividad en base a nuevas métricas 10% y evolucionar (TRL5 – TRL7) soluciones centradas en el trabajador que permitan disponer de sistemas y elementos inteligentes bajo el concepto de “Smart Factory”.
- **FITMAN: Worker-Centric Workplaces in Smart Factories** (abril 2013 - septiembre 2015, FP7-2012-ICT-FI; <http://www.fitman-fi.eu>). Proyecto del VII PM con la misión global de proporcionar un conjunto de ensayos-piloto llevados a cabo en diferentes subsectores (automoción, aeronáutica, electrodomésticos, muebles, textil / confección, iluminación LED, plástico, construcción) de fabricación con el fin de evaluar la idoneidad, utilidad y flexibilidad de los componentes desarrollados en el proyecto FI-WARE (activadores genéricos y específicos) además de contribuir a la sostenibilidad

social-tecnológica-económica-ambiental-política (STEEP) de las empresas manufactureras en la UE.

- **X-ACT: Expert cooperative robots for highly skilled operations for the factory of the future** (octubre 2012 - septiembre 2015; FoF-ICT-2011.7.1; <http://www.xact-project.eu>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es aumentar la incorporación de sistemas robóticos inteligentes y cooperativos en las fábricas europeas. Se trata de mejorar y madurar los robots de doble brazo para cooperar con los operadores humanos en las industrias, como una tecnología más de producción fiable. Se hará una demostración en el sector de automoción que consista en el montaje diestro de partes flexibles. Un segundo demostrador se focalizará en desmontar y montar dispositivos eléctricos.
- **EE-METAL: Applying energy efficient measures for metal and metalworking SMEs and industry** (marzo 2016 - febrero 2019; H2020-EE-2015-3-MarketUptake; <http://www.ee-metal.com>). Proyecto H2020 que tiene como objetivo proporcionar a las empresas herramientas técnicas, comerciales y financieras innovadoras con el fin de superar las barreras existentes que impiden la adopción de medidas de ahorro energético. Las acciones del proyecto están dirigidas principalmente al sector metalmeccánico, sector de la fabricación más grande de Europa y compuesto en su mayoría por PYME.
- **PROVET 4.0: Professional Development of VET learners and industrial workers for the new industrial revolution 4.0** (noviembre 2015 - octubre 2017; Erasmus Plus - KA2 Strategic Partnership VET 2015 <http://provet40.eu/es/provet-es>). El proyecto PROVET 4.0, financiado por el Programa de Aprendizaje Permanente de la Unión Europea, tiene como objetivo aumentar la relevancia en el mercado de trabajo de la Formación Profesional, ofreciendo un currículo innovador y orientado al empleo que responda a las necesidades de la industria y que permita cualificar a los alumnos/as de FP y a los trabajadores/as industriales para la nueva revolución industrial 4.0.
- **C2NET: Cloud Collaborative Manufacturing Networks** (enero 2015 - diciembre 2017; H2020-FoF-2014; <http://c2net-project.eu>). Proyecto H2020 que tiene como objetivo principal la construcción de una nueva arquitectura en la nube que proporcione a las PYME herramientas asequibles (en términos de coste y facilidad de uso) para mejorar su competitividad a través de la creación de herramientas en la nube de apoyo a la optimización de Redes de Fabricación compuestas principalmente por PYME y sus activos logísticos mediante la gestión de la demanda, producción y planes de suministro de forma colaborativa.
- **BEINCPPS: Business Experiments in Cyber Physical Production Systems** (noviembre 2015 – octubre 2018; H2020-FoF-2015; <http://beincpps.eu>). El proyecto H2020 tiene como objetivo integrar y experimentar una plataforma integral máquina-factoría-servicios en la nube, basada en CPS (ciber physical systems) y FI (Future Internet). El proyecto se orienta a su aplicación en cinco regiones seleccionadas (Lombardía en Italia, Euskadi en España, Baden WUERTEMBERG en Alemania, Norte de Portugal, y Rhone-Alpes en Francia), para ser aplicado después en todas las regiones europeas, mediante la participación de centros de competencia local y las PYME de fabricación.
- **ProSEco: Collaborative Environment for Design of Aml enhanced Product-Services Integrating Highly Personalised Innovative Functions with Minimal Ecological Footprint along Life Cycle and of Their Production P** (octubre 2013 – septiembre 2017; FP7-2013-NMP-ICT-FOF(RTD); <https://www.proseco-project.eu/>). El objetivo del proyecto es proporcionar una nueva metodología y una solución TIC para el diseño

colaborativo de productos-servicios y de sus procesos de producción. Para ello se utilizará tecnología de Inteligencia Ambiental, principios Lean y de eco-diseño y técnicas de asesoramiento del ciclo de vida.

- **Co-FACTOR: Cooperate, Communicate and Connect to boost smart Components for tomorrows Industry** (enero 2015-diciembre 2016; H2020-FoF-2014 - CSA; <http://www.cofactor-eu-project.org/>). Iniciativa europea para promocionar el desarrollo de dispositivos con nuevas capacidades inteligentes (*componentes inteligentes*) en la industria. Trata de fusionar sectores tradicionalmente separados, TIC y Fabricación, en el nuevo paradigma del Internet de las Cosas o la Industria 4.0. Su objetivo fundamental es impulsar el impacto industrial de 6 proyectos europeos en curso focalizados en la fábrica del futuro: [I-RAMP<sup>3</sup>](#), [ReBorn](#), [SelSus](#), [T-Rex](#), [INTEFIX](#) y [Power-OM](#), permitiendo a las organizaciones que participan en la misma colaborar con los expertos en este campo y beneficiarse de los resultados que se vayan obteniendo en los proyectos.
- **Fortissimo 2: Factories of the Future Resources, Technology, Infrastructure and Services for Simulation and Modelling 2** (noviembre 2015-octubre 2018; H2020-FoF-2015-IA; <http://www.fortissimo-project.eu/>). Proyecto europeo para posibilitar el uso de modelado, simulación y analítica de datos avanzados por parte de fabricantes e ingenierías PYME europeas, lo que les permitirá mejorar sus procesos de diseño, tener mejores productos y servicios e incrementar su competitividad. Para ello hará uso de una infraestructura cloud de alto rendimiento.
- **FLEXINET: Intelligent Sytems Configuration Services for Flexible Dynamic Global Production Netwoks** (julio 2013 – junio 2016; FoF.NMP.2013-9; <http://www.flexinet-fof.eu/Pages/FlexHome.aspx>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es obtener servicios que permitan a las empresas manufactureras diseñar e implantar redes interoperables y flexibles de sistemas productivos que puedan ser reconfiguradas para adaptarse rápida y adecuadamente a los cambios del entorno, evaluando las diferentes opciones a la hora de tomar decisiones ante problemas complejos con múltiples facetas.
- **OPTIMISED: Operational Planning Tool Interfacing Manufacturing Integrated Simulations with Empirical Data** (noviembre 2015-octubre 2018; H2020-FoF-2015-RIA; <https://optimised-h2020.eu/>). El objetivo del proyecto es desarrollar nuevos métodos y herramientas para el despliegue de sistemas de planificación altamente optimizados y reactivos que incorporen modelado y simulación de procesos de fabricación y basados en datos empíricos capturados usando sensores embebidos inteligentes e interfaces hombre-máquina proactivas en las fábricas. Se busca evaluar el impacto de la gestión energética en la planificación y optimización de la fábrica.
- **MC-SUITE: ICT Powered Machining Software Suite** (octubre 2015 – septiembre 2018; H2020-FoF-2015-RIA; <http://www.mc-suite.eu/>). Proyecto H2020 que pretende impulsar la productividad de la industria manufacturera usando las últimas novedades en TIC: tecnologías de computación de alto rendimiento, Big Data y *Cloud*. El proyecto propondrá nuevos framework software para recoger información de múltiples dispositivos de monitorización que permitan mejorar los procesos de fabricación.
- **EFFECTIVE: Exploiting Factory of the Future projects through Enhanced Clustering towards Technology Transfer, Innovation and Value creation for European industry** (enero 2015-diciembre 2016; H2020-FoF-2014-CSA; <http://www.effectivefof.eu/>). El objetivo es fomentar y mejorar las actividades de agrupación y los resultados de los proyectos europeos en fabricación avanzada para maximizar su explotación. Se pretende desarrollar un sólido framework y redes y alianzas para la explotación



industrial en seis dominios tecnológicos (procesos aditivos, robótica avanzada, herramientas virtuales/digitales para sostenibilidad, TIC para la cadena de valor, interacción hombre-máquina segura y formación) y cuatro áreas de aplicación industrial (bienes de consumo, sistemas de producción, maquinaria, dispositivos médicos).

- **MEMAN: Integral Material and Energy flow MANAGEMENT in MANufacturing metal mechanic sector** (enero 2015-junio 2018; H2020-FoF-2014-RIA; <http://meman.eu/>). Este proyecto pretende mejorar la competitividad del sector metal-mecánico a través de la validación de nuevos modelos de negocio que permiten la colaboración de empresas a lo largo de toda la cadena de valor, con el objetivo de reducir los impactos globales en términos de energía y otros recursos.

Acrónimo	Título. URL.	Líder (País)	Consorcio	Duración	Palabras clave
<b>AMELI 4.0</b>	Micro-electromechanical system for condition monitoring in Industry 4.0 <a href="http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?xtID=7692&amp;tk_id=166">http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?xtID=7692&amp;tk_id=166</a>	BOSCH (Germany)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIEMENS AG - Germany</li> <li>• HAHN SCHICKARD GESELLSCHAFT - Germany</li> <li>• FRAUNHOFER INSTITUTE FOR PRODUCTION SYSTEMS AND DESIGN TECHNOLOGY IPK - Germany</li> <li>• BINDER-ELEKTRONIK GMBH - Germany</li> <li>• SCHAUDT MIKROSA GMBH - Germany</li> <li>• STACKFORCE GMBH - Germany</li> </ul>	From 2015-12 to 2018-12	MEMS sensors; energy efficiency; noise; signal processing; monitoring; preventive maintenance; reducing costs
<b>FACT4WORKERS</b>	Worker-Centric Workplaces in Smart Factories <a href="http://facts4workers.eu">http://facts4workers.eu</a>	VIRTUAL VEHICLE Research Center (Austria)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HIDRIA TC TEHNOLOSKI CENTER D.O.O. - Slovenia</li> <li>• UNIVERSITA DEGLI STUDI DI FIRENZE - Italy</li> <li>• TECHNISCHE UNIVERSITAET WIEN - Austria</li> <li>• THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG - Germany</li> <li>• IMINDS - Belgium</li> <li>• SIEVA, PODJETJE ZA RAZVOJ IN TRZENJ V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI DOO - Slovenia</li> <li>• UNIVERSITAET ZUERICH - Switzerland</li> <li>• THERMOLYMPIC SL - Spain</li> <li>• EMO-ORODJARNA DOO - Slovenia</li> <li>• EVOLARIS NEXT LEVEL GMBH - Austria</li> <li>• INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGON - Spain</li> <li>• SCHAEFFLER TECHNOLOGIES AG &amp; CO. KG - Germany</li> <li>• LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO - Finland</li> <li>• HIDRIA ROTOMATIKA DOO, INDUSTRIJA ROTACIJSKIH SISTEMOV - Slovenia</li> </ul>	From 2014-12-01 to 2018-11-30	job satisfaction, problem-solving and innovation skills; productivity; employment; factory floor working conditions; usability; user experience; technology acceptance; augmented reality; virtual reality; big data; data visualization; smart factory; automotive
<b>FITMAN</b>	Future Internet Technologies for MANufacturing industries <a href="http://www.fitman-fi.eu/">http://www.fitman-fi.eu/</a>	TXT E-SOLUTIONS SPA (Italia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UNIVERSITAET INNSBRUCK - Austria</li> <li>• LABORATOIRE VIRTUEL EUROPEEN DANS LE DOMAINE DE L'INTEROPERABILITE DESENTREPRISES - Belgium</li> <li>• COMPLUS AUTOMATION GMBH - Germany</li> <li>• DEUTSCHE INSTITUTE FUR TEXTIL- UND FASERFORSCHUNG DENKENDORF - Germany</li> </ul>	From 2013-04-01 to 2015-09-30	FI-WARE; future internet; platform; smart factory; digital factory; virtual factory; STEEP; ICT-FI; OEM; SME; verification;

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV - Germany</li> <li>• VOLKSWAGEN AG - Germany</li> <li>• STIFTUNG FZI FORSCHUNGSZENTRUM INFORMATIK AM KARLSRUHER INSTITUT FUR TECHNOLOGIE - Germany</li> <li>• DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FUER KUENSTLICHE INTELLIGENZ GMBH - Germany</li> <li>• BIBA - BREMER INSTITUT FUER PRODUKTION UND LOGISTIK GMBH - Germany</li> <li>• TRW AUTOMOTIVE ESPAÑA SL - Spain</li> <li>• DATAPIXEL SL - Spain</li> <li>• ASOCIACION DE EMPRESAS TECNOLOGICAS INNOVALIA - Spain</li> <li>• ATOS SPAIN SA - Spain</li> <li>• ASOCIACION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DEL MUEBLE YAFINES AIDIMA - Spain</li> <li>• UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA - Spain</li> <li>• Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy - Finland</li> <li>• TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT - Finland</li> <li>• UNIVERSITE BORDEAUX I - France</li> <li>• UNIVERSITE LUMIERE LYON 2 - France</li> <li>• GEOLOC SYSTEMS - France</li> <li>• UNIVERSITE DE BORDEAUX - France</li> <li>• APPLICATIONS PLASTIQUES DU RHONE SAS APR - France</li> <li>• NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS - NTUA - Greece</li> <li>• POLITECNICO DI MILANO - Italy</li> <li>• SOFTECO SISMAT SRL - Italy</li> <li>• ENGINEERING - INGEGNERIA INFORMATICA SPA - Italy</li> <li>• FRATELLI PIACENZA S.P.A. - Italy</li> <li>• Whirlpool Europe srl - Italy</li> <li>• AGUSTAWESTLAND SPA - Italy</li> <li>• HOLONIX SRL-SPIN OFF DEL POLITECNICO DI MILANO - Italy</li> <li>• UNINOVA-INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVAS</li> </ul>	validation
--	--	--	--	------------

			<p>TECNOLOGIAS-ASSOCIACAO - Portugal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PT INOVACAO E SISTEMAS SA - Portugal</li> <li>• CONSULGAL - CONSULTORES DE ENGENHARIA E GESTAO SA. - Portugal</li> <li>• COMPANY FOR PROVISION OF SERVICES, RESEARCH AND DEVELOPMENT NISSATECH INNOVATION CENTRE DOO - Serbia</li> <li>• COVENTRY UNIVERSITY - United Kingdom</li> <li>• UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON - United Kingdom</li> <li>• TECHNOLOGY APPLICATION NETWORK LIMITED - United Kingdom</li> <li>• ATOS CONSULTING CANARIAS SA UNIPERSONAL - Spain</li> <li>• CONTROL 2K LIMITED - United Kingdom</li> <li>• SEMATRONIX LIMITED - United Kingdom</li> </ul>		
<b>X-ACT</b>	<p>Expert cooperative robots for highly skilled operations for the factory of the future</p> <p><a href="http://www.xact-project.eu/">http://www.xact-project.eu/</a></p>	<p>UNIVERSITY OF PATRAS  (Greece)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV - Germany</li> <li>• FUNDACION TEKNIKER - Spain</li> <li>• PILZ INDUSTRIELEKTRONIK SL - Spain</li> <li>• Alfa Hogar S.L. - Spain</li> <li>• SIEMENS INDUSTRY SOFTWARE SAS - France</li> <li>• SIEMENS INDUSTRY SOFTWARE LTD - Israel</li> <li>• COMAU SPA - Italy</li> <li>• TOFAS TURK OTOMOBIL FABRIKASI ANONIM SIRKETI - Turkey</li> </ul>	<p>From 2012-10-01 to 2015-09-30</p>	<p>factory of the future; dual arm cooperative robots; highly intuitive interfaces; simulation technology</p>
<b>EE-METAL</b>	<p>Applying energy efficient measures for metal and metalworking SMEs and industry</p> <p><a href="http://www.ee-metal.com/">http://www.ee-metal.com/</a></p>	<p>ASOCIACIÓN DE LA INDUSTRIA NAVARRA  (Spain)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL COMERCIO E INDUSTRIA DEL METAL DE MADRID - Spain</li> <li>• CSMT GESTIONE SCARL - Italy</li> <li>• ASSOCIAZIONE INDUSTRIALE BRESCIANA - Italy</li> <li>• UNION DES INDUSTRIES METALLURGIQUESMECANIQUES ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES DU RHONE - France</li> <li>• MP POLSKIE KLASTRY SPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSCIA - Poland</li> <li>• AGENCJA UZYTKOWANIA I POSZANOWANIA ENERGII SPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSCIA - Poland</li> </ul>	<p>From 2012-10-01 to 2015-09-30</p>	<p>Metal, SME, energy efficiency; energy savings, EMS/SCADA, ISO 50001</p>

<p><b>PROVET 4.0</b></p>	<p>Professional Development of VET learners and industrial workers for the new industrial revolution 4.0 <a href="http://provvet40.eu">http://provvet40.eu</a></p>	<p>FEDERACIÓN VIZCAÍNA DE EMPRESAS DEL METAL  (Spain)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONFINDUSTRIA VENETO SIAV S.P.A. - Italy</li> <li>• SIGMA-CLERMONT - France</li> <li>• FONDO FORMACION EUSKADI - Spain</li> </ul>	<p>From 2015-11 to 2017-10-15</p>	<p>KeT; advanced manufacturing; capabilities; skills; training program; vocational training curriculum</p>
<p><b>C2NET</b></p>	<p>Cloud Collaborative Manufacturing Networks <a href="http://c2net-project.eu">http://c2net-project.eu</a></p>	<p>ATOS IT SOLUTIONS AND SERVICES SRO  (Slovakia)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA - Spain</li> <li>• ASSOCIATION POUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT DES METHODES ET PROCESSUS INDUSTRIELS - France</li> <li>• IKERLAN SCL - Spain</li> <li>• UNINOVA-INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS-ASSOCIACAO - Portugal</li> <li>• INSTITUTO TECNOLOGICO DE INFORMATICA - Spain</li> <li>• TTY-SAATIO - Finland</li> <li>• Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy - Finland</li> <li>• Linagora Grand Sud Ouest SA - France</li> <li>• CAIXA MAGICA SOFTWARE LDA - Portugal</li> <li>• FAURECIA AUTOMOTIVE EXTERIORS ESPAÑA, S.A - Spain</li> <li>• NOVATEC DISEÑO E INDUSTRIALIZACION SL - Spain</li> <li>• PIERRE FABRE DERMOS-COSMETIQUE SAS - France</li> <li>• FLUIDHOUSE OY - FH - Finland</li> <li>• LABORATOIRE VIRTUEL EUROPEEN DANS LE DOMAINE DE L'INTEROPERABILITE DESENTREPRISES - Belgium</li> <li>• ASSOCIACAO UNIVERSIDADE EMPRESA PARA DESENVOLVIMENTO TECMINHO - Portugal</li> <li>• FLEXEFELINA SA - Portugal</li> <li>• ANTONIO ABREU METALOMECANICA, LDA. - Portugal</li> <li>• ATOS SPAIN SA – Spain</li> </ul>	<p>From 2015-01-01 to 2017-12-31</p>	<p>data collection framework; network optimizer; cloud platform; collaboration tool; IoT; collaborative demand; UI; SME; manufacturing networks</p>
<p><b>BEINCPPS</b></p>	<p>Business Experiments in Cyber Physical Production Systems <a href="http://beincpps.eu/">http://beincpps.eu/</a></p>	<p>POLITECNICO DI MILANO (Italia)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASOCIACION DE EMPRESAS TECNOLOGICAS INNOVALIA - Spain</li> <li>• MAIER SCOOP - Spain</li> <li>• MAIER TECHNOLOGY CENTRE S COOP - Spain</li> <li>• TRIMEK SA - Spain</li> </ul>	<p>From 2015-11-01 to 2018-10-31</p>	<p>CPS, future internet, machine-factory-cloud, SME</p>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• INESC TEC - INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES, TECNOLOGIA E CIENCIA - Portugal</li> <li>• FORTUNATO O. FREDERICO &amp; CA., LDA. - Portugal</li> <li>• CENTRO TECNOLOGICO DE CALCADO DE PORTUGAL - Portugal</li> <li>• Whirlpool Europe srl - Italy</li> <li>• ENGINEERING - INGEGNERIA INFORMATICA SPA - Italy</li> <li>• ASSOCIAZIONE FABBRICA INTELLIGENTE LOMBARDIA - Italy</li> <li>• FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. - Germany</li> <li>• JOHN DEERE GMBH &amp; CO. KG*JD - Germany</li> <li>• DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FUR KUNSTLICHE INTELLIGENZ GMBH - Germany</li> <li>• COMMISSARIAT A L ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES - France</li> <li>• ETABLISSEMENTS GEORGES PERNOUD - France</li> <li>• PRIVREDNO DRUSTVO ZA PRUZANJE USLUGA ISTRAZIVANJE I RAZVOJ NISSATECH INNOVATION CENTRE DOO - Serbia</li> <li>• HOLONIX SRL-SPIN OFF DEL POLITECNICO DI MILANO - Italy</li> <li>• FINCONS GROUP AG - Switzerland</li> <li>• HOP UBIQUITOUS SL - Spain</li> <li>• INSTITUTO TECNOLOGICO DE INFORMATICA - Spain</li> <li>• TTTECH COMPUTERTECHNIK AG - Austria</li> <li>• FORTISS GMBH - Germany</li> </ul>		
ProSEco	<p>Collaborative Environment for Design of Aml enhanced Product-Services Integrating Highly Personalised Innovative Functions with Minimal Ecological Footprint along Life Cycle and of Their Production Process</p> <p><a href="https://www.proseco-project.eu/">https://www.proseco-project.eu/</a></p>	FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION (Spain)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT - Finland</li> <li>• INSTITUT FÜR ANGEWANDTE SYSTEMTECHNIK BREMEN GMBH - Germany</li> <li>• UNINOVA-INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS-ASSOCIACAO - Portugal</li> <li>• Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy - Finland</li> <li>• UNIVERSITATEA TEHNICA CLUJ-NAPOCA - Romania</li> <li>• THE UNIVERSITY OF SALFORD - United Kingdom</li> </ul>	From 2013-10-01 to 2017-09-30	Ambient Intelligence, Eco-Design, Product processes, Lean

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• LEAN ENTERPRISE INSTITUTE POLSKA SPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSC IA - Poland</li> <li>• X/OPEN COMPANY LIMITED - United Kingdom</li> <li>• VOLKSWAGEN AG - Germany</li> <li>• ELECTROLUX ITALIA S.P.A. - Italy</li> <li>• KLOECKNER DESMA Schuhmaschinen GmbH - Germany</li> <li>• ONA ELECTROEROSION, S.A. - Spain</li> <li>• SEMANTIC SYSTEMS SL - Spain</li> <li>• ALBERDI MEKANIZATUAK SL - Spain</li> </ul>		
<b>Co-FACTOR</b>	Cooperate, Communicate and Connect to boost smart Components for tomorrows Industry <a href="http://www.cofactor-eu-project.org/">http://www.cofactor-eu-project.org/</a>	Steinbeis-Europa-Zentrum (Germany)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harms &amp; Wende GmbH - Germany</li> <li>• Loughborough University - United Kingdom</li> <li>• Fundacion TEKNIKER - Spain</li> <li>• Instituto de Sistemas e Robotica Associacao - Portugal</li> <li>• Fraunhofer IPA - Germany</li> </ul>	From 2015-01-01 to 2016-12-31	Smart components, machines with built-in intelligence, computer assisted, advanced manufacturing
<b>Fortissimo 2</b>	Factories of the Future Resources, Technology, Infrastructure and Services for Simulation and Modelling 2 <a href="http://www.fortissimo-project.eu/">http://www.fortissimo-project.eu/</a>	THE UNIVERSITY OF EDINBURGH (United Kingdom)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SCAPOS AG - Germany</li> <li>• UNIVERSITAET STUTTGART - Germany</li> <li>• SICOS BW GMBH - Germany</li> <li>• INTEL DEUTSCHLAND GMBH - Germany</li> <li>• ARCTUR RACUNALNISKI INZENIRING DOO - Slovenia</li> <li>• XLAB RAZVOJ PROGRAMSKE OPREME IN SVETOVANJE DOO - Slovenia</li> <li>• FUNDACION PUBLICA GALLEGA CENTRO TECNOLOGICO DE SUPERCOMPUTACION DE GALICIA - Spain</li> <li>• GRIDCORE AB - Sweden</li> <li>• BULL SAS - France</li> <li>• ATOS SPAIN SA - Spain</li> <li>• SURFSARA BV - Netherlands</li> <li>• CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO CINECA - Italy</li> <li>• ICON TECHNOLOGY &amp; PROCESS CONSULTING LIMITED - United Kingdom</li> <li>• KOENIGSEGG AUTOMOTIVE AB - Sweden</li> <li>• GEXCON AS - Norway</li> <li>• MICROPACK (ENGINEERING) LTD - United Kingdom</li> <li>• STAM SRL - Italy</li> </ul>	From 2015-11-01 to 2018-10-31	advanced modelling, simulation, data analytics, High Performance Computing <i>Cloud</i> infrastructure

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• MAGNETI LJUBLJANA PODJETJE ZA PROIZVODNJO MAGNETNIH MATERIALOV DD - Slovenia</li> <li>• ASOCIACION DE INVESTIGACION METALURGICA DEL NOROESTE - Spain</li> <li>• EMO-ORODJARNA DOO - Slovenia</li> <li>• TRIMEK SA - Spain</li> <li>• ENGINE POWER COMPONENTS GROUP EUROPE SL - Spain</li> <li>• ETXE-TAR, S.A. - Spain</li> <li>• FUNDACION CENTRO DE TECNOLOGIAS DE INTERACCION VISUAL Y COMUNICACIONES VICOMTECH - Spain</li> <li>• PRINCIPIA SAS- France</li> <li>• ALSTOM FERROVIARIA SPA - Italy</li> <li>• HYPERTEC SOLUTION SRL - Italy</li> <li>• TEXA SPA- Italy</li> <li>• T2I - TRASFERIMENTO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE S.C.A R.L. - Italy</li> <li>• PROSERVICE SRL - Italy</li> <li>• FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. - Germany</li> <li>• NOESIS SOLUTIONS NV - Belgium</li> <li>• UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA - Spain</li> <li>• MADERAS BESTEIRO SL - Spain</li> <li>• NAWIJN MARCO - Netherlands</li> <li>• KE-WORKS BV - Netherlands</li> <li>• CFD SCHUCK INGENIEURGESELLSCHAFT MBH - Germany</li> </ul>		
<b>FLEXINET</b>	<p>Intelligent Sytems Configuration Services for Flexible Dynamic Global Production Networks</p> <p><a href="http://www.flexinet-fof.eu/Pages/FlexHome.aspx">http://www.flexinet-fof.eu/Pages/FlexHome.aspx</a></p>	<p>LOUGHBOROUGH UNIVERSITY</p> <p>(United Kingdom)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V (DEUTSCHLAND)</li> <li>• TECHNISCHE UNIVERSITAET DORTMUND (DEUTSCHLAND)</li> <li>• COVENTRY UNIVERSITY (UNITED KINGDOM)</li> <li>• UNIVERSITAET ST. GALLEN (SCHWEIZ/SUISSE/SVIZZERA)</li> <li>• TXT E-SOLUTIONS SPA (ITALIA)</li> <li>• HIGHFLEET INC FOR PROFIT CORPORATIONUNITED STATES</li> <li>• KSB AG (DEUTSCHLAND)</li> <li>• INDESIT COMPANY S.P.A. (ITALIA)</li> </ul>	<p>From 2013-07-01 to 2016-06-30</p>	<p>Flexible interoperable networks of production systems; flexible re-configuration of global production networks</p>



			<ul style="list-style-type: none"> <li>• CUSTOMDRINKS SL (ESPAÑA)</li> <li>• CONTROL 2K LIMITED (UNITED KINGDOM)</li> <li>• INSTITUTO TECNOLOGICO DE INFORMATICA (ESPAÑA)</li> <li>• ASOCIACION DE INVESTIGACION DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA (ESPAÑA)</li> </ul>		
<b>OPTIMISED</b>	Operational Planning Tool Interfacing Manufacturing Integrated Simulations with Empirical Data  <a href="https://optimised-h2020.eu/">https://optimised-h2020.eu/</a>	LAING O ROURKE PLC  (United Kingdom)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DASSAULT SYSTEMES BV - Netherlands</li> <li>• KEONYS SAS - France</li> <li>• Advanced data processing GmbH - Germany</li> <li>• THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM - United Kingdom</li> <li>• ALSTOM TRANSPORT S.A. - France</li> <li>• SIMPLAN AG - Germany</li> <li>• IDEKO S COOP - Spain</li> <li>• GOIMEK S COOP - Spain</li> <li>• SMARTER GRID SOLUTIONS LTD - United Kingdom</li> </ul>	From 2015-11-01 to 2018-10-31	manufacturing scheduling optimization, real-time smart sensors, big data analytics, energy management, factory planning
<b>MC-SUITE</b>	ICT Powered Machining Software Suite  <a href="http://www.mc-suite.eu/">http://www.mc-suite.eu/</a>	IDEKO S COOP  (Spain)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CEDRAT TECHNOLOGIES SA - France</li> <li>• TAGUERI AKTIENGESELLSCHAFT - Germany</li> <li>• PROMOCIONES Y CONSTRUCCIONES MECANICAS MUGARRA - Spain</li> <li>• GAMAX Számítástechnikai Kft - Hungary</li> <li>• ACTIVEEON - France</li> <li>• DIAD GROUP SRL - Italy</li> <li>• SORALUCE S. COOP. - Spain</li> <li>• FIDIA SPA - Italy</li> <li>• MONDRAGON GOI ESKOLA POLITEKNIKOA JOSE MARIA ARIZMENDIARRIETA S COOP - Spain</li> <li>• STIFTELSEN SINTEF - Norway</li> <li>• THE UNIVERSITY OF NOTTINGHAM - United Kingdom</li> </ul>	From 2015-10-01 to 2018-09-30	machining process, virtual model, optimization methods, Cyber Physical System, predictive maintenance, Big Data
<b>EFFECTIVE</b>	Exploiting Factory of the Future projects through Enhanced Clustering towards Technology Transfer, Innovation and Value creation for European industry  <a href="http://www.effectiveof.eu">http://www.effectiveof.eu</a>	SYNESIS-SOCIETA CONSORTILE A RESPONSABILIT A LIMITATA  (Italy)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• STEINBEIS INNOVATION GGMBH - Germany</li> <li>• INSTITUTO VALENCIANO DE LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL- Spain</li> <li>• BRAINPORT DEVELOPMENT NV - Netherlands</li> </ul>	From 2015-01-01 to 2016-12-31	Clustering, Technology transfer, best practices, business trends and market prospects

<p><b>MEMAN</b></p>	<p>Integral Material and Energy flow MANagement in MANufacturing metal mechanic sector</p> <p><a href="http://meman.eu/">http://meman.eu/</a></p>	<p>MONDRAGON CORPORACION COOPERATIVA SCOOP</p> <p>(Spain)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES MECANIQUES - France</li> <li>• EIFFO EG - Germany</li> <li>• TECHNOFI SA - France</li> <li>• TECHNISCHE UNIVERSITAT BRAUNSCHWEIG - Germany</li> <li>• Loramendi S.Coop - Spain</li> <li>• FAGOR EDERLAN S.COOP. - Spain</li> <li>• INGENIERIA Y SERVICIOS TECNICOS SA - Spain</li> <li>• MECANIC VALLEE - France</li> <li>• STAHL JUDENBURG GMBH - Austria</li> <li>• THOMA METALLVEREDELUNG GMBH - Germany</li> <li>• VAN DER MEER &amp; VAN TILBURG WEST BV - Netherlands</li> <li>• ACCIONA INFRAESTRUCTURAS S.A. - Spain</li> <li>• Greenovate! Europe - Belgium</li> <li>• KONIKER S COOP - Spain</li> <li>• INDUSTRIAL FURNACES INSERTEC S.L. - Spain</li> </ul>	<p>From 2015-01-01 to 2018-06-30</p>	<p>Energy management, resource efficiency, metal mechanical value chain</p>
---------------------	---	---	---	--	---

Tabla 5. Proyectos de I+D+i internacionales relacionados con Fabricación Avanzada. Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Modelos de negocio

A finales de 2014 Jeff Immelt, conocido CEO de General Electric, comenzaba su ponencia en el Minds + Machines Summit con una frase que a la postre se convertiría en paradigma de la evolución de la industria en los siguientes años. Decía algo así: “si anoche te metiste en la cama siendo una compañía industrial, esta mañana despertarás a una compañía de software y análisis”. Dejaba claro que el modelo de negocio que hasta ahora había mantenido a la industria estaba pasando por un punto de inflexión en el que habría que tomar decisiones estratégicas de gran calado. Aquellas empresas que se estancasen en el modelo tradicional de venta de producto final cerrado y terminado, se verán sobrepasadas por aquellas empresas en las que el producto final se convierte en un medio. Un medio para mejorar la experiencia del cliente, ofreciéndole nuevo valor añadido. Un medio para mejorar el diseño y el rendimiento del propio producto, recogiendo información del uso y desgaste del mismo. Un medio para recoger información que, correctamente explotada, pueda generar nuevos modelos de negocio para una compañía.

En general, todos los avances relacionados con la Industria 4.0 y la mayor parte de sus habilitadores tienen como objetivo aumentar la eficiencia del proceso productivo. Es el caso de la impresión 3D, la robótica, la realidad aumentada... son soluciones que en definitiva hacen más fácil el día a día en las plantas de producción, aportando ventajas competitivas que se traducen en ahorro de tiempos y costes.

Sin embargo, los avances especialmente relacionados con la gestión y explotación de datos mediante un análisis avanzado de los mismos, son clave tanto para introducir eficiencias en el proceso productivo, como para abrir la puerta a nuevos modelos de negocio hasta ahora impensables en la industria.

En el primer caso, hablamos de explotación de los datos con el objetivo de mejorar internamente alguno de los elementos de nuestro proceso productivo. El mantenimiento predictivo en una línea de producción en cadena sería un caso claro de aplicación. Recogemos información de distintos sensores para monitorizar el estado de cierto equipamiento, generalmente aquel con una carga alta de producción (por encima del 70%). Aprendemos los patrones que llevan a fallos conocidos y hacemos que salten las alarmas con suficiente antelación como para poder aplicar una acción de mantenimiento planificado, en lugar de aplicar una solución reactiva. Podemos maximizar la vida útil de los componentes de nuestro equipamiento, ajustar al máximo el stock de repuestos, y reducir de forma significativa el porcentaje de paradas no planificadas en nuestra línea de producción. La repercusión en eficiencia y rendimiento es evidente, pero no estamos hablando de generación de un nuevo modelo de negocio, sino de mejora del proceso actual.

Pero es el segundo caso el que puede resultar menos obvio y en el que se sitúa el foco de esta sección. Se trata de que, gracias a los datos de que dispone la empresa, seamos capaces de ofrecer nuevos productos o servicios. Elementos que no estaban presentes en nuestro portfolio de capacidades, y que requerirán de inversión en recursos especializados. En este sentido, se distinguen dos aproximaciones:

- Oferta de productos con nuevo valor añadido: muy relacionado con el concepto de servitización de productos, trata de introducir nuevos modelos de explotación o comercialización de un producto determinado. Quizás el caso más paradigmático es el de las turbinas fabricadas por General Electric y distribuidas con distinto formato. De un lado, el producto se puede servir en su versión más básica: una “simple” turbina

por la que el cliente paga su precio de mercado, la explota durante cierto tiempo y donde el principal contacto con la empresa suministradora será el servicio técnico de mantenimiento. A continuación, el producto se puede servir en una versión más avanzada, con una serie de sensores ya integrados, y listos para que el cliente pueda conectarse a ellos y realizar cualquier labor de análisis que desee. El siguiente paso incluye la distribución no sólo de un producto sensorizado, sino de un software adicional capaz de analizar la información proveniente de los sensores, detectar funcionamientos anómalos y alarmar cuando sea necesario. Por último, introducimos el concepto de computación en la nube, donde se distribuye el producto sensorizado y preparado para conectar y subir datos a la nube. Esos datos se analizan en la nube, y el usuario tiene acceso a una aplicación *online*, desde donde puede monitorizar el funcionamiento de su maquinaria, y no sólo la de la planta en la que localmente se encuentra, sino de plantas remotas cuya maquinaria se encuentra conectada también a una nube privada a la que sólo usuarios autorizados tienen acceso.

- Monetización de los datos: el objetivo más común para la industria de cara a la extracción de valor a partir de los datos es el de la mejora interna. Sin embargo, el concepto de *data economy* no es ajeno al sector industrial, y abre una nueva vía de negocio como proveedor de datos de primer nivel para su explotación por parte de terceros. En esta dirección, caben además dos enfoques, el de la venta directa de los datos en crudo o el de la venta de datos previamente analizados, en formato de informe mensual, trimestral, o anual, por ejemplo. En el primer enfoque, podemos pensar en un fabricante de electrodomésticos que recopila información de uso de sus productos (por ejemplo, el intervalo horario de uso de lavadoras), que compañías productoras de electricidad pueden usar para predecir la demanda de electricidad por zona y ajustar su producción a dicha demanda. En el segundo enfoque, podemos pensar en un fabricante de automóviles que recopila información de rutas, velocidades, o paradas más habituales de los vehículos que comercializa. Dicha información, convenientemente analizada puede ofrecer un alto valor añadido para empresas dedicadas al mantenimiento de carreteras, para predicción de tráfico, para o incluso para recomendación de rutas.

En el caso de la oferta de productos de valor añadido, una empresa eminentemente industrial entra de lleno en el mundo digital. No sólo se trata de desarrollar software capaz de ofrecer ese valor añadido sobre su producto, sino de diseñar y gestionar la infraestructura software y hardware necesaria para mantener este nuevo servicio en el tiempo. Esto requiere la contratación de nuevos perfiles especializados o la capacitación de perfiles ya existentes. Estratégicamente, las nuevas capacidades de su producto permitirán no sólo entrar a mercado con una clara ventaja competitiva, sino generar una fuente de ingresos adicional para la empresa, a través de un servicio hasta ahora inexistente. El caso de la monetización directa de los datos es quizás más disruptivo dentro de una industria que percibe ese modelo de negocio como algo totalmente ajeno a su línea de trabajo. Pero conviene no olvidar que, en la nueva economía basada en los datos, esos mismos datos son la base sobre la que se construyen los servicios, y por tanto su valor es inherente.

En definitiva, la clave de estos nuevos modelos de negocio está en la inclusión del cliente como parte de la cadena de valor, ya sea cliente final (por ejemplo, un usuario que compra un electrodoméstico), u otro agente dentro de la cadena industrial (por ejemplo, una fábrica de helos que usa maquinaria fabricada a su vez por otro *partner* industrial). La cadena de valor entra en un bucle cíclico, donde la información de uso de los productos por parte de sus usuarios retroalimenta la cadena de producción. El producto deja de ser una caja negra y se convierte en un generador de información de primer orden, gracias a la interacción con el usuario final. En este escenario, ambos actores (el usuario final y el productor) deben salir beneficiados. El usuario final mejorará su experiencia de uso, y podrá suscribirse a servicios de valor añadido si así lo desea. Por su parte, el productor contará con información fidedigna que permitirá mejorar el diseño de productos actuales, y podrá crear un nuevo ecosistema de soluciones tecnológicas asociadas a sus productos que permiten, quizás no abrir nuevos mercados, pero sí generar nuevas fuentes de ingresos y aumentar la penetración dentro de su mercado potencial.

Existen en la actualidad multitud de herramientas enfocadas a dar soporte a la industria 4.0. A continuación se detalla un listado de casos de uso reales en diferentes ámbitos.

La diferencia clara en los siguientes casos de uso con respecto a los que suelen aparecer en los medios, es que han sido las propias empresas de manufactura las que han desarrollado las herramientas para cubrir sus propias necesidades y las han puesto en práctica en alguna o en todas las etapas de su proceso de producción.

A continuación se describen varios casos de uso referentes a General Electric (GE), Bosch y último caso es el de Thyssen, que presenta una plataforma 4.0 para ascensores que prevén implantar en breve.

#### **2.4.1. General Electric: Predix “The internet industrial platform”**

General Electric (GE) ha sido una de las primeras compañías en desarrollar la industria 4.0 en sus propias plantas. Ha creado una plataforma cloud (PaaS) para industria (Predix, s.f.) que han bautizado como Predix, orientada a dar soporte en la Industria 4.0. En la figura 1 se pueden distinguir los cuatro componentes sobre los que se sustenta el software de Predix:

1. La conexión a las fuentes de datos: directamente ligadas al proceso de producción en shop-floor, o a información estratégica y de operaciones, ligada a elementos como ERPs o CRMs disponibles en top-floor.
2. La ingestión de datos, que puede realizarse tanto en tiempo real, como por lotes.
3. El almacenamiento y pre-procesamiento de estos datos, usando distintas tecnologías de almacén como puede ser bases de datos NoSQL, relacionales o basadas en series temporales.
4. El análisis y explotación de la información a través de una API general de acceso, sobre la cual se construyen las aplicaciones que consume el usuario final.

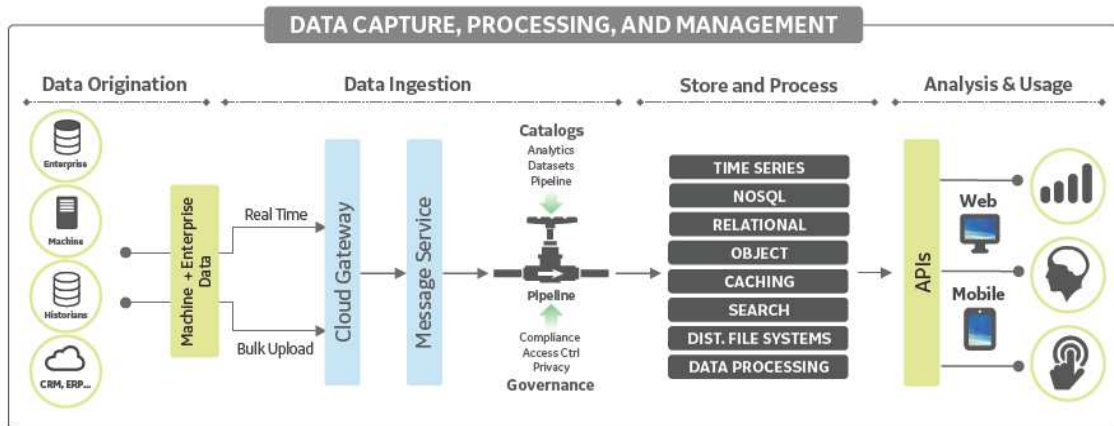


Figura 28. Ámbito de Predix en la Industria. Fuente: Predix

Según publicitan en su web, el ámbito de aplicación de Predix incluye toda la industria, desde compañías dedicadas a la producción de dispositivos médicos a aquellas dedicadas puramente a manufactura. A continuación, se detallan varios casos de aplicación reales de Predix. En (Predix, s.f.) puede encontrar una completa descripción de la plataforma.

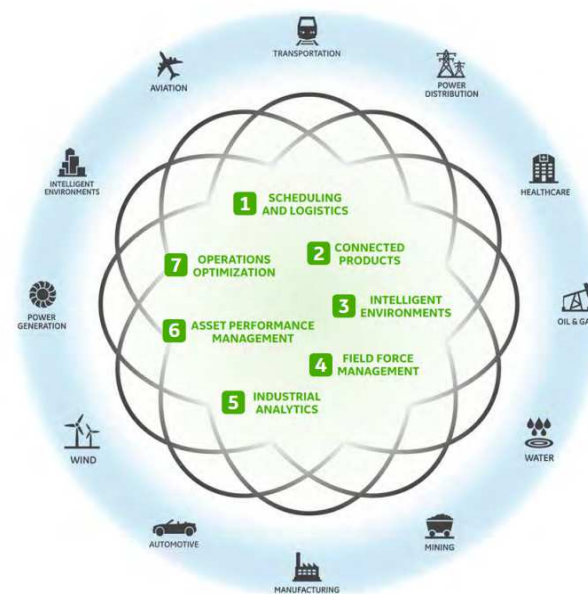


Figura 29. Ámbito de Predix en la Industria. Fuente: Predix

---

### ***Generación de alertas en una central eléctrica***

Este caso (Morgan, 2015) describe la situación que se vivió en una de las plantas del Medio Este de EEUU de GE “Power & Water” a la que “GE Measurement & Control’s services” proporcionaba un servicio de mantenimiento. Esta planta incluye actualmente tres generadores de ciclo combinado y Predix estaba instalado en sus sistemas.

En esta planta se instaló una red de monitorización para controlar el rendimiento y la disponibilidad de la red. La plataforma de monitorización activaba notificaciones por email cuando cualquier dispositivo (sensores) de la red detectaba altas temperaturas, tiempos inactivos, etc. Cuando ocurría este tipo de incidencias, se enviaban notificaciones directamente al portal web de la empresa y se genera automáticamente un informe de alerta como parte del proceso de gestión de este tipo de eventos.

El caso de uso se centra en una alarma que se activó en la sala de control de la planta debido a las altas temperaturas. Éstas pueden perjudicar o destruir el equipamiento que monitoriza la planta, y gracias al sistema instalado la alarma hizo saltar el aviso al encargado, que en esta situación pudo comprobar y verificar en la sala de control la temperatura del entorno. Realizó un informe y avisó al cliente quien pudo tomar las medidas adecuadas para solucionar el problema. Es este caso el cliente instaló una unidad *split* de aire acondicionado como solución temporal, reduciendo con éxito la temperatura dentro de la sala de control.

Como resultado de la monitorización continua de estos indicadores, fue posible actuar rápidamente evitando fallos en la planta evitando así que la disponibilidad de la planta se pusiera en peligro.

Puede encontrar más casos de estudio de esta tipología en (Orbyt Magazine Archive, s.f.).

### ***Predix en Bristh Pretroleum (BP)***

GE Oil & Gas (subgrupo de GE), está desarrollando con BP un programa piloto cuyo objetivo es la optimización de activos y operaciones en la industria del gas y petróleo (Kellner, 2015).

El principal objetivo es la creación de una solución digital para reducir el tiempo de las paradas no planificadas en las operaciones realizadas en las plataformas petroleras costa fuera, en concreto el programa piloto se realizará en el Golfo de México.

Esta solución busca incrementar la fiabilidad de la plataforma mediante la integración de dispositivos a nivel de producción que permitan la recopilación de datos. Estos datos se analizarán por la herramienta de análisis predictivo (Predix). Los resultados ayudarán a prever futuras incidencias en planta.

Esta herramienta es el software GE's Asset Performan Managerment (APM), integrado en la plataforma PREDIX. Esta herramienta analiza la información aportada por los sensores de planta y proporciona a los ingenieros el conocimiento necesario para planificar las tareas de mantenimiento y evitar las paradas “no planificadas”.

### **Predix en TCS**

Tata Consultancy Services (TCS) es una compañía que ha desarrollado una solución digital (2016) que conecta LEDs “inteligentes” al sistema Predix de General Electric. El sistema a implantar ofrecerá a los operadores de planta análisis predictivos basados en los datos provenientes de los sensores instalados en la planta.

El sistema de sensorización está instalado en el proceso de producción de turbinas. Durante este proceso, el acoplamiento del rotor es un proceso clave y necesita un alto grado de precisión en su ensamblaje. Si la rueda del rotor no se acopla correctamente debido a diferencias en la temperatura en su superficie, la turbina requerirá de un re-ensamblado, incurriendo en sobrecostes y retrasos.



**Figura 30. Implantación Predix en TCS Fuente: TATA, 2016**

Esta solución proporciona datos de forma automática de la temperatura de la superficie del rotor y de su entorno, midiendo variaciones de éstas temperaturas y notificando/alertando a los operarios en caso de disconformidad en estas variaciones.

Así, la solución planteada analizará la temperatura en diferentes puntos de las diferentes partes de la turbina durante el proceso de ensamblado y enfriamiento, permitiendo a los operadores la monitorización de todo el proceso.



La aplicación piloto está ya implantada (y desplegada) por “GE Power’s gas turbine” en su planta de producción en Greenville (EUA).

#### 2.4.2. BOSCH

Actualmente, uno de los casos más representativos de la llegada de la industria 4.0 en los procesos de manufacturación es el caso de Bosch. Al igual que el caso de GE, Bosch ofrece un conjunto de herramientas enfocadas al mantenimiento predictivo en varios ámbitos de aplicación (Predix, s.f.). Estas herramientas abarcan cuatro usos específicos:

- A nivel de planta de producción
- Calidad de proceso
- Variedad de producto
- Y herramientas para una automatización más flexible de los procesos de producción.

La figura 1 muestra la presentación online de Bosch desde cual acceder a toda la información referente a estas aplicaciones.

Predictive maintenance



**Figura 31. Herramientas de Bosch para dar soporte a la industria 4.0. Fuente: BOSCH**

A continuación, presentamos brevemente tres casos de uso reales de aplicación.

#### ***Implantación de un Configuración de reglas en el proceso de producción***

La herramienta “Production Rules Configurator” está orientada a la configuración de reglas que, ante determinados eventos en el sistema de producción, disparan alertas notificando a los operadores de planta la incidencia que ha ocurrido. Esta herramienta está implantada en la planta que Bosch tiene en Homburg.

Esta planta está dedicada a la producción de componentes de inyección para coches y camiones. La herramienta se aplica en este caso al ensamblado de los inyectores, en concreto

a las válvulas reguladoras. Gracias a la herramienta tienen más control sobre el proceso de ensamblado.

La forma de trabajo es la siguiente; la etapa de producción sobre cada válvula genera un conjunto de datos que se envían a la herramienta. Esta herramienta analiza los datos en base al conjunto de reglas configurado. El resultado de este procesamiento puede generar avisos o no (dependiendo de las reglas) que le llegan al operador. El empleado entonces consulta estos datos y si los avisos lo requieren puede tomar las acciones oportunas.

Estas reglas pueden ser reconfiguradas, dando al operador margen de maniobra a la hora de hacer más restrictivas las condiciones del proceso de manufacturación.

### ***Soldadura por puntos de resistencia***

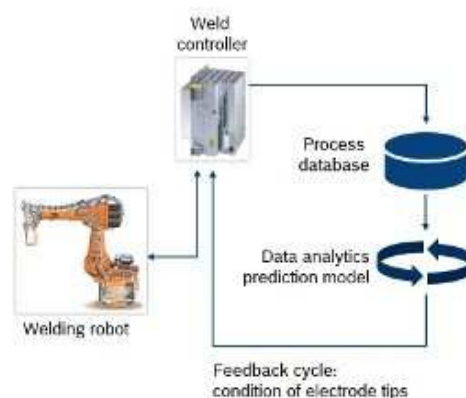
Este caso de uso presenta una solución industria 4.0 para el proceso de soldadura por puntos de resistencia (Bosch, s.f.).

En este proceso se utilizan pistolas de soldadura de electrodos con los cabezales de aleación de cobre. La cantidad de desgaste de estos cabezales es uno de los factores decisivos en la calidad del punto de soldadura.

Por lo general, los cabezales se mantienen y cambian a intervalos fijos. Esto implica el fresado del cabezal después de un determinado número de puntos de soldadura, y entonces se reemplaza, una vez que ha pasado por cierto número de ciclos de fresado. Para evitar problemas, este reemplazo se debe de hacer en el momento correcto, ni antes para evitar sobre costes, ni después para evitar paradas no planificadas.

La solución planteada para este caso está basada en la aplicación de algoritmos *machine learning*, el análisis de datos ayuda a identificar el tiempo óptimo para el mantenimiento y reemplazo de estos cabezales.

Los beneficios este estos casos son obvios: ahorro de tiempo en paradas no planificadas y un incremento de los tiempos óptimos en el mantenimiento. La figura 5 presenta el esquema-solución para este caso.



**Figura 32. Solución Industria 4.0 para la resistencia de puntos por soldadura. Fuente: BOSCH**

### ***Smart Container 4.0***

Este caso de uso explica cómo una mejora en la gestión del transporte y almacenamiento de productos alimenticios haría reducir significativamente el porcentaje de comida que perece en el transcurso de su viaje hasta que llega al consumidor.

La idea de este caso de uso se basa en la implementación de un *Smart Container* (Pursche, 2016), es decir, implementar en los contenedores que se utilizan en el transporte de mercancías herramientas que faciliten la recolección de datos para su posterior análisis.

Para ello se hizo un proyecto piloto en el que se cargaron tres contenedores inteligentes con Bananas, las tareas se centraron en la monitorización de la madurez de este producto durante todo trayecto hasta el consumidor final.

Las bananas fueron empaquetadas en pallets en Costa Rica y tardaron dos semanas en ser transportadas a Antwerp por mar. Durante este tiempo, los ingenieros ajustaban la configuración de consigna y los indicadores de ventilación del aire fresco del contenedor.

Para establecer acceso remoto al contenedor, hubo que optimizar la comunicación del contenedor a tierra. Hasta ese momento solo había sido posible vía 3G o por satélites cuando estaba en el mar. No había ancho de banda para una conexión a internet (cloud), así que se desarrolló una unidad de supervisión de carga y se puso en el contenedor. Esta unidad está diseñada para crear una interfaz entre la red de sensores interna y la comunicación con el exterior. Al mismo tiempo, esta unidad proporciona una plataforma para evaluar cualquier fallo de la carga y las condiciones en las cuales los pallets eran transportados.

La figura siguiente muestra la arquitectura de la solución implementada.

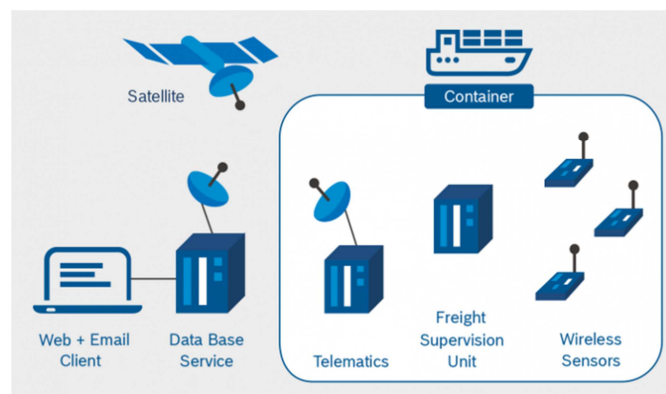


Figura 33. Interfaz entre la red de sensores del contenedor y la comunicación exterior. Fuente: Pursche, 2016

Para la implementación se utilizó la plataforma JAVA (se utilizó la plataforma ProSyst's OSGi framework y Jamaica Virtual Machine de AICAS).

Durante el viaje se testeó la funcionalidad del sistema de comunicaciones. Se hicieron las mediciones de temperatura dentro de los pallets. En los contenedores había entre 10 y 20 puntos de medida para registrar las desviaciones de temperatura.



Figura 34. Sensores de temperatura. Fuente: Pursche, 2016

Durante el viaje las mediciones proporcionadas por los sensores eran transferidas vía satélite diariamente. La primera estimación del “calor de respiración” y la “eficiencia de refrigeración” era calculada tras tres días. Tan pronto como la temperatura cambiaba, se realizaba una intervención remota generando una alerta. Si había que realizar alguna corrección los nuevos valores eran enviados inmediatamente. La alerta se enviaba directamente al cliente. Tan pronto como la red de comunicaciones estaba disponible cerca del puerto, todos los datos estaban accesibles vía Web.

Con esta implantación el cliente puede reaccionar rápidamente si hay pérdida de calidad en el producto, puede ordenar nuevos pedidos en caso de que el producto perezca y saber en cuánta cantidad.

### 2.4.3. THYSSENKRYP

Thyssen group presenta en (Thyssenkrupp (s.f); Tetley, 2014; Thyssenkrupp, 2016) el primer sistema predictivo en tiempo real en la industria de los ascensores. Se denomina MAX y tiene como principales características *“aumentar la disponibilidad de los ascensores y reducir el tiempo de averías a través de diagnósticos a tiempo real. MAX predice actuaciones de mantenimiento antes de que ocurran. Esto fortalece la ingeniería de los ascensores reduciendo la necesidad de recambio de algunos componentes o sistemas antes del final de su ciclo de vida.”*

Las razones que han llevado al desarrollo de MAX son las grandes diferencias entre los procedimientos de mantenimiento tradicionales de los ascensores y las necesidades cotidianas del entorno urbano moderno.

La monitorización a distancia de los ascensores surgió a finales de la década de 1980, pero a pesar de que el sistema de monitorización a distancia avisaba a la compañía de ascensores cuando el aparato se averiaba, en sí mismo no reducía el número de averías.

Esto es lo que trata de solventar MAX, una plataforma en la nube con soporte de Microsoft Azure. La figura presenta la filosofía de MAX.



**Figura 35. Vision General de MAX. Fuente: Thyssenkrupp**

MAX basa su trabajo en informes de monitorización a distancia sobre el uso y el estado del ascensor. Estos datos se envían a la plataforma MAX y se analizan por medio de algoritmos *machine learning*. La idea es analizar y estimar la duración de los componentes del ascensor de forma que los operarios puedan predecir cuándo tienen que ordenar el mantenimiento, reduciendo de esa manera los fallos en los ascensores.

### 3. Referencias bibliográficas

- 5G PPP (2015). White paper: 5G and the Factories of the Future. Disponible en: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>
- Acatech (2011). Cyber-Physical Systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. acatech Position Paper. Disponible en: <http://www.springer.com/us/book/9783642290893#aboutBook>
- Acatech (2012). Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. acatech studie. Disponible en: <http://www.acatech.de/?id=1405>
- Ackermann et al., (2014). Industry 4.0: Concept of the resilient Factory. Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, May 2014. Fraunhofer Institute for Production Technology IPT. Disponible en: [http://www.awk-aachen.de/C1257B97002C1799.nsf/html/en\\_baa6222ba575fe4cc1257c730043e2bb.html](http://www.awk-aachen.de/C1257B97002C1799.nsf/html/en_baa6222ba575fe4cc1257c730043e2bb.html)
- Agrawal, D., Das, S., El Abbadi, A (2011). Big data and cloud computing: current state and future opportunities. En: Proceedings of the 14th International Conference on Extending Database Technology (EDBT/ICDT '11). Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1951432>
- AIOTI (2015). Recommendations for future collaborative work in the context of the Internet of Things Focus Area in Horizon 2020. AIOTI WG01. Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/aioti-recommendations-future-collaborative-work-context-internet-things-focus-area-horizon-2020>
- Arkhill, D (1966). The Challenge of the Computer Utility. Addison-Wesley Educational Publishers Inc., US.
- Armbrust, et al (2010). A view of cloud computing. En: Communications of ACM 53, 4, 50-58. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1721672>
- Auschitzky, E., et al (2014). How Big Data Can Improve Manufacturing. McKinsey & Company. Disponible en: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/how-big-data-can-improve-manufacturing>
- B&R Automation (2015). Industry 4.0 @ B&R. Disponible en: <https://www.br-automation.com/en/company/customer-magazine/2015/201511/industry-40-br>
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., and Vogel-Heuser, B. (2014) Industry 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendung, Technologien, Migration. Springer: Berlin. En: VDI, ASME (2015). A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279201790\\_A\\_Discussion\\_of\\_Qualifications\\_and\\_Skills\\_in\\_the\\_Factory\\_of\\_the\\_Future\\_A\\_German\\_and\\_American\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/279201790_A_Discussion_of_Qualifications_and_Skills_in_the_Factory_of_the_Future_A_German_and_American_Perspective)
- Blanchet, M. Charla en el World Manufacturing Forum de Barcelona, 2016.
- Bosch (s.f.). Predictive Maintenance. Disponible en: <https://www.bosch-si.com/solutions/manufacturing/predictive-maintenance/increase-machine-uptime.html>
- Bosch Software (2015). Industrie 4.0 Market Study: Demand for Connected Software Solutions. Disponible en: <https://www.bosch-si.com/lp/marketsurvey-industry40.html?tab=2>
- Boston Consulting Group (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Disponible en: [https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_40\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries)
- Boston Consulting Group (2015). Man and Machine in Industry 4.0. Disponible en: <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/technology-business-transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4>

- 
- Boston Consulting Group (2016). Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0. Disponible en: <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/lean-manufacturing-operations-time-accelerate-race-toward-industry-4>
  - Brady, N., Walsh, J (2014). Using a Big Data Analytics Approach to Unlock the Value of Refrigeration Case Parametric Data'. ASHRAE Transactions 121, (2). Disponible en: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/108334693/using-big-data-analytics-approach-unlock-value-refrigeration-case-parametric-data>
  - Breunig, M., et al (2016). Industry 4.0 after the Initial Hype: Where Manufacturers Are Finding Value and How They Can Best Capture It. McKinsey&Company. Disponible en: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-looking-beyond-the-initial-hype>
  - Buxmann, P., Hess, T., Ruggaber, R (2009). Internet of Services. En: Business & Information Systems Engineering, October 2009, 1:341. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12599-009-0066-z>
  - C2NET Project (2015). Cloud Collaborative Manufacturing Networks. H2020-FoF-2014. Disponible en: <http://c2net-project.eu>
  - Capgemini Consulting (2012). Are Manufacturing Companies Ready to Go Digital?: Understanding the Impact of Digital. Disponible en: [https://www.de.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/Are\\_Manufacturing\\_Companies\\_Ready\\_to\\_Go\\_Digital\\_.pdf](https://www.de.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/Are_Manufacturing_Companies_Ready_to_Go_Digital_.pdf)
  - Capgemini Consulting (2014). Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View: Sharpening the Picture beyond the Hype. Disponible en: [https://www.de.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/capgemini-consulting-industrie-4.0\\_0.pdf](https://www.de.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/capgemini-consulting-industrie-4.0_0.pdf)
  - Chen, M., Mao, S., Liu, Y (2014). Big Data: A Survey. En: Mobile Networks and Applications 19, (2), pág. 171–209. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11036-013-0489-0>
  - Cohen, J., et al (2009). MAD Skills: New Analysis Practices for Big Data. En: Proceedings of the VLDB Endowment 2, (2), pág. 1481–1492. Disponible en: <http://db.cs.berkeley.edu/papers/vldb09-madskills.pdf>
  - Comisión Europea (2015). European Semester Thematic Fiche. Digital Single Market: Digital Skills and Jobs. Disponible en: [http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/themes/2015/digital\\_single\\_market\\_skills\\_jobs\\_20151126.pdf](http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/themes/2015/digital_single_market_skills_jobs_20151126.pdf)
  - Comisión Europea (2016). Communication: Digitising European Industry - Reaping the full benefits of a Digital Single Market. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016DC0180>
  - CSCC (2014). Deploying Big Data Analytics Applications to the Cloud: Roadmap for Success. Disponible en: <http://www.cloud-council.org/deliverables/CSCC-Deploying-Big-Data-Analytics-Applications-to-the-Cloud-Roadmap-for-Success.pdf>
  - Daneels, A., Salter, W (1999). What Is SCADA? Disponible en: <http://cds.cern.ch/record/532624/files/mc1i01.pdf>
  - Deloitte University Press (2016). Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises. Disponible en: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/energy-resources/ZA\\_Deloitte-Industry4.0-manufacturing-ecosystems-Jun16.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/energy-resources/ZA_Deloitte-Industry4.0-manufacturing-ecosystems-Jun16.pdf)
  - Diebold, F (2012). On the Origin (s) and Development of the Term 'Big Data'. University of Pennsylvania. Paper number 12-037. Disponible en: <https://economics.sas.upenn.edu/pier/working-paper/2012/origins-and-development-term-%E2%80%99Cbig-data>
  - ESIC (2015). Competencias digitales en la empresa española. Disponible en: <https://www.esic.edu/empleabilidad/pdf/recursos/15-12-2015-estudio-competencias-digitales.pdf>
-

- Ferkoun, M (2014). Cloud computing and big data: An ideal combination. IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/blogs/cloud-computing/2014/02/cloud-computing-and-big-data-an-ideal-combination>
- Gandomi, A., Murtaza, H (2015). Beyond the Hype: Big Data Concepts, Methods, and Analytics. International Journal of Information Management 35, no. 2, pág. 137–44. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401214001066>
- Gartner (s.f.). IT Glossary. Disponible en: <http://www.gartner.com/it-glossary/big-data>
- Gausemier, J., Klocke, F (2015). International Benchmark "Industrie 4.0": Worldwide business environment for designing and producing smart manufacturing devices (CPPS). Disponible en: [http://www.taiwan.ahk.de/fileadmin/ahk\\_taiwan/Dokumente/Events/Introduction\\_Industrie\\_4\\_0\\_Project\\_INBENZHAP.pdf](http://www.taiwan.ahk.de/fileadmin/ahk_taiwan/Dokumente/Events/Introduction_Industrie_4_0_Project_INBENZHAP.pdf)
- Google Cloud Platform (s.f.) Google Vision API. Powerful Image Analysis. Disponible en: <https://cloud.google.com/vision>
- Google Cloud Platform (s.f.) Seriously Powerful Data & Analytic Services. Disponible en: <https://cloud.google.com/why-google/big-data>
- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll M (2014). Mensch-MaschineInteraktion im Industrie 4.0-Zeitalter. En: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., and Vogel-Heuser, B. (2014) Industry 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendung, Technologien, Migration. Springer: Berlin. Disponible en: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-658-04682-8>
- Han, YB, et al. (2010) A cloud-based BPM architecture with user-end distribution of non-compute-intensive activities and sensitive data. En: Journal of Computer Science and Technology 25 (6): 1157-1167. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11390-010-9396-z>
- Hatler, M (2012). Industrial Wireless Sensor Networks: Trends and Developments. ON World's 2012 survey shows continued growth and new opportunities for wireless sensors Mareca Hatler. ISA Publications, InTech Magazine. Disponible en: <https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/october/web-exclusive-industrial-wireless-sensor-networks/#sthash.c13G9ze5.dpuf>
- Henke, M. (2014) Management der Industry 4.0 – Herausforderungen und Handlungsfelder für die erfolgsorientierte Steuerung von Unternehmen. Presentation at Zukunftskon- gress Logistik 32. En: VDI, ASME (2015). A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279201790\\_A\\_Discussion\\_of\\_Qualifications\\_and\\_Skills\\_in\\_the\\_Factory\\_of\\_the\\_Future\\_A\\_German\\_and\\_American\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/279201790_A_Discussion_of_Qualifications_and_Skills_in_the_Factory_of_the_Future_A_German_and_American_Perspective)
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Working paper No 1/ 2015. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/307864150\\_Design\\_Principles\\_for\\_Industrie\\_40\\_Scenarios\\_A\\_Literature\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/307864150_Design_Principles_for_Industrie_40_Scenarios_A_Literature_Review)
- Holtewert, P., et al (2013) Virtual Fort Knox - Federative, secure and cloud-based platform for manufacturing. En: International Academy for Production Engineering -CIRP-, Paris: 46th CIRP Conference on Manufacturing Systems, CMS 2013 : Held in Setúbal, Portugal, on May 29th-30th, 2013, Amsterdam: Elsevier, 2013 (Procedia CIRP 7.2013) pp.527-532Secure and Cloud-based Platform for Manufacturing, Procedia CIRP, Volume 7, 2013. Disponible en: <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-252008.html>
- Huntress, E (2015). Optimizing in the Cloud maximizes manufacturing process efficiency. En: FabShop Magazine Direct. Disponible en: <http://www.fsmdirect.com/software/nesting/293-optimizing-in-the-cloud>
- Impuls (2015). Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses. Disponible en: <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>



- Infineon Technologies (2016). Industry 4.0 - Infineon Technologies. Disponible en: <http://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/company/our-contribution/industry-4.0/#IndustriePionier>
- Intel IT Center (2015). Big Data in the Cloud: Converging Technologies. Disponible en: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/product-briefs/big-data-cloud-technologies-brief.pdf>
- James, M (2015). The Internet of Services in Industry 4.0. En: OnWindows, Issue 4. Disponible en: <http://digital.tudor-rose.co.uk/onwindows/2015/autumn/>
- Kellner, T (2015). Deep Machine Learning: GE and BP Will Connect Thousands of Subsea Oil Wells to the Industrial Internet. GE Reports. Disponible en: <http://www.gereports.com/post/123572457345/deep-machine-learning-ge-and-bp-will-connect>
- Labrinidis, A., Jagadish, HV (2012). Challenges and Opportunities with Big Data. En: Proceedings of the VLDB Endowment 5, no. 12, pág. 2032–33. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2367572>
- Laney, D (2001). 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety. Gartner. Stamford, CT, USA. Disponible en: <https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>
- LaValle, S., et al (2011). Big Data, Analytics and the Path from Insights to Value. MIT Sloan Management Review 52, (2), pág. 21-32. Disponible en: <http://sloanreview.mit.edu/article/big-data-analytics-and-the-path-from-insights-to-value>
- Livingston, R (2013). The 7 Vs of Big Data and by they are important for you and your business. Rob Livingstone Advisory. Disponible en: <https://livingstoneadvisory.com/2013/06/big-data-or-black-hole>
- López, L (2014) Computer Vision as a Service (CVaaS): example and trends. Nubomedia project. Disponible en: <http://www.nubomedia.eu/blog/computer-vision-service-cvaas-example-and-trends>
- McKinsey (2015). Industry 4.0: How to Navigate Digitization of the Manufacturing Sector. Disponible en: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigae-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>
- Mckinsey Digital (2015) Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector. Disponible en: [https://www.mckinsey.de/files/mck\\_industry\\_40\\_report.pdf](https://www.mckinsey.de/files/mck_industry_40_report.pdf)
- Mell, P., Grance, T (2011). A NIST definition of cloud computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Disponible en: [nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf](http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf)
- Microsoft (2014). Invensys and Microsoft: Cloud Computing for Manufacturing. Disponible en: <http://software.schneider-electric.com/pdf/white-paper/the-cloud-for-manufacturing>
- Ministerio de Industria Energía y Turismo (2015). La transformación digital de la industria española. 2015. Disponible en: <http://www6.mityc.es/IndustriaConectada40/informe-industria-conectada40.pdf>
- Ministerio de Industria, Economía y Competitividad (s.f.). Plataformas Tecnológicas. Disponible en: <http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.6f2062042f6a5bc43b3f6810d14041a0/?vgnnextoid=844cb292d3ff4410VgnVCM1000001d04140aRCRD>
- Mircea, M., Ghilic-Micu, B., Stoica, M (2011) Combining business intelligence with cloud computing to delivery agility in actual economy. En: Journal of Economic Computation and Economic Cybernetics Studies 45 (1): 39-54.
- Mladenow, A., et al. (2012) Value creation using clouds: Analysis of value drivers for start-ups and small and medium sized enterprises in the textile industry. En: Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2012 26th International Conference on. IEEE. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6185415>

- Moe, M. T., & Blodget, H. (2000). The knowledge web: Part 1. People power: Fuel for the new economy. New York: Merrill Lynch. Disponible en: <http://www.internetttime.com/itimegroup/MOE1.PDF>
- Moniruzzaman, ABM., Hossain, SA (2013). NoSQL Database: New Era of Databases for Big Data Analytics - Classification, Characteristics and Comparison'. En: International Journal of Database Theory & Application; Vol. 6 (4). Disponible en: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/92589153/nosql-database-new-era-databases-big-data-analytics-classification-characteristics-comparison>
- Monostori, L (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114003497>
- Morgan, E (2015). Case Study: Power Generation alerts. En: Orbit Magazine. Disponible en: <https://www.orbit-magazine.com/2015/05/06/case-study-power-generation-alerts>
- Nakajima, S (1988). Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Productivity Press, Inc.
- Navarro, M., Sabalza, X (2016). Reflexiones sobre la Industria 4.0 desde el caso vasco. En: Ekonomiaz: Revista Vasca de Economía, nº 89.
- NESSI (2012). Big Data : A New World of Opportunities. NESSI Whitepaper. Disponible en: [http://www.bdva.eu/sites/default/files/whitepaper\\_on\\_bigdata.pdf](http://www.bdva.eu/sites/default/files/whitepaper_on_bigdata.pdf)
- Orbit Magazine (s.f.). Case Study Archive. Disponible en: <https://www.orbit-magazine.com/tag/case-study>
- Pister, K., Simon, J (2014). Secure Wireless Sensor Networks Against Attacks. Publicado en Electronic Design. Disponible en: <http://electronicdesign.com/communications/secure-wireless-sensor-networks-against-attacks>
- Platella, R., et al (2014). 6TiSCH Wireless Industrial Networks: Determinism Meets IPv6. Volumen 9 de la serie "Smart Sensors, Measurement and Instrumentation" pág 111-141. Disponible en: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-04223-7\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-04223-7_5)
- Plex (s.f.). Plex, The Plex SaaS Manufacturing Platform. Disponible en: <http://www.plex.com/products/plex-saas-manufacturing-platform.html>
- Predix (s.f.) Predix, your cloud platform for the industrial internet. Disponible en: <https://www.ge.com/digital/predix>
- Pursche, F (2016). Container 4.0: Smart transport on the high seas. Bosch Blog. Disponible en: <http://blog.bosch-si.com/categories/projects/2016/09/container-4-0-smart-transport-high-seas>
- PwC (2009) A shift to cloud computing and its impact on revenue recognition. Disponible en: <https://www.pwc.com/us/en/increasing-it-effectiveness/assets/cloud-computing-revenue-paper.pdf>
- PwC (2016). Industry 4.0: Building the Digital Enterprise. Disponible en: <http://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Roland Berger (2016). España 4.0: El reto de la transformación digital de la economía. Disponible en: [https://w5.siemens.com/spain/web/es/estudioidigitalizacion/Documents/Estudio\\_Digitalizacion\\_Espana40\\_Siemens.pdf](https://w5.siemens.com/spain/web/es/estudioidigitalizacion/Documents/Estudio_Digitalizacion_Espana40_Siemens.pdf)
- Roland Berger, BDI (2015). The Digital Transformation of Industry: How important is it? Who are the winners? What must we do now?. Disponible en: [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_digital\\_transformation\\_of\\_industry\\_20150315.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_digital_transformation_of_industry_20150315.pdf)
- Russom, P (2011). Big Data Analytics. TDWI Best Practices Report, Fourth Quarter. Disponible en: [https://www.sas.com/content/dam/SAS/en\\_us/doc/research2/big-data-analytics-105425.pdf](https://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/research2/big-data-analytics-105425.pdf)

- Saran, C (2009) Cloud-based simulation cuts engineers' design costs. En: ComputerWeekly. Disponible en: <http://www.computerweekly.com/feature/Cloud-based-simulation-cuts-engineers-design-costs>
- Schulte, S., et al (2015). Elastic Business Process Management: State of the art and open challenges for BPM in the cloud. En: Future Generation Computer Systems 46, pág. 36-50. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X1400168X>
- Sempere, V., Santonja, S (2015) Patente P2015.300.39. Método de despliegue rápido de nodos en una red y nodo para poner en práctica dicho método.
- Siebeck, R., et al (2009) Cloud-based enterprise mashup integration services for B2B escenarios. En: MEM2009 workshop in conjunction with WWW2009, April 20-24, 2009, Madrid, Spain. Disponible en: [https://www.alexandria.unisg.ch/52090/2/mem2009\\_submission\\_10\\_final.pdf](https://www.alexandria.unisg.ch/52090/2/mem2009_submission_10_final.pdf)
- SimScale (2016) SimScale - CFD, FEA, and Thermal Simulation in the Cloud. Disponible en: <https://www.simscale.com>
- STRATEGIC R&D opportunities for 21st century, Cyber-physical systems, Connecting computer and information systems with the physical world (2013). Report of the Steering Committee for Foundations and Innovation for Cyber-Physical Systems. USA.
- TATA (2016). TCS and GE to Revolutionize Gas Turbine Manufacturing with Smart LEDs and Predix. Press Release. Disponible en: [http://www.tcs.com/news\\_events/press\\_releases/Pages/TCS-GE-revolutionize-gas-turbine-manufacturing-smart-LEDs-Predix.aspx](http://www.tcs.com/news_events/press_releases/Pages/TCS-GE-revolutionize-gas-turbine-manufacturing-smart-LEDs-Predix.aspx)
- Tetley, J (2014). We Change the Game with Predictive Maintenance. Thyssenkrupp. Disponible en: <http://blog.thyssenkruppelevator.com/content/we-change-game-predictive-maintenance>
- Thyssenkrupp (2016) MAX. Maximizar el tiempo. Todo el tiempo. Disponible en: [https://max.thyssenkrupp-elevator.com/assets/pdf/TK-Elevator-MAX-Report\\_ES.pdf](https://max.thyssenkrupp-elevator.com/assets/pdf/TK-Elevator-MAX-Report_ES.pdf)
- Thyssenkrupp (s.f). MAX: el cambio de las reglas del juego. Disponible en: <https://max.thyssenkrupp-elevator.com/es>
- Unión Europea (2016) Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>
- VDI, ASME (2015). A Discussion of Qualifications and Skills in the Factory of the Future: A German and American Perspective. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279201790\\_A\\_Discussion\\_of\\_Qualifications\\_and\\_Skills\\_in\\_the\\_Factory\\_of\\_the\\_Future\\_A\\_German\\_and\\_American\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/279201790_A_Discussion_of_Qualifications_and_Skills_in_the_Factory_of_the_Future_A_German_and_American_Perspective)
- VDI/VDE (2013). Cyber-physical systems: Chancen und nutzen aus sicht der Automation, Thesen und Handlungsfelder. Disponible en: [https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme\\_Cyber-Physical\\_Systems.pdf](https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf)
- VDI/VDE (2015). Gesellschaft Mess un Automatisierungstechnik, Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0). Disponible en: [https://www.vdi.de/fileadmin/user\\_upload/VDI-GMA\\_Statusreport\\_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf)
- Vermesan, O., Friess, P (2016). Digitising the Industry. Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds. Ovidiu Vermesan and Peter Friess. Riber publishers series in communications, vol. 49. Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/digitising-industry-internet-things-connecting-physical-digital-and-virtual-worlds>
- Wikipedia (s.f.). Realidad aumentada. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad\\_aumentada](https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada)
- Xu, X (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. En: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28 (1), pág 75-86. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2286932>
- Yin, S., Kaynak, O (2015). Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends [Point of View]. En: Proceedings of the IEEE 103 (2), pág. 143-46. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7067026>